

# POSTĘPY FIZYKI



CZASOPISMO NAUKOWE POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO  
POŚWIĘCONE UPOWSZECHNIANIU WIEDZY FIZYCZNEJ

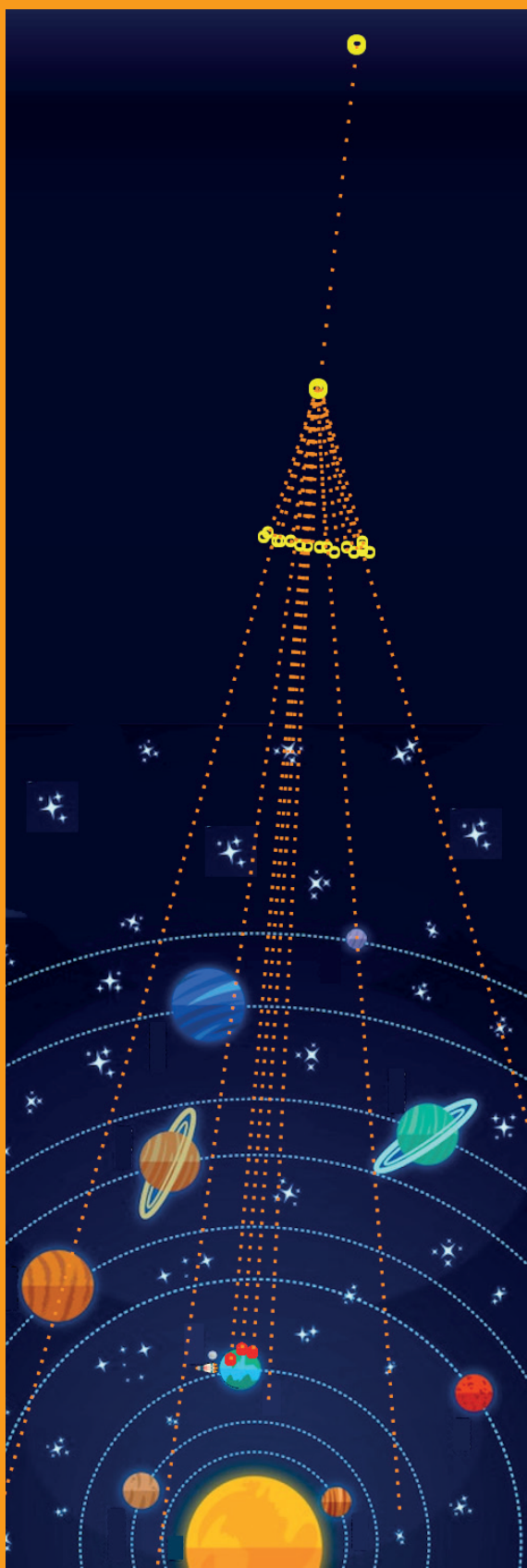
4 / 2021  
TOM 72

**Promieniowanie kosmiczne  
– w poszukiwaniu nieoczekiwanego**  
Tadeusz Wibig

**Kanadyjscy „szpiedzy atomowi” na Hożej**  
Andrzej Hennel

**Początki Internetu w Polsce**  
Roman Szwed

**Czy małe dawki promieniowania jonizującego  
są szkodliwe?**  
Marek Krzysztof Janiak



nr indeksu 369721





## POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE (PTF)

[www.ptf.net.pl](http://www.ptf.net.pl)

### ZARZĄD GŁÓWNY

Leszek Sirko (prezes)  
Bogdan Kowalski (sekretarz generalny)  
Jan Grabski (skarbnik)  
Katarzyna Chałasińska-Macukow  
Dariusz Grech  
Bohdan Grządkowski  
Zbigniew Kąkol  
Stanisław Kistryn  
Mirostaw Łoś  
Maiej Maška  
Beata Agnieszka Pietrewicz  
Józef Spałek  
Aneta Szczygielska  
Andrzej Ślebarski  
Zbigniew Trybuła

### BIURO ZARZĄDU

ul. Pasteura 5  
02-093 Warszawa  
tel. (+22) 553 28 56 pok.4.56 (4. piętro)  
e-mail: [biuro@ptf.net.pl](mailto:biuro@ptf.net.pl)

### PRZEWODNICZĄCY ODDZIAŁÓW

Krzysztof Szymański (Białystok)  
Adam Gadomski (Bydgoszcz)  
Ewa Mandowska (Częstochowa)  
Jarosław Rybicki (Gdańsk)  
Adam Michczyński (Gliwice)  
Paweł Zajdel (Katowice)  
Małgorzata Wysocka-Kunisz (Kielce)  
Józef Spałek (Kraków)  
Jerzy Żuk (Lublin)  
Karol Jakub Jędrzejczak (Łódź)  
Katarzyna Książek (Opole)  
Henryk Drozdowski (Poznań)  
Gaweł Żyła (Rzeszów)  
Mirostaw Brozis (Słupsk)  
Mariusz P. Dąbrowski (Szczecin)  
Michał Pawlak (Toruń)  
Aneta Drabińska (Warszawa)  
Ewa Dębowska (Wrocław)  
Van Cao Long (Zielona Góra)

## POSTĘPY FIZYKI (PF)

CZASOPISMO NAUKOWE POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO  
POŚWIĘCONE UPOWSZECHNIANIU WIEDZY FIZYCZNEJ

[www.ptf.net.pl](http://www.ptf.net.pl)

czasopismo ukazuje się od 1949 roku

### RADA REDAKCYJNA

Andrzej Kajetan Wróblewski (przewodniczący)  
Mieczysław Budzyński  
Witold Dobrowolski  
Henryk Drozdowski  
Józef Spałek  
Józef Szudy  
Arkadiusz Wójs

### KORESPONDENCI ODDZIAŁÓW PTF

Wojciech Olszewski (Białystok)  
Beata A. Pietrewicz (Bydgoszcz)  
Piotr Gębara (Częstochowa)  
Tomasz Wąsowicz (Gdańsk)  
Lucyna Grządziel (Gliwice)  
Aleksandra Piórkowska-Kurpas (Katowice)  
Maciej Rybczyński (Kielce)  
Witold Zawadzki (Kraków)  
Janusz Filiks (Lublin)  
Janusz Kuliński (Łódź)  
Katarzyna Książek (Opole)  
Sławomir Mamica (Poznań)  
Jacek Fal (Rzeszów)  
Agnieszka Włodarkiewicz (Słupsk)  
Janusz Typek (Szczecin)  
Michał Pawlak (Toruń)  
Grzegorz Siudem (Warszawa)  
Ewa Dębowska (p.o.) (Wrocław)  
Lidia Najder-Kozdrowska (Zielona Góra)

### REDAKCJA

Anna Szemberg (redaktor naczelna)  
Krzysztof Turzyński  
Redakcja „Postępy Fizyki” – Wydział Fizyki UW  
Pasteura 5, pok. 2.80 (2. piętro), 02-093 Warszawa  
e-mail: [postepy.fizyki@gmail.com](mailto:postepy.fizyki@gmail.com)

### INFORMACJE DLA AUTORÓW

Przyjmujemy do publikacji przystępnie napisane artykuły przeglądowe i monograficzne w języku polskim i angielskim, które otrzymają pozytywne recenzje wydawnicze. Teksty należy przysyłać e-mailem na adres: [postepy.fizyki@gmail.com](mailto:postepy.fizyki@gmail.com) w formie przyjętej w czasopiśmie [www.ptf.net.pl/pl/postepy-fizyki/](http://www.ptf.net.pl/pl/postepy-fizyki/) w systemie LATEX (plik źródłowy + pdf) lub w programie Word; tekst powinien zawierać afiliację i nr ORCID autora, streszczenie i słowa kluczowe w j. polskim oraz j. angielskim, bibliografię wyłącznie załącznikową, podpisy do ilustracji; **ilustracje** mogą być zamieszczone w tekście, ale **należy** je również **przysłać w osobnych plikach** o rozdzielczości co najmniej 300 dpi; w przypadku **ilustracji zapożyczonych** z innych źródeł, podpis musi zawierać źródło pochodzenia ilustracji, przy czym na autorze spoczywa obowiązek uzyskania zgody na jej publikację w jego artykule w *Postęпах Fizyki*. Redakcja zastrzega sobie prawo do skracania i redagowania tekstów w tym wprowadzania niezbędnych zmian terminologicznych. Zgodnie z obowiązującym prawem autorskim autorzy będą mogli dokonać korekty autorskiej artykułu przygotowanego do druku. Opublikowanie artykułu w PF wiąże się z nieodpłatnym udostępnieniem go na stronie internetowej PTF na podstawie licencji Creative Commons.

### PRENUMERATA 2021

- cena pojedynczego numeru PF wynosi 29,70 PLN (w tym 8% VAT)
- cena rocznika (4 numery) (z 9% bonifikatą) – 108,00 PLN (w tym 8% VAT)
- koszty wysyłki czasopisma pokrywa zamawiający
- zamówienie prenumeraty należy wysłać na adres [postepy.fizyki@gmail.com](mailto:postepy.fizyki@gmail.com)

Cena pojedynczego archiwalnego numeru PF dla numerów opublikowanych do końca 2019 roku (tom 70) wynosi 12,00 PLN brutto + koszty wysyłki.

Warunki prenumeraty PF znaleźć można na stronie internetowej PTF

[www.ptf.net.pl/pl/postepy\\_fizyki/prenumerata-pf/](http://www.ptf.net.pl/pl/postepy_fizyki/prenumerata-pf/)

ISSN 0032-5430, ISSN 2658-2422 (online)

© Copyright by Polskie Towarzystwo Fizyczne

Wydawca: Polskie Towarzystwo Fizyczne

Kwartalnik POSTĘPY FIZYKI jest wydawany we współpracy  
z WYDZIAŁEM FIZYKI UNIwersYTETU WARSZAWSKIEGO

Szanowni Czytelnicy *Postępów Fizyki*!

Mija pierwszy rok trzeciej dekady XXI wieku. Zmienia się otaczający nas świat, zmienia się sposób korzystania z literatury naukowej, fachowej, a także popularyzującej wiedzę. Decyzją wydawcy (Polskiego Towarzystwa Fizycznego) tradycyjny nakład drukowany kwartalnika *Postępy fizyki* począwszy od 2022 roku zostanie znacząco ograniczony, większość czytelników bowiem preferuje wersję elektroniczną czasopisma, która jest dostępna bezpłatnie na stronie internetowej PTF, zwolennicy zaś czytania papierowej wersji mogą odpłatnie zaprenumerować drukowane *Postępy Fizyki*.

Ponawiam apel Redakcji PF sprzed 3 miesięcy gorąco zachęcając do współpracy wszystkich fizyków (tych stowarzyszonych w PTF, jak i niebędących jego członkami) i apeluję do Państwa, byście dopingowali siebie, swoich współpracowników, kolegów, podopiecznych doktorantów, magistrantów i studentów, ale też swoich przełożonych do nadsyłania do Redakcji PF tekstów dotyczących waszych prac naukowych, byście dzielili się swoimi osiągnięciami badawczymi z około 700 osobową rzeszą czytelników czasopisma. Wprawdzie PF nie są czasopismem punktowanym, jednak umiejętność mówienia/pisania w języku polskim o tym, czym Państwo zajmują się na co dzień, w sposób zrozumiały nie tylko dla specjalistów w danej dziedzinie fizyki, jest bezcenna dla autorów i wielce pożyteczna dla społeczności fizyków, a przy tym pozwala realizować misję naszego periodyku.

Adres PF: [postepy.fizyki@gmail.com](mailto:postepy.fizyki@gmail.com)

Informacje dla autorów PF znaleźć można na stronie internetowej PTF:

[https://www.ptf.net.pl/media/cms\\_page\\_media/1544/Wskazowki.pdf](https://www.ptf.net.pl/media/cms_page_media/1544/Wskazowki.pdf)

*Postępy Fizyki* są dostępne bezpłatnie w wersji elektronicznej:

- numery bieżące PF <http://www.ptf.net.pl/pl/postepy-fizyki/>
- numery archiwalne PF <http://www.ptf.net.pl/pl/towarzystwo/dzialalnosc/postepy-fizyki/roczniki/>
- spis treści PF (od 1949) [https://www.ptf.net.pl/pl/postepy\\_fizyki/baza-pf/](https://www.ptf.net.pl/pl/postepy_fizyki/baza-pf/)

redaktor naczelna PF

<b>Promieniowanie kosmiczne – w poszukiwaniu nieoczekiwanego</b>	
T. Wibig _____	2
<b>Czy małe dawki promieniowania jonizującego są szkodliwe?</b>	
M. K. Janiak _____	18
<b>Początki Internetu w Polsce</b>	
R. Szwed _____	23
<b>Kanadyjscy „szpiedzy atomowi” na Hożej</b>	
A. Hennel _____	27
<b>Fritz Hasenöhl – zapomniany prekursor Einsteina</b>	
A. B. Więckowski _____	30
<b>Przewodnik po wieloświecie</b>	
M. Eckstein _____	35
<b>Włodzimierz Zawadzki (1939–2021)</b>	
J. Kołodziejczak _____	38
<b>Andrzej Marcinkowski (1933–2021)</b>	
M. Jaskóła, D. Śliwińska _____	41
<b>Kronika Polskiego Towarzystwa Fizycznego</b> _____	43



Zespoły Promieniowania Kosmicznego  
(ryc. 40 w: T. Wibig *Promieniowanie kosmiczne – w poszukiwaniu nieoczekiwanego*)

---

# Promieniowanie kosmiczne – w poszukiwaniu nieoczekiwanego

Tadeusz Wibig\*

Katedra Fizyki Teoretycznej, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Łódzki

---

**Abstrakt.** Historia badań promieniowania kosmicznego od samego początku pełna jest niespodziewanych odkryć, które znacząco odmieniały zastane poglądy na świat. Sama koncepcja, że z kosmosu przychodzi do nas jakieś promieniowanie, wydawała się absurdalna, a co najmniej nieuzasadniona. Nikt nie spodziewał się tak olbrzymich energii cząstek, nikt „nie zamawiał” też mionów, nikt nie podejrzewał, że promieniowanie kosmiczne będzie docierało do powierzchni Ziemi w kaskadach liczących ponad miliardy pojedynczych cząstek na raz. Ale najdziwniejsze jest to, że jednak istnieli fizycy, którzy mieli tak niepoważne idee i to właśnie dzięki nim dziś wiemy to, co wiemy. A w fizyce promieniowania kosmicznego jest jeszcze sporo zagadek czekających na rozwiązanie i wiele zupełnie niespodziewanych odkryć.

**Słowa kluczowe:** promieniowanie kosmiczne, wielkie pęki atmosferyczne, historia fizyki, CREDO

**Abstract.** From the very beginning, the history of cosmic rays research has been full of unexpected discoveries that have significantly changed the prevailing view of the world. The very idea that some kind of radiation was coming to us from outer space seemed ridiculous, to say the least, unjustified. No one expected such enormous particle energies, no one also “ordered” muons, no one suspected that cosmic rays would come to the earth’s surface in cascades of more than billions of individual particles at the same time. But the strangest thing is that there must nevertheless have been physicists who had such frivolous ideas, and it is thanks to them that we know what we know. And in cosmic ray physics there are still many enigmas waiting to be solved and many discoveries to be made, discoveries that are absolutely unexpected.

**Keywords:** cosmic rays, extensive air showers, physics history, CREDO

---

Dość powszechne, jednak całkowicie niesłuszne, jest mniemanie, że promieniowanie kosmiczne odkryte zostało przypadkiem, szczęśliwym zbiegiem okoliczności. Odkrywanie promieniowania kosmicznego, a dokładniej tego, co dziś tak nazywamy, czyli strumieni cząstek docierających do Ziemi z przestrzeni kosmicznej, trwało dość długo i tak naprawdę w pewnych aspektach nie jest jeszcze zakończone.

Czytając o początkach wielu dziedzin ludzkiej działalności często spotykamy zdanie „Już starożytni Grecy...”. W przypadku fizyki promieniowania kosmicznego poszukiwanie korzeni tak głęboko wydaje się trochę sztuczne. Starożytni, uznając ludzką logikę i zasadę sensowności Natury, nie mogli wpaść na trop tak bardzo nieuzasadnionego bytu. Nic nie skłania nas do podejrzeń, że zamieszkała przez nas Ziemia bombardowana jest nieustannie przez niewiadomego pochodzenia drobiny materii, jeśli żadne efekty tego bombardowania nie są zauważalne. Jeśli ktoś uparłby się jednak, to mógłby odnaleźć co najmniej dwa zjawiska znane już starożytnym, wiążące się w pewien, choć bardzo odległy sposób z badaniami promieniowania kosmicznego. Pierwszym z nich jest tajemnicze oddziaływanie bursztynu, drugim niezbadany mechanizm powstawania chmur na niebie.

Zwykle za datę odkrycia promieniowania kosmicznego przyjmuje się rok 1912. Potwierdziła to Królewska Akademia w Sztokholmie wręczając w 1936 r. Viktorowi F. Hessowi nagrodę Nobla. Oddając sprawiedliwość prawdzie należy cofnąć się o co najmniej 200 lat i wspomnieć nazwiska kilku innych wielkich fizyków mających swój większy lub mniejszy udział w tej historii.

Badanie zjawisk elektrycznych, które doprowadziło między innymi do wyjaśnienia zagadki przyciągania przez potarty bursztyn niewielkich kawałków materii pod koniec XVIII wieku, dało także początek serii odkryć, które bezpośrednio doprowadziły Hessa do jego historycznego lotu balonem 07.08.1912.

Około 1785 r. Charles Augustin de Coulomb w trakcie przeprowadzania eksperymentów ze skonstruowaną przez siebie bardzo precyzyjną wagą skręceń, które to eksperymenty zapewniły mu stałe miejsce we wszystkich podręcznikach elektryczności, zaobserwował ucieczkę ładunku elektrycznego z naelektryzowanych ciał [1]. Dziś efekt ten znamy pod nazwą prądu ciemnego. Coulomb stwierdził proporcjonalność gęstości prądu ciemnego do wartości pola elektrostatycznego w danym punkcie. W pewnym sensie wyprzedził o prawie 50 lat Georga Ohma i jego prawo opisujące zależność napięcia i natężenia prądu. Odkrycie Coulomba można też potraktować jako początek fizyki cząstek elementarnych, gdyż wska-

---

\*ORCID: 0000-0002-2078-0580

zało drogę późniejszym o ponad sto lat doświadczeniom Thomsona.

Na początku jednak nikt nie przypuszczał, że obok kłopotów, jakie to odkrycie przysparza eksperymentatorom, może mieć ono pewne pozytywne następstwa. Nic więc dziwnego, że dalszy postęp w badaniach prądu ciemnego odnotowano dopiero w połowie XIX w. Wtedy to Carlo Matteucci odkrył dziwne zachowanie prądu ciemnego przy wysokich wartościach pola elektrycznego. Okazało się, że wartość natężenia prądu osiąga nasycenie i nie rośnie już więcej wraz ze wzrostem napięcia.

W końcu XIX w. badaniom prądu ciemnego poświęcano coraz więcej uwagi: Linss [2] badał prądy płynące w powietrzu, Exner [3] zaproponował utworzenie ogólnoświatowej sieci pomiarowej elektryczności atmosferycznej. Istotne znaczenie miały jednak doświadczenia Elstera i Geitela, które doprowadziły do wykazania istnienia wiatru zjonizowanych cząsteczek powietrza odpowiedzialnego za istnienie prądu ciemnego, gdy elektrycznie naładowane ciało umieścili z zamkniętym pojemnikiem [4].



Ryc. 1. Elster i Geitel przy swoim elektroskopie (1900)

Wspomniany już J. J. Thomson poświęcił się badaniom prądu ciemnego w 1884 r. Po kilkunastu latach, dzięki pracom jego i Ernesta Rutherforda gęstość prądu nasycenia można było traktować jako miarę jonizacji ośrodka.

Zupełnie naturalnym było pytanie o czynnik tę jonizację wywołujący, ale o tym za chwilę. Cofnijmy się do prowadzonych równolegle badań w zupełnie innym i pozornie bardzo odległym zakątku fizyki – fizyki powstawania chmur. Początek badań zjawiska kondensacji w kontekście nas interesującym można datować na koniec XVIII w. Zauważono wtedy, że para wodna skrapla się na ściankach zamkniętej butelki chętniej, jeśli wprowadzi się przez korek do butelki igłę podłączoną do maszyny elektrostatycznej.

Koniec XIX w. i w tej dziedzinie okazał się okresem niebywałego rozkwitu. Z ważniejszych dat i nazwisk wymienić trzeba rok 1886 i Hermanna von Helmholtza, który wskazał wtedy właśnie na zjonizowane atomy gazu jako na jądra kondensacji w pozbawionym pyłu powietrzu.



Ryc. 2. Charles T.R. Wilson (1901)

Ideę tę wykorzystał Charles T. R. Wilson budując słynną komorę mgłową zwaną dziś powszechnie komorą Wilsona [5]. Stwierdził on w 1897, że jądra kondensacji w czystym powietrzu mogą być wytwarzane przez promieniowanie X, czy też przez promieniowanie zwane wtedy uranowym, co wyraźnie pokazywało na słuszność idei Helmholtza. W 1900 r. Wilson pokazał, że w czystym powietrzu jądra kondensacji pojawiają się także, gdy nie ma w pobliżu źródeł promieniowania X czy rud uranowych. Używając do badań tego zjawiska swojej komory opuścił nawet Laboratorium Cavendisha dla uniknięcia wpływu badanych tam substancji silnie radioaktywnych. Nie udało mu się pokonać trudności technicznych i bez konstruktywnych wniosków zajął się badaniem prądu ciemnego w zamkniętych naczyniach [6].

To właśnie Wilson był pierwszym, który przewidział istnienie promieniowania kosmicznego. Dla wyjaśnienia niewytłumaczalnej w inny sposób resztkowej jonizacji pojawiającej się znikąd zaproponował, by przyjąć, że są to pozaziemskiego pochodzenia promienie w rodzaju promieniowania X, czy też uranowego pochodzenia pozaziemskiego. Chcąc udowodnić swą tezę zbudował specjalny przenośny i odpowiednio czuły elektroskop, a w zasadzie wyrafinowaną komorę jonizacyjną i udał się z nią do kopalni, gdzie spodziewał się mniejszej szybkości powstawania jonów w powietrzu na skutek osłabienia przychodzącego z powierzchni czynnika jonizującego. Niestety nie mógł on wiedzieć, że jedynie kilkanaście procent zjawisk jonizacji na powierzchni Ziemi jest inicjowanych przez promieniowanie pochodzące z kosmosu; większość bowiem inicjowana jest, bardziej lub mniej bezpośrednio, promieniowaniem pierwiastków promieniotwórczych znajdujących się właśnie pod ziemią.

Rozwiązanie problemu wpływu radioaktywności ziemskiej na produkcję jonów w powietrzu stanowiło klucz otwierający wrota do fizyki promieniowania kosmicznego. Nie trzeba było czekać długo. Na przełomie wieków XIX i XX, a także na samym początku XX stulecia szybko poszerzała się wiedza człowieka o otaczającym go świecie, a samo rozwiązanie okazało się raczej trywialne. Wystarczyło wykorzystać ziemską atmosferę jako absorbent pochłaniający przemieszczające się do

góry promieniowanie skał. W tym celu można było wejść na odpowiednio wysoką górę lub, jeszcze lepiej, wznieść się w powietrze bez wspinania się na górę.

Drugi sposób okazał się bardziej efektywny. Seria lotów balonowych przeprowadzona niedaleko naszych dzisiejszych południowych i zachodnich granic przez Victora F. Hessa w latach 1911–1912 doprowadziła do solidnie udokumentowanego stwierdzenia, że im wyżej jesteśmy, tym czynnik jonizujący powietrze jest bardziej intensywny [7].

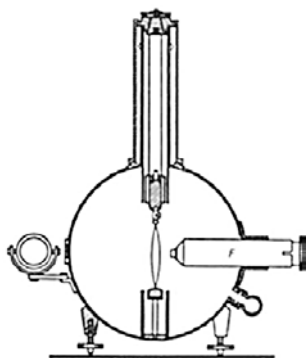


Ryc. 3. Victor Hess (1912)

Hess nazwał go promieniowaniem wysokościowym (niem. *Höhenstrahlung*). Jedynie na niewielkich wysokościach widać było jego zanik spowodowany oddaleniem się od źródeł radioaktywności w skorupie ziemskiej. Warto wspomnieć, że misja Hessa zakończyła się sukcesem dzięki postępowi technologicznemu w konstrukcji elektroskopów, jaki dokonał się w roku 1909 za sprawą ojca Wulfa, jezuity z Akwizgranu [8].

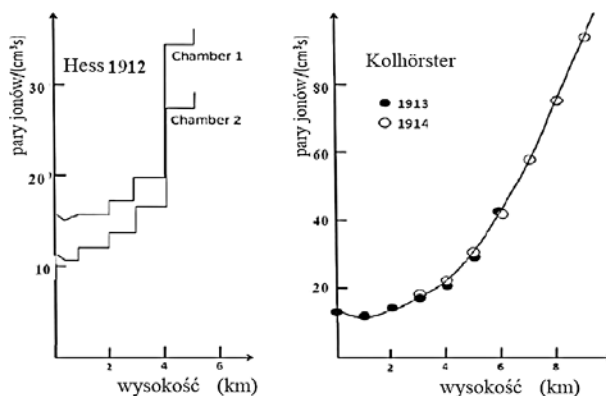


Ryc. 4. Theodor Wulf (1909)



Ryc. 5. Elektroskop Ojca Wulfa (1909)

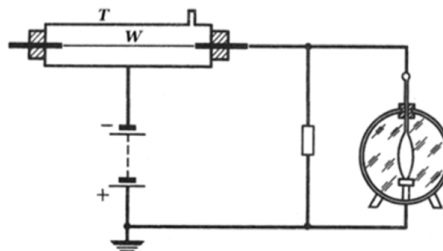
W następnych latach wyniki Hessa potwierdził Kolhörster [9] z większą jeszcze dokładnością i wznosząc się wyżej – prawie na 10 km.



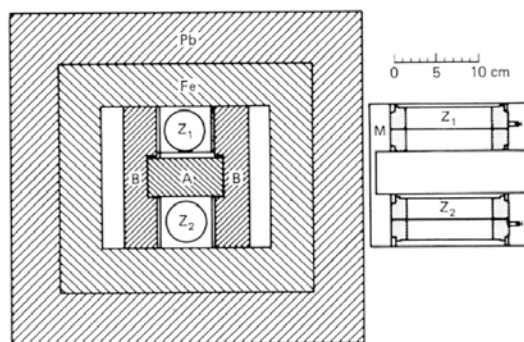
Ryc. 6. Szybkość jonizacji wyznaczona w lotach Hessa i Kolhörstera

Do końca lat 20. XX w. podstawowym narzędziem badania promieniowania kosmicznego były komory jonizacyjne i komory Wilsona. Te pierwsze pozwalały wyznaczyć tempo jonizacji. Te drugie pozwalały wyznaczyć dokładnie tor przelotu cząstek jonizujących. W latach 20. ciągle używał ich jeszcze w badaniach sam Wilson, ale i inni, np. radziecki odkrywca promieniowania kosmicznego Skobelcyn, który zobaczył na swoich kliszach ślady cząstek kosmicznych w 1927 roku [10].

Istotny przełom nastąpił w roku 1928, kiedy to Geiger i Müller skonstruowali licznik zwany dziś powszechnie licznikiem Geigera–Müllera [11].



Ryc. 7. Licznik Geigera i Müllera



Ryc. 8. Eksperyment Bothe i Kolhörstera (1929)

Zaraz też Bothe i Kolhörster użyli go po raz pierwszy w badaniach promieniowania kosmicznego [12]. Liczniki Geigera–Müllera (G–M) pozwalały dokładnie określić moment, w którym hipotetyczna cząstka promieniowania przeszła przez objętość czynną licznika jonizując zamknięty w nim gaz. Genialnym pomysłem było ustawienie w pionie dwóch liczników G–M jeden nad drugim

i obserwowanie przypadków, gdy w obu jednocześnie pojawił się impuls mówiący o przejściu cząstki – zrobili to Bothe i Kolhörster w 1929: dwa niewielkie liczniki (10 cm długości i 5 cm średnicy) osłonili pięciocentymetrowymi ściankami z żelaza i dodatkowo sześciocentymetrową obudową z ołowiu, a dla dodatkowego odciążenia się od radioaktywności otoczenia pomiary przeprowadzali w piwnicach budynku Reichsanstalt.

Badając charakterystyki cząstek promieniowania kosmicznego posunęli się do tego, że pomiędzy liczniki włożyli grubą na blisko 4 cm sztabę złota (nie dlatego, że byli bardzo bogaci, ale dlatego, że złoto można otrzymać w postaci czystej bez niechcianych radioaktywnych domieszek – złoto ma tylko jeden trwały izotop  $^{197}\text{Au}$ ). Przesuwali cały zestaw pomiarowy z piwnicy aż pod okno w dachu i dodając oraz ujmując osłony ołowiane wyznaczyli zdolność przenikania promieniowania wysokoenergetycznego przez materię. Okazało się, iż jest ona na tyle duża, że podważyła dość powszechne przekonanie o elektromagnetycznej naturze (promieniowanie  $\gamma$ ) pochodzących z kosmosu cząstek.

Problem natury cząstek zaobserwowanych przez Skobieltyna przez następnych kilka lat zajmował tak od strony eksperymentalnej, jak i teoretycznej uwagę największych fizyków tamtych czasów, żeby wymienić tylko Millikana, Andersona, Augera, Blacketta, Rutherforda, Heisenberga, Diraca, a nawet małżeństwo Irenę i Fryderyka Joliot-Curie. Zainteresowanie to zaowocowało między innymi odkryciem przez Andersona w roku 1932 pozytonu, hipotetycznej antycząstki elektronu przewidzianej w 1930 roku przez Diraca.

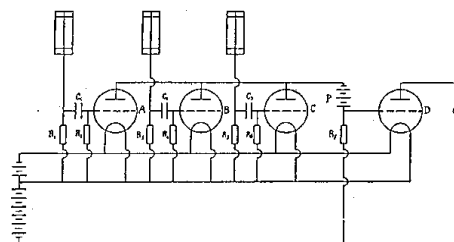
Kolejny krok w badaniach umożliwiło połączenie tych technik, elektroniczne wyzwalanie komór Wilsona. Aby do tego jednak doszło potrzebny był skok technologiczny dokonany w roku 1930 przez Bruno Rossiego [13].



Ryc. 9. Bruno Rossi (1932)

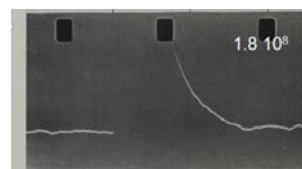
Był to układ elektroniczny obsługujący liczniki G–M, które sterowały siatkami lamp elektronowych połączonych w układ koincydencji, który generował impuls elektryczny w przypadku, gdy wszystkie liczniki G–M jednocześnie (w zadanym, krótkim przedziale czasowym) zostały trafione przez cząstki jonizujące. Równoległe do

Rossiego Bothe doszedł do podobnego rozwiązania stosując jedną lampę wyposażoną w dwie siatki.

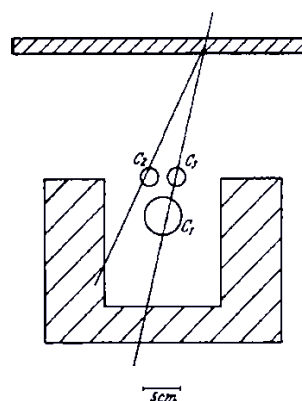


Ryc. 10. Układ koincydencyjny Rossiego

W bogatym materiale doświadczalnym zgromadzonym na początku lat trzydziestych, zawierającym zdjęcia wysokoenergetycznych elektronów (i pozytonów) z komór Wilsona wyzwalanych koincydencją liczników G–M, obserwowano od czasu do czasu dziwne fotografie, na których widoczne było przejście przez komorę kilku (do czterech na fotografiach Skobieltyna), a nawet kilkunastu (do 20 w eksperymencie Blacketta i Occhialiniego [14]) równoległych (lub prawie równoległych) śladów cząstek o bardzo wysokiej energii. To samo w istocie zjawisko obserwowano w eksperymentach z komorami jonizacyjnymi. Carmichael, (doktorant Chadwicka w Cavendish Laboratory) zarejestrował metodą fotograficzną wychylenie oscyloskopu odpowiadające pojawieniu się w jego dużej komorze jednocześnie ponad stu milionów jonów [15].

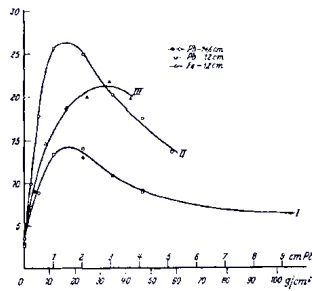


Ryc. 11. Rejestracja z komory jonizacyjnej Carmichaela (1935)



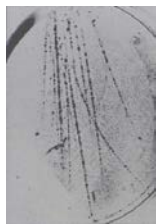
Ryc. 12. Eksperyment Rossiego (1933)

W swoich eksperymentach z rejestracją czysto elektroniczną (1932) Rossi umieścił trzy liczniki w osłoniętym ołowiu pudle ustawiając je jednak w nietypowej konfiguracji: dwa w jednej poziomej płaszczyźnie na górze i jeden pod nimi tak, że pojedyncza cząstka nie



Ryc. 13. Krzywe Rossiego

była w stanie uruchomić potrójnego układu koincydencji. Okazało się jednak, że koincydencje takie pojawiają się w przyrodzie. Co więcej, w roku 1933 stwierdził, że częstość tych koincydencji można zwiększyć, umieszczając pomiędzy górnymi licznikami i dolnym, grube (nawet do kilku centymetrów) warstwy ołowiu czy żelaza [16]. Warto tu jako ciekawostkę dodać, że rezultat ten był w swoim czasie tak zaskakujący, iż poważne czasopismo naukowe, jakim było wtedy niemieckie *Naturwissenschaften* odmówiło publikacji tych wyników Rossiego. Opublikowano je dopiero w *Physikalische Zeitschrift* po osobistym wstawiennictwie Heisenberga.

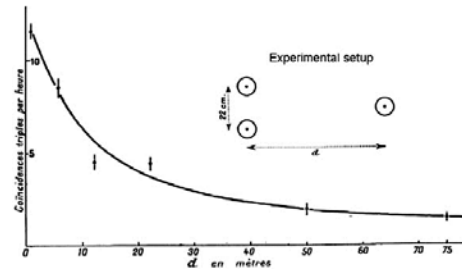


Ryc. 14. Mały pęk zarejestrowany przez Blacketta i Occhialiniego (1933)

Pytanie o naturę tego zjawiska budziło wiele kontrowersji. Auger i Skobieltyn zaproponowali wyjaśnienie, że są to elektrony wybite w procesie Comptona przez wysokoenergetyczny foton (kwant promieniowania  $\gamma$ ). Heisenberg uważał że są to  $\delta$ -elektrony wybijane przez wysokoenergetyczny elektron, zatem różnice dotyczyły natury cząstki pierwotnej. Gdyby odwołać się wtedy do procedur demokratycznych, prawdopodobnie foton wygrałby z elektronem, choć obie kandydatury nie były idealne. Z dzisiejszego punktu widzenia widać, jak niebezpiecznym może być w fizyce czy nauce akceptowanie poglądów większości.

Teoretyczne rozwiązanie zagadki wielokrotnych śladów, które można nazwać *małymi pękami* rejestrowanymi przez Rossiego i widzianymi na fotografiach z komory mgłowej przez Skobieltyn, Balcketta i Occhialiniego na początku lat trzydziestych pojawiło się w roku 1937 w pracy Bhabhy i Heitlera [17] i znane jest jako teoria kaskadowa. Znalazła ona pełne i dość zaskakujące potwierdzenie już w roku 1938, kiedy to Piere Auger i Roland Maze odkryli *wielkie pęki atmosferyczne* (*Extensive*

*Air Showers*) [18]. Idea ich eksperymentu była dokładnie taka sama, jak w doświadczeniu Rossiego z licznikami G–M ustawionymi w wierzchołkach trójkąta. Modyfikacja polegała w zasadzie jedynie na skali.



Ryc. 15. Schemat i wyniki eksperymentu Augera i Maze'a

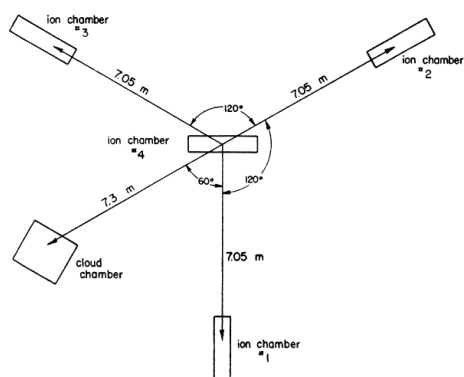
Dwa liczniki G–M ustawione jeden nad drugim, pracujące w koincydencji jako swoisty teleskop, dały sygnał o przejściu w tym miejscu z grubsza pionowo co najmniej jednej naładowanej cząstki o wysokiej energii. Trzeci licznik G–M odsuwano od pionowej pary liczników rejestrując jednoczesne przejście przezeń innej cząstki. Osiągnięcie Augera i Maze możliwe było jedynie dzięki wielkim umiejętnościom technicznym tego drugiego, który tak zmodyfikował układ Rossiego, żeby przypadkowe zliczenia pojawiały się na tyle rzadko, by mierzyć wiarygodnie sygnały fizycznej koincydencji pojawiające się zaledwie raz na kilka godzin.

Gdy przesuwany licznik znajdował się blisko pary liczników teleskopu, pojawienie się potrójnej koincydencji nie było niczym nadzwyczajnym. Zauważył to już Rossi i widzieli też Skobieltyn, Balckett i Occhialini w komorach Wilsona, a Carmichael w komorze jonizacyjnej, jednak żaden z nich nie spodziewał się, by kaskady cząstek miały rozmiary mierzone w metrach. Auger i Maze postanowili sprawdzić, jak wielkie bywają kaskady cząstek w powietrzu. Mając precyzyjny układ pomiarowy po rozsunięciu liczników na kilka metrów ciągle jeszcze rejestrował przypadki fizycznej korelacji rejestracji w tak oddalonych punktach. Przy odległości kilkunastu metrów Maze widząc wciąż zliczenia potrójnej koincydencji zaczął poszukiwać technicznej usterki swojego układu pomiarowego i mimo wielu wysiłków nic takiego nie znalazł. Auger, który był już wtedy uznanym naukowcem, stwierdził, że Maze błędnie nie popełnił i szybko na palcach oszacował, że gdyby zsumować energię wszystkich cząstek, jakie musiały w tym momencie dotrzeć na powierzchnię Ziemi w przewidzianej przez Bhabhe i Heitlera kosmicznej kaskadzie, to musiałaby ona być co najmniej milion razy większa od energii wyzwolanej podczas rozpadów radioaktywnych jąder promieniotwórczych. Czegoś takiego nikt się nie spodziewał!



Jeszcze w tym samym roku wynik Augera i Maze'a został potwierdzony między innymi przez Kolhörstera, sam Auger zaś stwierdził istnienie wielkich pęków atmosferycznych o rozmiarach co najmniej setek metrów. Energie cząstek je inicjujących u szczytu atmosfery musiały być miliardy razy większe niż typowe energie rozpadów promieniotwórczych. Natychmiast pojawiły się pytania, skąd biorą się takie cząstki, gdzie i jak powstają, czym właściwie są.

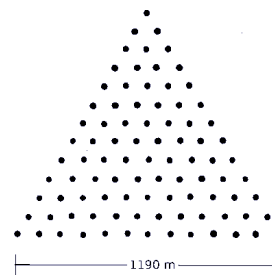
Po przerwie spowodowanej II wojną światową przystąpiono do systematycznych badań. Jeśli zmierzmy, ile cząstek dotarło do trzech różnych punktów Ziemi, to przy rozsądnym założeniu, że wtórne cząstki rozkładają się symetrycznie względem osi będącej przedłużeniem kierunku pierwotnie przylatującej cząstki i stosując nie specjalnie wyrafinowane metody matematyczne, da się określić punkt, w którym oś pędu osiągnęła powierzchnię Ziemi, w miarę dokładnie scałkować gęstość cząstek w całym pęku i wyznaczyć jego wielkość, a zatem energię pierwotnej cząstki.



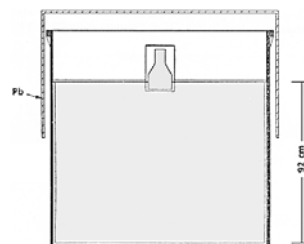
Ryc. 16. Aparatura pękowa w Echo Lake

Metodę tę zastosowano w eksperymencie zbudowanym przez Williama z grupy Rossiego, który był wówczas (1948) zatrudniony w MIT na Mt. Evans, Echo Lake w Kolorado. Trzy komory jonizacyjne umieszczono w wierzchołkach trójkąta równobocznego o boku 6 metrów, jeszcze jedną w środku, a dodatkowo wielką komorę mgłową do obserwacji i pomiarów kierunków śladów cząstek pękowych [19].

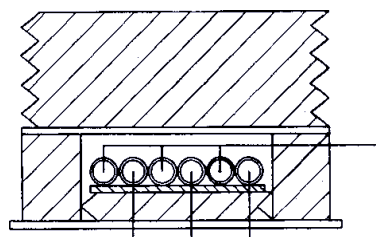
Na początku lat 50. XX w., zbudowano w Wielkiej Brytanii w Harwell wielką aparaturę wielkopękową obejmującą prawie 80 stacji pomiarowych złożonych z sześciu liczników G–M każda, rozmieszczonych w obrębie trójkąta równobocznego o boku długości prawie 1200 metrów [20]. Wzbożono ją później (1958) w wodne liczniki Czernkova mające uzupełniać binarną informację liczników G–M (trafiony/nietrafiony) informacją analogową o ilości światła wygenerowanego w dużym zbiorniku czystej wody przez poruszające się w wodzie szybciej od światła naładowane cząstki wielkiego pędu [21].



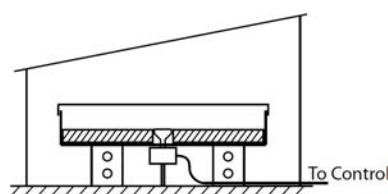
Ryc. 17. Schemat aparatury w Harwell



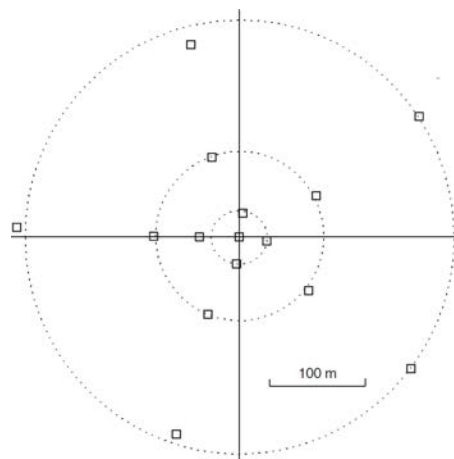
Ryc. 18. Detektor czerenkowski w Harwell



Ryc. 19. Jedna ze stacji detekcyjnych w Harwell

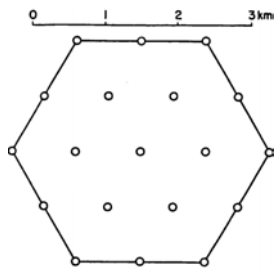


Ryc. 20. Detektor scyntylacyjny w stacji Agassiz



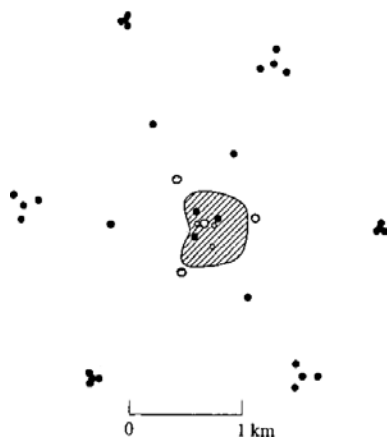
Ryc. 21. Eksperyment w stacji Agassiz

Odpowiedzią Amerykanów była aparatura wielkopękowa Agassiz, składająca się z 12 detektorów scyntylacyjnych, o powierzchni około metra kwadratowego każdy, rozmieszczonych na obszarze mniej więcej kilometra kwadratowego. Pozwoliło to po raz pierwszy użyć szybkiego timingu do pomiarów kierunkowych [22]. Aparatura ta w roku 1957 zarejestrowała rekordowy pęk o energii  $3 \times 10^{18}$  eV. Ciekłe, łatwopalne scyntylatory zamieniono na bezpieczne stałe [23] i takie w końcu ustawiono w górach Boliwii w El Alto (4200 m n.p. m.) i później w Chacaltay (5200 m), by zbadać, jak wielkie pęki rozwijają się na dużych wysokościach w atmosferze [24], a sam eksperyment ze stacji Agassiz przeniesiono do Volcano Ranch (1770 m) niedaleko Albuquerque w Nowym Meksyku. Detektory Volcano Ranch umieszczono symetrycznie na powierzchni sześciokąta o rozmiarze około 3 km. Eksperyment ten pracował ćwierć wieku począwszy od roku 1960.



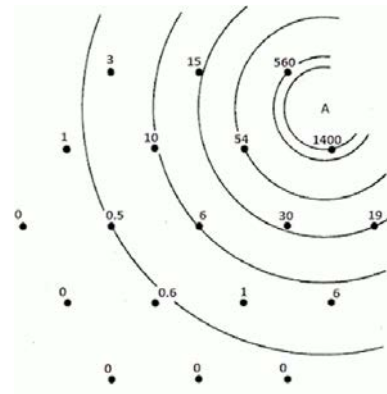
Ryc. 22. Aparatura Volcano Ranch

Anglicy zareagowali budując równie wielką aparaturę w Haverah Park, gdzie eksploatowano technikę detektorów czerenkowskich, podobnie jak w Harwell. Aparatura ta pracowała od początku lat 60. XX w. przez prawie 30 lat. [25]



Ryc. 23. Haverah Park

Najbardziej spektakularnego odkrycia dokonano jednak w USA. W lutym 1962 zarejestrowano pęk zawierający jakieś 50 miliardów cząstek, którego energię oszacowano początkowo na  $10^{20}$  eV [26]. Tę historyczną rejestrację pokazano na ryc. 23. Wydaje się, że nie było w tym

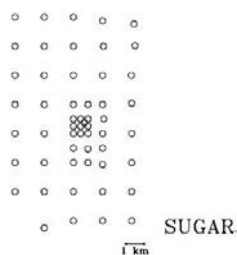


Ryc. 24. Rejestracja w Volcano Ranch wielkiego pęku o numerze 2-4834

nic nadzwyczajnego. Rejestrowano już wcześniej pęki zawierające miliardy cząstek, nigdy jednak tak wielkiego pęku jak 2-4834. Liczby przy detektorach pokazują zmierzoną gęstość cząstek pękowych w danym miejscu. Odkrycie to jednak nabrało znaczenia po roku 1964, kiedy to dwóch radioastronomów Penzias i Wilson zauważyło, że ciągle rejestrują na fali 7,35 cm emisję pochodzącą z niewiadomego źródła; wydawało się jakby to promieniowanie wysyłało ciało doskonale czarne o temperaturze  $3,5 \pm 1$  K [27] – jakby cały Wszechświat wypełniony był tym promieniowaniem. I okazało się, że rzeczywiście tak jest. Penzias i Wilson dostali za swoje odkrycie w roku 1978 nagrodę Nobla, ale nie to jest najważniejsze. Jeśli wszędzie pełno jest tych bardzo zimnych, ale jednak mających jakąś energię fotonów, to, jak zauważyli Rosjanie Zatsepina i Kuzmin [28] i niezależnie od nich Amerykanin Greisen [29], protony promieniowania kosmicznego o bardzo wielkich energiach powinny zderzać się z tymi fotonami i jak pokazały proste rachunki, powinny bardzo szybko tracić swą bardzo wielką energię. Na tyle szybko, że właściwie cząstek o energiach  $10^{20}$  eV w ogóle nie powinno się rejestrować. Efekt ten nazwano od nazwisk odkrywców obcięciem GZK.

Odkrycie z Volcano Ranch pozostawało w sprzeczności z tym, co wiemy o oddziaływaniach cząstek elementarnych. Nikt nie mógł podważyć wyniku pomiaru. O ile błąd o kilkanaście, nawet kilkadziesiąt procent w wyznaczeniu energii pęku byłby do pomyślenia, to jednak tu sprzeczność wydawała się nie do pokonania. Czyżby w fizyce działo się coś dziwnego. Każdy taki sygnał powoduje, że rzesze fizyków „rzucają się” na dany temat i powstają różne, dziwne czasem teorie (np. „może jednak teoria względności nie działa do końca tak, jak powiedział Einstein”, albo coś równie dziwnego – czemu nie!), ale z drugiej strony wzmożono wysiłki eksperymentalne, by sprawdzić, jak to jest w istocie, bo w szczególności w fizyce jedna jaskółka (2-4834) wiosny od razu nie czyni. Wynik z Volcano Ranch należało potwierdzić, albo też

wykazać, że jest to jednak jednorazowa pomyłka, fluktuacja, nieszczęśliwy zbieg okoliczności.



Ryc. 25. Eksperyment SUGAR

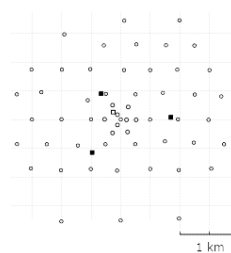
W końcu lat 60. XX w. do wyścigu amerykańsko-angielskiego w budowie największych aparatur pękowych i poszukiwaniu cząstek o najwyższej energii dołączyli Australijczycy, którzy skonstruowali eksperyment SUGAR, (Sydney University Giant Air-shower Recorder). 47 stacji pomiarowych, każda składająca się z dwóch wielkich, mających po 6 metrów kwadratowych zbiorników ciekłego scyntylatora, pokrywały obszar  $\sim 100 \text{ km}^2$ . O ile liczniki w Volcano Ranch i w Haverah Park ustawione były na powierzchni Ziemi, aby nic nie przeszkadzało w dotarciu do nich wielkopękowym elektronom, to w Australii tamtejsze wielkie zbiorniki zakopano w ziemi na kilka metrów, na tyle głęboko, aby typowe elektrony (i fotony) produkowane w atmosferze i tworzące zdecydowaną większość każdego pędu dotrzeć do nich nie mogły.

Co zatem obserwowały detektory w SUGAR? Obserwowały zupełnie inne cząstki elementarne. Te same, które w eksperymencie Bothego i Kolhörstera przebiły się przez sztabkę złota i powodowały koincydencje w doświadczeniach Rossiego z wielocentymetrowymi warstwami ołowiu. Nazywamy je dziś mionami (i oznaczamy grecką literą  $\mu$ ). Stanowią one mniej więcej 10% wszystkich cząstek w pęku (zależy to od typu cząstki, jaka pęk zainicjowała i od wysokości w atmosferze, na jakiej dokonujemy rejestracji).

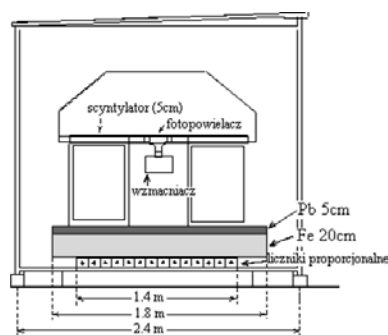
Inną ciekawostką aparatury australijskiej było to, że stacje nie były ze sobą w żaden sposób połączone. Każda z nich działała samodzielnie i ciekawe przypadki, gdy w obu scyntylatorach pojawiał się wystarczająco jasny błysk, rejestrowano na zwykłej magnetofonowej taśmie. Co jakiś czas wymieniano się taśmami i porównywano zapisy w dzisiejszej terminologii offline. Aby ustalić, czy jakieś stacje zarejestrowały ten sam wielki pęk, niezbędna była ich czasowa synchronizacja. Przy braku systemu GPS i systemu serwerów czasu NTP problem rozwiązano budując własny maszt radiowy i wysyłając z niego do wszystkich stacji własne sygnały czasu. Aparatura SUGAR pracowała nieco ponad 10 lat [30].

Od lat 70. XX w. w wyścigu ku najwyższym energiom biorą też udział Rosjanie. W Jakucku nad brzegiem Leny

zbudowali oni aparaturę, która była rozbudowywana i mierzyła wielkie pęki na wiele różnych sposobów [31]. Głównie były to pomiary elektronów licznikami scyntylacyjnymi, ale także mionów licznikami osłoniętymi przed składową elektronową oraz pomiary czerenkowskie światła powstającego w atmosferze robione w bezksiężycowe noce z użyciem skierowanych w niebo otwartych rur z czułymi detektorami światła umieszczonymi na końcu, ale też kamerami rejestrującymi światło fluorescencyjne powstające przy wzbudzeniu cząsteczek atmosfery (azotu  $\text{N}_2$ ) przez przelatujący pęk.



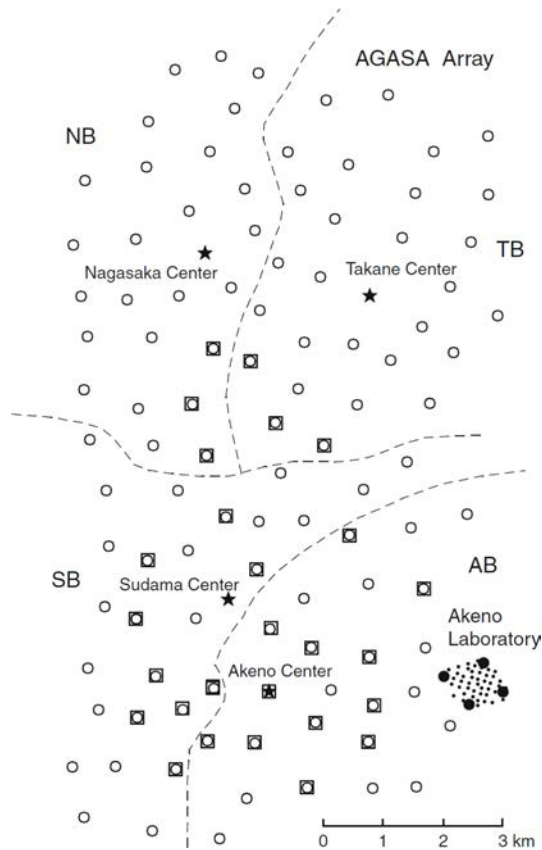
Ryc. 26. Aparatura wielkopękowa w Jakucku



Ryc. 27. Detektor naziemny aparatury Akeno /AGASA

Wszystkich przebili jednak Japończycy. W małej miejscowości Akeno w 1979 roku wybudowano aparaturę pękową na powierzchni  $1 \text{ km}^2$  (A1). Składała się ona ze 156 detektorów scyntylacyjnych o powierzchni  $1 \text{ m}^2$ . Dodatkowo zainstalowano tam detektor mionowy o powierzchni  $25 \text{ m}^2$ , zbudowany z długich i wąskich liczników proporcjonalnych ( $5 \text{ m} \times 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ ) przykrytych dwumetrową warstwą betonu. W kolejnym kroku w 1984 powstała aparatura o powierzchni  $20 \text{ km}^2$  (A20). Składały się na nią 23 detektory elektronów rozstawione w odstępach  $1 \text{ km}$ . W 1990 roku uruchomiono instalację Akeno Giant Air Shower Array (AGASA) obejmującą powierzchnię  $100 \text{ km}^2$ , składającą się w sumie ze 111 detektorów naziemnych o powierzchniach  $2,2 \text{ m}^2$  każdy, rozstawionych co mniej więcej  $1 \text{ km}$  (A100) i 27 osłoniętych betonem detektorów mionowych [32]. Wyniki uzyskane przez aparaturę AGASA skonfundowały większość fizyków zajmujących się promieniowaniem kosmicznym. Wskazywały one na istnienie sporej liczby przypadków o energiach przewyższających energię dozwoloną przez

obcięcie GZK. Najwyższą energię zarejestrowano w maju 2001 roku i wynosiła ona  $\sim 2,5 \times 10^{20}$  eV [33]. Wszystko wskazywało na to, że coś z naszym rozumieniem fizyki Wszechświata jest nie tak.

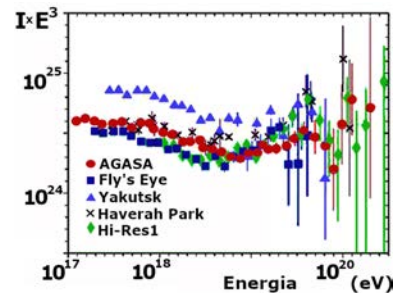


Ryc. 28. Japońska aparatura w Akeno

Po raz kolejny sprawą zajęli się Amerykanie. Od lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku na pustyni w stanie Utah funkcjonował eksperyment Fly's Eye [34] (później, po rozbudowie w latach 90. nazywany High Resolution Fly's Eye albo po prostu HiRes [35]). Nazwa oko muchy odpowiada technice pomiaru pęków. Nie polegała ona na rejestracji cząstek przez detektory umieszczone na powierzchni Ziemi, a na patrzeniu w górę i poszukiwaniu błysków światła fluorescencyjnego powstającego przy przechodzeniu przez atmosferę jednocześnie bardzo wielu cząstek naładowanych. W górę patrzyły pojedyncze bardzo czułe czujniki światła umieszczone w ogniskach teleskopów schowanych w okrągłych obudowach ustawionych na dwóch wzniesieniach ponad pustynią w Dugway. W sumie takich teleskopów było 22 (w oku lewym - Five Mile Hill) i 42 (w oku prawym - Camel's Back Ridge). Oczywiście eksperyment działać mógł tylko w bezksiężycowe i bezchmurne noce, ale za to był stosunkowo tani w realizacji. W maju 1997 rozbudowano go zastępując zwykłe oczy much oczami o wysokiej rozdzielczości i w taki sposób mierzono w Utah pęki do roku 2006.



Ryc. 29. Teleskopy eksperymentu Fly's Eye



Ryc. 30. Widmo energetyczne promieniowania kosmicznego najwyższych energii (dla przejrzystości strumień pomnożono przez  $E^3$ )

Wyniki eksperymentów w Utah niezbyt się zgadzały z uzyskanymi przez Japończyków, co widać na ryc. 30. Jakieś obcięcie widma przed energią  $10^{20}$  eV jest widoczne, choć te kilka przypadków, w tym pęk z 1991 roku o największej dotąd zarejestrowanej energii  $3,2 \times 10^{20}$  eV może niepokoić.

Nie to jest jednak najgorsze. Wielkie eksperymenty w końcu XX w. publikowały wyniki wzajemnie sprzeczne ze sobą i czasem różnica sięgała nawet 100% (ryc. 30). Może wydawać się to dziwne, w końcu chodzi o polichenie, ile cząstek o danej energii upadło na określoną powierzchnię w jednostce czasu, a jednak... Podstawową trudnością jest tu określenie energii cząstki. Przy tak wielkich energiach, w oddziaływaniach z jądrami atomów atmosfery produkowane są olbrzymie ilości cząstek wtórnych, które wciąż mają w większości olbrzymie energie i niosą je w głąb atmosfery oddziałując i produkując nieustannie nowe cząstki. Mierzymy rozmiary tej lawiny albo ustawiając na powierzchni Ziemi detektory rejestrujące cząstki naładowane (głównie elektrony i pozytony) z wielkiego pędu atmosferycznego próbując go w kilku, kilkunastu punktach oddalonych od siebie o setki metrów, albo obserwując na powierzchni Ziemi w jednym punkcie (czasem w dwóch) światło, jakie powstaje w wyniku pobudzenia cząsteczek atmosferycznych (azotu) przez naładowane cząstki pękowe na całej drodze rozwoju kaskady. W obu tych przypadkach potrzebna jest bardzo skomplikowana, tak teoretycznie, jak i numerycznie, machina obliczeniowa opracowująca zbierane dane. Aby powiedzieć, co dotarło na granicę atmosfery i zainicjowało konkretną lawinę cząstek musimy odtworzyć ją, wymodelować, wysymulować opierając się na fizycznych modelach zjawisk zachodzących przy najwyższych energiach. Biorąc pod uwagę to, że cząstek w takich pękach są

miliardy i że nie istnieje teoria opisująca ich oddziaływania, zdumienie budzić może nie fakt istnienia niezgodności w interpretacji pomiarów, a to że w ogóle interpretacja taka jest możliwa. Naukowcy skupieni wokół wielkich eksperymentów robią co mogą, a nie mogą wszystkiego. Rekord energii padł w Stanach. Eksperyment Fly's Eye zobaczył błysk wywołany przejściem przez atmosferę kaskady cząstek zainicjowanej przez pojedynczą cząstkę o energii  $3,2 \times 10^{20}$  eV.

Energię tę można przeliczyć na jednostki znane nam z lekcji fizyki. To jest ponad 50 dzuży (J)! Taką energię ma solidnie kopnięta piłka, albo cegła spadająca z balkonu pierwszego piętra – całkiem sporo. W jaki sposób pojedynczy proton osiągnął energię spadającej cegły, to jedno z ważniejszych pytań, na które nikt nie zna tak naprawdę odpowiedzi. Gdybyśmy dowiedzieli się, jak to się robi, kto wie, jak moglibyśmy to wykorzystać. Czasem aż strach pomyśleć!

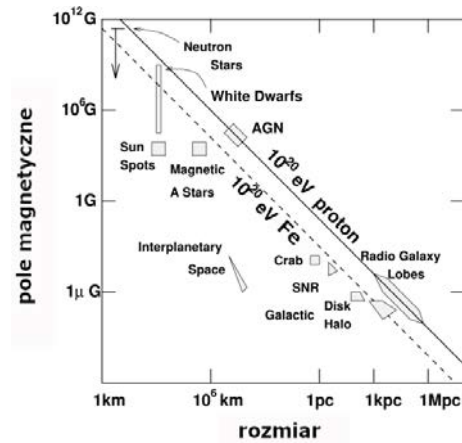
Wiemy, że cząstkom elementarnym można nadać wielkie energie umieszczając je w odpowiednio silnych polach elektrostatycznych, albo też przyspieszając je kilkakrotnie (zmuszając je do krążenia w kółko) w polach odpowiednio słabszych. Tak w sumie działają nasze akceleratory i póki co nikt nic lepszego nie wymyślił. Kłopot w tym, że nie wydaje się, aby we Wszechświecie były istotne obszary, w których mamy niezerowe (choćby i nieduże) pole elektrostatyczne wytwarzane przez naładowane kosmiczne elektrody. Pomijając nawet sam brak takich elektrod, przestrzeń pełna jest materii zjonizowanej, która, gdyby trafiła w taki obszar, zaraz skutecznie zneutralizowałaby ładunki wytwarzające pole. Na szczęście w plazmie kosmicznej istnieją prądy elektryczne. Plazma wiruje, oscyluje. Obłoki jej przemieszczają się, napotyka ją inne, zderzają się z nimi, a wszystkiemu towarzyszą niewielkie, ale rozległe pola magnetyczne generowane przez ruch plazmy, a jednocześnie ruch ten stabilizujące. Od czasów mniej więcej Maxwella wiadomo, że przemieszczające się pola magnetyczne generują w układzie laboratoryjnym pola elektryczne. I tu może być pies pogrzebany!

Niezależnie od tego, jaki byłby mechanizm przyspieszania, rozmiar kawałka przestrzeni, gdzie następuje przyspieszanie, nie może być mniejszy niż promień okręgu, po którym poruszałyby się naładowana cząstka przyspieszana w istniejącym tam polu magnetycznym. Promień Larmora rośnie z energią cząstki, więc warunek ten daje oczywistą granicę na energię, jaką może uzyskać przyspieszana cząstka

$$E_{\max} = ZqBR,$$

gdzie  $Z$  jest liczbą atomową przyspieszanego jądra, (nie musi to być wcale proton ( $Z = 1$ ), gdyż jesteśmy

pewni, że w promieniowaniu kosmicznym występują pierwiastki całego układu okresowego, w szczególności żelazo o  $Z = 26$ ),  $q$  to wartość ładunku elementarnego,  $B$  jest wartością pola magnetycznego, a  $R$  charakterystycznym rozmiarem obszaru przyspieszania.



Ryc. 31. Wykres Hillasa ukazujący możliwości produkcji cząstek o najwyższych energiach w różnych obiektach astrofizycznych

Zależność ta zastosowana do wysokoenergetycznego końca widma promieniowania kosmicznego pokazana jest na wykresie znanym jako wykres Hillasa [36]. I znowu pojawia się problem: prawie nigdzie we Wszechświecie nie ma warunków do przyspieszania, jedynie może się to zdarzyć w: aktywnych jądrach galaktyk (AGN) i aktywnych jądrach galaktyk z rozległymi obszarami emisji radiowej (Radio Galaxy Lobes), Galaktycznych halo albo białych karłach, czy gwiazdach neutronowych. Oczywiście na wykresie tym nie zaznaczono wszystkich obiektów na niebie. Niektórych po prostu nie znamy, a chcielibyśmy poznać.

I trzeci problem, jaki wiąże się z cząstkami o najwyższych energiach. W oddziaływaniach z mikrofalowym promieniowaniem tła powinny one tracić energię dość szybko, jeśli tylko przekraczają energię, przy której może powstać rezonans  $\Delta^+$  (nietrwały hadron) w procesie

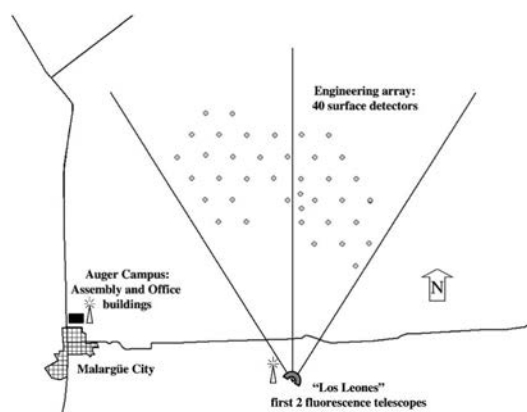


Rezonans rozpada się z powrotem na proton i mezon  $\pi$  z tym, że proton ma już teraz mniejszą energię niż przedtem i proces ten powtarza się, aż energia protonu zmniejszy się do około  $5 \times 10^{19}$  eV. Czas między zderzeniami określa przekrój czynny. Dokładne rachunki (uwzględniające jeszcze inne niuanse) pokazują, że jeśli gdzieś w przestrzeni są źródła protonów o energii powiedzmy  $10^{21}$  eV, czy nawet wyższej, to nie mogły one dotrzeć do nas z energiami większymi niż  $10^{20}$  eV z odległości większej niż kilkadziesiąt megaparseków. W skali kosmicznej to bardzo blisko. Na tyle blisko, że w międzygalaktycznych polach magnetycznych, które są

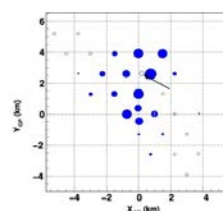
wprawdzie bardzo słabe, ale są wszędzie i próbują odchyłać cząstki nafałdowane w różne strony, kierunek z jakiego mogłyby one dotrzeć na Ziemię celowałby mniej więcej w miejsce, w którym powstały. Kierunki z jakich nadlatywały cząstki inicjujące wielkie pęki o najwyższych energiach określane są metodą triangulacji właściwie dość precyzyjnie. Gdyby sporządzić mapę tych kierunków, powinniśmy „zobaczyć” źródła tych cząstek. Oczywiście eksperymenciści zrobili to. Zrobili i nic nie zobaczyli. Wynik był dokładnie negatywny. Mimo wielkich wysiłków i poszukiwań, nie udało się znaleźć żadnej statystycznie istotnej anizotropii (czyli odchylenia od jednorodności rozkładu na sferze niebieskiej). Nie zauważono też żadnej korelacji z obiektami astrofizycznymi, o których wiemy, że są niedaleko nas. Ten negatywny wynik był bardzo frustrujący.

Z uwagi na wszystkie te niepokojące problemy i wagę zagadnień, dotyczących naszej wiedzy o mikroświecie, o oddziaływaniach cząstek wysokoenergetycznych, o ekstremalnych obiektach astrofizycznych i w końcu o Wszechświecie w skali daleko pozagalaktycznej, wiek XXI rozpoczęły gigantyczne przedsięwzięcia eksperymentalne. Jeszcze w roku 1991 powstała idea zbudowania dwóch wielkich eksperymentów na skalę dotąd niespotykaną, globalną. Jeden miał stanąć na półkuli południowej, drugi na północnej, by obejmowały w sumie całe niebo. Ponieważ statystyka zarejestrowanych przypadków, czyli liczba zarejestrowanych cząstek w okolicach obcięcia GZK rośnie bardzo powoli (z grubsza jeden przypadek /kilometr kwadratowy /stulecie), aby doczekać się definitywnych rozstrzygnięć postawiono na rozmiar, bo tu rozmiar na pewno ma znaczenie. O ile w dotychczasowych eksperymentach prowadzono pomiary na powierzchni rzędu  $100 \text{ km}^2$ , to tym razem plany były kilkudziesięciokrotnie bardziej ambitne, mierzone w tysiącach kilometrów kwadratowych. Znalezienie odpowiedniego miejsca jedynie na półkuli północnej było stosunkowo łatwe – poligon armii amerykańskiej w Dugway (strefa 51!) doskonale się do tego nadawał, na półkuli południowej zaś wybrano Argentynę, pampę w okolicy miejscowości Mendoza. Oba eksperymenty miały być identyczne. Z czasem pojawiły się drobne różnice, ale co do zasady wielkie pęki atmosferyczne miały być tu i tam rejestrowane w ciemne noce przez zestawy bardzo czułych detektorów światła fluorescencyjnego, a przez całą dobę rejestrowała je sieć detektorów powierzchniowych. Europejczycy skoncentrowali się na południowym eksperymencie i w roku 2000 rozpoczęli budowę Pierre Auger Observatory (PAO) [37]. Rok później oddali do użytku tak zwaną Engineering Array – działający prototyp, na który składały się 32 powierzchniowe detektory czerenkowskie i jeden teleskop fluorescencyjny. Układ ten pracował przez pół roku głównie w celach testowych

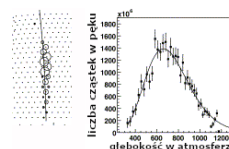
i kalibracyjnych. W roku 2003 PAO osiągnęło rozmiar przewyższający sieć AGASA i stało się największym na świecie eksperymentem „kosmicznym”. Rok później opublikowano pierwsze fizyczne wyniki z pierwszych 100 detektorów powierzchniowych [38]. Największy pęk zarejestrowany w pierwszym roku pracy aparatury miał energię  $4 \times 10^{19} \text{ eV}$ , był prawie poziomy (kąt zenitalny to było ponad  $80^\circ$ ) i wyglądał tak, jak na ryc. 33.



Ryc. 32. PAO Engineering Array (2004)



Ryc. 33. Pęk o energii  $4 \times 10^{19} \text{ eV}$  zarejestrowany przez detektory powierzchniowe Engineering Array PAO

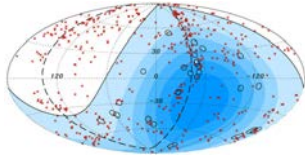


Ryc. 34. Widok innego pęku w detektorze fluorescencyjnym i wyznaczony rozwój podłużny tego pęku

Detektory fluorescencyjne także rejestrowały pęki i przykład takiej rejestracji mamy na ryc. 34. Na podstawie wielkości impulsów światła przychodzących z różnych kierunków można odtworzyć tak zwaną krzywą rozwoju podłużnego pęku i na jej podstawie szacować przede wszystkim energię całej kaskady, czyli energię pierwotnej cząstki promieniowania kosmicznego.

W 2007 roku statystyka zarejestrowanych pęków wysokoenergetycznych była już na tyle duża (w sumie 27 pęków o energiach powyżej  $5,7 \times 10^{19} \text{ eV}$ ), że można było pokusić się o poszukiwanie kierunków z jakich docierają. Sprawdzano, czy istnieją korelacje z różnymi obiektami na niebie (zmieniając przy tym i energię progową – stąd ta dziwna liczba 5,7) i wreszcie znaleziono! [39]. Katalog kwazarów i aktywnych jąder galaktyk autorstwa Véron-Cetty i Véron z roku 2006 zawierał pozycje

85 221 kwazarów, 1 122 obiekty typu BL Lac i 21 737 aktywnych jąder galaktyk. 694 z nich znajdowało się bliżej niż 100 Mpc. Nie wnikając w szczegóły opublikowano mapę kierunków pęków zarejestrowanych przez PAO i AGN oraz wyznaczono na 99% poziom ufności dla realności korelacji kółek i kropek z ryc. 35.



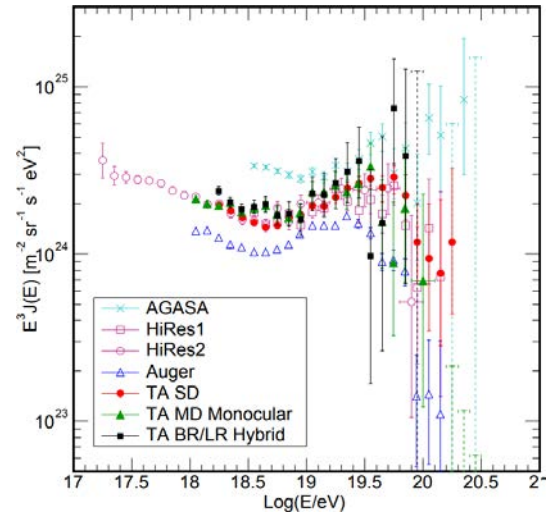
Ryc. 35. Kierunki na niebie (w projekcji Aitoffa i współrzędnych galaktycznych) 27 pęków zarejestrowanych przez PAO (kółka) i AGN (kropki) z katalogu V-C

Wydawało się, że zagadka wysokoenergetycznego końca widma w promieniowaniu kosmicznym bliska jest rozwiązania zwłaszcza, że w 2008 roku PAO pokazało wyniki pomiarów widma energetycznego promieniowania kosmicznego o najwyższych energiach. Widać (ryc. 36, 37) było na nim wyraźnie obcięcie GZK powyżej energii  $4 \times 10^{19}$  eV [40].

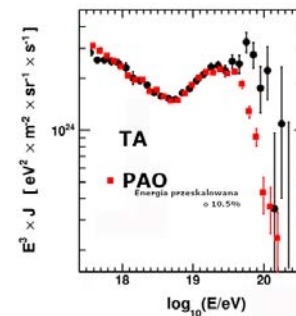
W tym samym czasie na półkuli północnej powstawał eksperyment Telescope Array (TA). Budowa zaczęła się trochę później niż PAO, bo w 2003, lecz pierwsze wyniki zaczęły pojawiać się w 2008 roku. Nieco ponad 500 scyntylacyjnych detektorów powierzchniowych TA rozłożono na trzy razy mniejszym obszarze niż w PAO. Od roku 2012 TA publikuje swoje wyniki dotyczące widma energetycznego z wyraźnym obcięciem GZK przy energii  $4,8 \times 10^{19}$  eV [41] i anizotropii, której zupełnie nie można dostrzec także powyżej energii  $5,7 \times 10^{19}$  eV [42]. Przetestowano też szczególnie dokładnie proponowane przez PAO korelacje z aktywnymi jądrami galaktyk z katalogu V-C i nic! nie znaleziono. Oba wielkie eksperymenty prezentują wzajemnie sprzeczne konkluzje.

Z widmami energetycznymi jest w sumie podobnie. Jedni i drudzy wskazują na obcięcie sugerowane przez mechanizm GZK i to w podobnym miejscu, jednak, gdy narysować oba widma na jednym obrazku widok jest zdumiewający:

Punkty PAO leżą niżej od wyników TA i to zdecydowanie (czynniki 2!). Oczywiście należy pamiętać, że na osi pionowej mamy strumień cząstek pomnożony (dla wygody) przez  $E^3$  i systematyczny błąd pomiaru energii przesuwają punkty nie tylko poziomo, ale i w pionie. Nowe wielkie eksperymenty, nowi (po części) ludzie, nowe narzędzia obliczeniowe nie pomogły. Rozbieżności, jakie obserwowaliśmy w XX wieku nie zniknęły z początkiem XXI. Można by postąpić, tak jak postępują niektórzy, podsumowując aktualną sytuację stwierdzeniem „nic się nie stało”. Przeskalujemy energię TA o 5,2% w dół, albo PAO o 5,2% w górę, jak w pracy [43], albo tylko PAO



Ryc. 36. Widma energetyczne zmierzone przez PAO i TA (i starsze wersje Hi-Res oraz dla porównania AGASA)



Ryc. 37. Widmo energii mierzone przez TA i przez PAO (widmo PAO jest przeskalowane w energii o 10,5%)

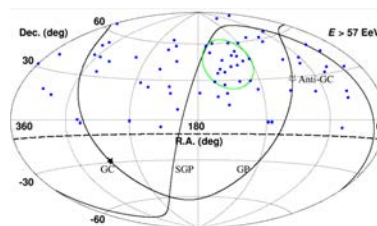
o 10,5% i już będzie lepiej. Wyniki takiego rozumowania przedstawia ryc. 37.

Widać zgodność w obszarze od  $10^{19}$  eV do  $3 \times 10^{19}$  eV. Poza tym obszarem wyniki nadal zgodne nie są. Stanowi to spory problem, jeśli ktoś chciałby ustalić, skład masyowy promieniowania kosmicznego w tym zakresie energii. Obcięcie GZK, o którym wspominaliśmy, dotyczy z istoty swojej jedynie protonów, a ściślej pojedynczych nukleonów. Jeśli lecącą cząstką promieniowania kosmicznego jest jądro atomowe, np. żelaza ( $A = 56$ ), ma w całości energię  $E$ , to każdy z jego nukleonów ma energię  $E/A$ , czyli 56 razy mniejszą. Obcięcie GZK w przypadku jąder żelaza zaczynałoby pracować dopiero powyżej energii  $10^{21}$  eV. Wydawać by się mogło, że widziane w widmie obcięcie jasno wskazuje, że cząstkami promieniowania kosmicznego o najwyższych energiach są protony. Jest to jednak nieprawda. Jądra atomowe oddziałują z promieniowaniem elektromagnetycznym (fotonami, kwantami  $\gamma$ ) na wiele sposobów i jednym z nich jest fotodezintegracja poprzez rezonansowe wzbudzenie zwane Gigantycznym Rezonansem Dipolowym. Podobnie, jak ma to miejsce w procesie GZK, dla jąder o bardzo wysokiej energii szansa na pochłonięcie jakiegoś fotonu, którymi wypełniony jest cały Wszechświat, staje się czasem wyjątkowo duża. Dokładne obliczenia pokazują, że fotony

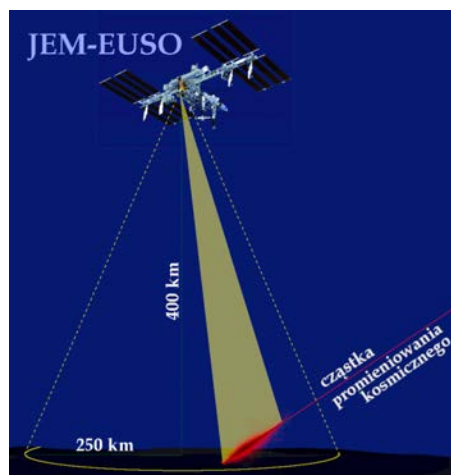
wzbudzające jądra nie muszą być wcale fotonami mikrofalowego promieniowania tła (jak w GZK), których jest ponad 400 w każdym centymetrze sześciennym. Dla jąder promieniowania kosmicznego o niższych energiach, wypełniające Wszechświat równie dokładnie promieniowanie podczerwone ma energii na tyle dużo, że w takim jądrze powstanie na chwilę Gigantyczny Rezonans Dipolowy, a następnie rozpadnie się ono na mniejsze kawałki, każdy o całkowitej energii proporcjonalnej do jego masy atomowej. Proces fotodezintegracji jąder promieniowania kosmicznego zachodzi (złośliwie) tylko odrobinę dalej na skali energii niż GZK dla protonów. Szczegółowe rachunki i odpowiedź na pytanie, co do nas przylatuje, zależy niezwykle silnie od tego, jaki kształt ma widmo energetyczne i w którym miejscu zaczyna się obcięcie. Zmiana energii o 10% znacząco zmienia wyciągane wnioski. Na szczęście są też inne sposoby i próby wyznaczania mas docierających do nas cząstek o najwyższych energiach.

W kwestii anizotropii w ostatnich latach sytuacja zmieniła się i to w zasadzie o  $180^\circ$ . Pierwsze pomiary PAO wskazywały na korelację z aktywnymi jądrami galaktyk, czemu eksperyment TA zaprzeczał zdecydowanie. Napływ nowych rejestrowanych przypadków i rozrzut kierunków ich dotarcia na powierzchnię Ziemi nie potwierdzały pierwszych doniesień – po latach z silnej, zdecydowanie nieprzypadkowej korelacji pozostała tylko lekka sugestia, której już dziś nikt nie traktuje poważnie. Za to początkowo izotropowe rozłożenie kierunków przychodzenia cząstek na półkuli północnej po pięciu latach zbierania danych przestało być już tak izotropowe [44]. W sumie TA dysponowało 72 przypadkami pęków o energiach powyżej  $5,7 \times 10^{19}$  eV i rozkładały się one z wyraźnym wskazaniem na znaczący nadmiar z okolic obiektu o współrzędnych: RA:  $144,3^\circ$ , dec:  $40,3^\circ$ . Nadmiar ten rozkładał się, jak widać na ryc. 38 w miarę równo wewnątrz stożka o kącie rozwarcia około  $25^\circ$ . W obszarze tym jest na pewno sporo ciekawych obiektów astrofizycznych, jednak nic co nadawałoby się szczególnie na źródło promieniowania kosmicznego o najwyższych energiach, nic co emitowałoby szczególnie intensywnie promieniowanie elektromagnetyczne w jakimkolwiek zakresie fal, od radiowych po promieniowanie  $\gamma$ , a spodziewalibyśmy się, że jeśli gdzieś tam zachodzą procesy prowadzące do nadawania jądratomowym gigantycznych energii, to powinny temu towarzyszyć i inne ekstremalne zjawiska – a tu nic!

Wszystko wskazuje na to, że rozbieżności pomiędzy PAO i TA nie da się przezwyciężyć. Co należy zrobić w takiej sytuacji? Powołać do życia nowy, przy okazji jeszcze większy, nowocześniejszy, lepszy eksperyment, który zmierzy wreszcie to, co chcielibyśmy zmierzyć i odpowie na zasadnicze pytania jasno i definitywnie. W tym



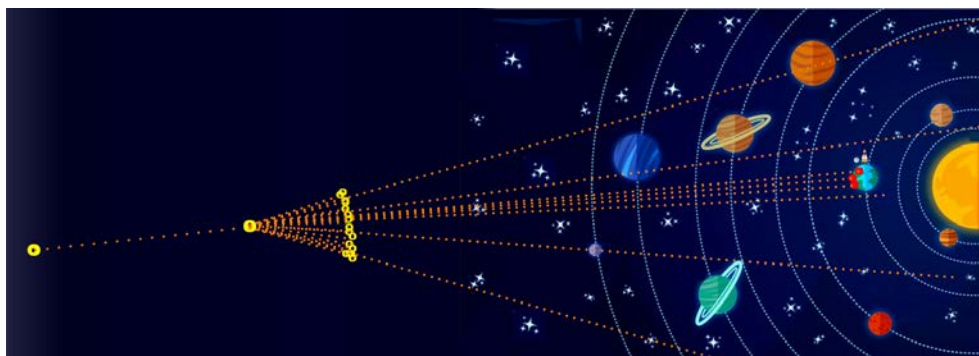
Ryc. 38. Mapa kierunków przychodzenia wielkich pęków o najwyższych energiach rejestrowanych przez TA. Zielone koło wyznacza stożek o promieniu  $25^\circ$  – hot spot



Ryc. 39. Eksperyment JEM-EUSO

miejscu fizyka zderza się z ekonomią. PAO w założeniach miało kosztować 50 milionów (euro). Przez dwadzieścia lat wszystkie koszty wyniosły setki milionów. Tyle, że trudno to nawet policzyć. Kogo stać na wybudowanie czegoś, co powinno kosztować grube miliardy? Pytanie jest raczej retoryczne. Wiele instytucji, krajów a nawet zwykłych prywatnych milionerów byłoby na to stać, tylko czy ktoś to zrobi? To nie jest pewne. Postawienie tysięcy dużych detektorów na sporej powierzchni i ustawienie teleskopów wypatrujących subtelnych błysków na niebie jest logistycznie dość skomplikowane, a zapewnienia, że po kilku(nastu) latach będziemy mądrzejsi, też nie są specjalnie przekonujące, szczególnie biorąc pod uwagę poprzednie, opisane wyżej przedsięwzięcia. Trzeba by wymyślić coś nowego, coś zdecydowanie innego. I wymyślono. Obecnie nazywa się to EUSO (Extreme Universe Space Observatory) [45] – kosmiczny teleskop patrzący jednak nie w niebo, a wprost przeciwnie, w dół. I cóż on może zobaczyć? Te same błyski, jakie widziało Obserwatorium Pierre'a Auger'a i eksperyment Telescope Array, ale umieszczony na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej, z wysokości około 400 km nad Ziemią będzie obserwował nie tysiące kilometrów kwadratowych, a obszary wielkości Polski ( $312\,676\text{ km}^2$ ), patrząc ukośnie nawet kilkakrotnie większe. Oczywiście będzie widział mniej fluorescencyjnych fotonów generowanych przez pęki o najwyższych energiach i obserwacja ich będzie daleko bardziej złożona, to jednak, jak pokazują prowadzone





Ryc. 40. Idea Zespołów Promieniowania Kosmicznego

obecnie testy, możemy się spodziewać interesujących wyników w niedługim czasie.

Jest jeszcze jedna możliwość. W roku 1985 Linsley, ten sam, który wykrył gigantyczny wielki pęk w roku 1962, zaproponował budowanie aparatury złożonej z autonomicznych, miniaturowych aparatów wykrywających małe pęczki bardzo lokalnie [46]. Wiele takich mini aparatów połączonych w sieć miało być nową jakością i przynieść odpowiedzi na ważne pytania. Wtedy jednak, prawie 40 lat temu, idea ta była bardzo skomplikowana. Dziś rozmaite sieci bez trudu oplatają świat, satelity oglądają nas z wysoka, przekazują dane, synchronizują ruch lotniczy, dyskutują z samochodami o ich położeniu, czasem z dokładnością centymetrową. Telefony tworzą sieci złożone z setek milionów, może miliardów węzłów. Ze swojego smartfonu możesz połączyć się z każdym, kto także „jest smart”. A każdy telefon ma wbudowany aparat fotograficzny. Aparaty są detektorami fotonów wpadających przez obiektyw na półprzewodnikową matrycę pojedynczych pikseli. Gdyby telefonom zasłonić obiektywy tak, by światło nie mogło wzbudzać elektronów w matrycy, byłyby one i tak wzbudzone przez naładowane cząstki, które dochodzą do nas z różnych stron. Część z nich to wtórne promieniowanie kosmiczne niekiedy przychodzące w wielkich pęczkach promieniowania kosmicznego, a czasem w bardzo wielkich pęczkach. Można wyobrazić sobie, że naraz wiele telefonów zarejestruje naładowane cząstki. Gdyby zebrać od nich tę informację, uzupełnić ją o wyniki istniejących ciągle na świecie dużych aparatów pękowych, można by nie tylko zbierać dane o wielkich pęczkach atmosferycznych i zwiększać statystykę najciekawszych, najbardziej energetycznych przypadków, ale można by też pokusić się o znalezienie czegoś nowego, czego nikt jeszcze nie widział i czego właściwie nikt się nie spodziewa. Takimi zjawiskami mogą być na przykład Zespoły Promieniowania Kosmicznego, którą to ideę ilustruje ryc. 40: z odległych, nieznanych przestrzeni kosmosu przylatuje w pobliże Układu Słonecznego nieznaną, niewidzianą jeszcze bardzo masywną cząstką. Mogła ona powstać na

samym początku Wszechświata, o którym ciągle wiemy bardzo mało. Mogłaby powstać i być na tyle stabilną, by przetrwać 14 miliardów lat i całkiem przypadkowo zabłądzić do nas. Mogłaby wejść w interakcję z polami magnetycznymi Słońca, albo zwyczajnie rozpaść się na mniejsze, znane nam z laboratoriów cząstki elementarne, które miałyby wciąż niesłychanie duże energie. One by zapewne też rozpadały się, czasem oddziaływały i taka lawina przechodząc przez Układ Słoneczny mogłaby trafić na Ziemię i spowodować zainicjowanie w jej atmosferze dużej liczby gigantycznych pęków promieniowania kosmicznego. Wszystkie one byłyby skorelowane czasowo i wykryć je mogłaby tylko globalna sieć detektorów. Zaobserwowanie Zespołów Promieniowania Kosmicznego byłoby tak samo niespodziewane, jak wykrycie samego promieniowania kosmicznego przez Hessa, czy wielkich pęków przez Augera i Maze’a i rzuciłoby nowe, nieznanne światło na otaczający nas Wszechświat. Nie wiemy oczywiście, czy Zespoły Promieniowania Kosmicznego w ogóle istnieją. Nie wiemy też, czy da się je łatwo wyłapać wśród olbrzymiej ilości sygnałów dochodzących do nas z kosmosu. Sprząc w jedną sieć miliony (miliardy?) małych detektorów w smartfonach jest zadaniem niezwykle ambitnym, próby jednak trwają. Jednym z takich eksperymentów jest projekt CREDO (Cosmic Ray Extremely Distributed Observatory) [47] z interesującym mottem **The quest for the unexpected** (W poszukiwaniu niespodziewanego).

Oczywiście wspaniale by było złapać króliczka, ale sama pogoń za nim jest fascynująca, a co ważniejsze bardzo kształcąca dla ludzi goniących za cząstkami elementarnymi ze smartfonami w dłoniach.

## Literatura

- [1] Coulomb, C.A., Mem. De l'Acad. Paris, 616, (1795).
- [2] Linns W., Meteor. Zeits., 4, 345 (1887) [wg Chalmers, J. A., *Atmospheric Electricity*, Pergamon Press, (1957)].

- [3] Exner, F., *Über transportable Apparate zur Beobachtung der atmosphärischen Elektrizität*, Wien, Akad. Ber. **95**, 1084 (1887).
- [4] Elster, J. i Geitel, H., *Über die Existenz elektrischer Ionen in der Atmosphäre*, *Terrest. Magnetism*, **4**, 213, 1899.
- [5] Wilson, C.T.R., *On a method of making visible the paths of ionising particles through a gas*. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences **85**, 285 (1911).
- [6] Longair, M., C.T.R. Wilson and the cloud chamber, *Astroparticle Physics* **53**, 55 (2014).
- [7] Hess V. F., *About the absorption of gamma rays in the atmosphere*, *Physikalische Zeitschrift* **12**, 998 (1911); Hess V. F., *About Observations of the Penetration Radiation During 7 Balloon Flights*, *Physikalische Zeitschrift* **13**, 1084 (1912).
- [8] Wulf, Th., *About the radiation of high penetration capacity contained in the atmosphere*, *Physikalische Zeitschrift*, **8**, 251 (1909).
- [9] Kolhörster, W., *Messungen der durchdringenden Strahlung im Freiballon in größeren Höhen* *Physikalische Zeitschrift*, **14**, 1153 (1913); Kolhörster, W., *Messungen der durchdringenden Strahlungen bis in Höhen von 9300 m* *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft*, **16**, 719 (1914).
- [10] Skobeltsyn, D., *Über eine neue Art sehr schnellerstrahlen*, *Zeitschrift für Physik* **54**, 686 (1929).
- [11] Geiger, H. i Müller, W., *Das Elektronenzählrohr*, *Physikalische Zeitschrift* **29**, 839 (1928).
- [12] Bothe, W. i Kolhörster, W., *Das Wesen der Höhenstrahlung*, *Zeitschrift für Physik* **56**, 751 (1929).
- [13] Rossi, B., *Method of registering multiple simultaneous impulses of several Geiger counters*, *Nature* **125**, 636 (1930).
- [14] Blackett, P. M. S. i Occhialini, G. P. S., *Photography of penetrating corpuscular radiation*, *Nature* **130**, 363 (1932).
- [15] Carmichael, H., *The Nature of Large Cosmic-Ray Bursts*, Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, **154**, 223 (1936).
- [16] Rossi, B., *Über die Eigenschaften der durchdringenden Korpuskularstrahlung in Meeresniveau*, *Z. Phys.* **82**, 151 (1933).
- [17] Bhabha, H. J. i Heitler, W., *The Passage of Fast Electrons and the Theory of Cosmic Showers*, Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences **159**, 432 (1937).
- [18] Auger, P., Maze, R. i Grivet-Mayer, T., *Grandes gerbes cosmiques atmosphériques contenant des corpuscules ultra-pénétrantes*, *Compt. Rend. Acad. Sci.*, **B206**, 1721 (1938); *Les grandes gerbes cosmiques de l'atmosphère Auger*, P. i Maze, R., *Compt. Rend. Acad. Sci.*, **B207**, 288 (1938).
- [19] Rossi, B. i Staub, H., *Ionization Chambers and Counters*, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York. (1949).
- [20] Cranshaw, T. E. i W Galbraith, W., *Time variations of Extensive Air Showers and the Origin of Cosmic Rays*, *Phil. Mag.* **45** 1109 (1954)
- [21] Porter, N. A., Cranshaw, T. E., De Beer, J. F., Parham, A. G. i Sherwood, A. C., *Observations on extensive air showers VII. The lateral distribution of energy in the electron-photon component*, *Phil. Mag.*, **3**, 826 (1958).
- [22] Bassi, P., Clark, G. i Rossi, B., *Distribution of Arrival Times of Air Shower Particles*, *Phys. Rev.* **92**, 441 (1953).
- [23] Clark, G. W., Scherb, F. i Smith, W. B., *Preparation of Large Plastic Scintillators* *Review of Scientific Instruments*, **28**, 433 (1959).
- [24] Hersil, J., Escobar, I., Scott, D., Clark, G. i Olbert, S., *Observations of Extensive Air Showers near the Maximum of Their Longitudinal Development.*, *Phys. Rev. Lett.* **6**, 22. (1961).
- [25] Lawrence, M. A., Reid, R. J. O. i Watson, A. A., *The cosmic ray energy spectrum above  $4 \times 10^{17}$  eV*, *J. Phys. G* **17** 733 (1991); Ave, M., Hinton, J. A., Knapp, J., Lloyd-Evans, J., Marchesini, M. i Watson, A. A., *Cosmic ray mass composition above  $3 \times 10^{17}$  eV measured with the Haverah Park Array*, Proceedings of 27<sup>th</sup> International Cosmic Ray Conference, Hamburg, Germany: 385 (2001).
- [26] Linsley, J., *Evidence for a Primary Cosmic-Ray Particle with Energy  $10^{20}$  eV*, *Phys. Rev. Lett.* **10**, 146 (1963).
- [27] Penzias, A.A. i Wilson R. W., *A Measurement Of Excess Antenna Temperature At 4080 Mc/s*, *Astrophysical J. Lett.* **142**: 419 (1965).
- [28] Zatsepin, G. T. i Kuz'min, V. A., *Upper Limit of the Spectrum of Cosmic Rays*, *Journal of Experimental and Theoretical Physics Lett.* **4**, 78 (1966).
- [29] Greisen, K. *End to the Cosmic-Ray Spectrum?*, *Phys. Rev. Lett.* **16** (17) 748 (1966)
- [30] Winn, M. M., Ulrichs, J., Peak, L. S., McCusker C. B. A. i Horton, L., *The cosmic-ray energy spectrum above  $10^{17}$  eV*, *J. Phys.*, **G 12**, 653 (1986); Winn, M. M., Ulrichs, J., Peak, L. S., McCusker C. B. A. i Horton, L., *The arrival directions of cosmic rays above  $10^{17}$  eV*, *J. Phys. G* **12**, 675 (1986).
- [31] Ivanov, A, for the Yakutsk array group, *The Yakutsk array experiment: Main results and future directions* EPJ Web of Conferences **53**, 04003 (2013); Knu-renko, S., Petrov, I., Petrov, Z. i Slepsov, I., *Ultra-high energy cosmic rays: 40 years retrospective of continuous observations at the Yakutsk array: Part 1. Co-*

- smic ray spectrum in the energy range  $10^{15}$ – $10^{18}$  eV and its interpretation*, EPJ Web of Conferences 99, 04001 (2015).
- [32] Chiba, N. i in., *Akeno Giant Air Shower Array (AGASA) covering 100 km<sup>2</sup> area*, Nucl. Instr. Methods A 311, 338 (1992).
- [33] Hayashida, N. i in., *Observation of a Very Energetic Cosmic Ray Well Beyond the Predicted 2.7K Cutoff in the Primary Energy Spectrum*, Phys. Rev. Lett. 73, 3491 (1994).
- [34] Baltrusaitis. R. M., Cady, R., Cassiday, G. L., Coperv, R., Elbert, J. W., Gerhardy, P. R., Ko, S., Loh, E. C., Salamon, M., Steck, D. i Sokolsky, P., *The Utah Fly's Eye detector*, Nucl. Instr. Methods A 240, 410 (1985)
- [35] Abu-Zayyad, T. i in., *The prototype high-resolution Fly's Eye cosmic ray detector*, Nucl. Instr. Methods A 450, 253 (2000).
- [36] Hillas A. M., *The origin of ultra-high-energy cosmic rays*, Annual Review of Astronomy and Astrophysics 22, 425 (1984).
- [37] Pierre Auger Collaboration, *Auger Collaboration Presentations*, Proceedings of the 27<sup>th</sup> ICRC, Hamburg, pp. 699–787 (2001).
- [38] Abrahama J. i in. (Pierre Auger Collaboration), *Properties and performance of the prototype instrument for the Pierre Auger Observatory*, Nucl. Instr. Methods A 523, 50 (2004).
- [39] Pierre Auger Collaboration, *Correlation of the Highest-Energy Cosmic Rays with Nearby Extragalactic Objects*, Science 318, 938 (2007).
- [40] Pierre Auger Collaboration, *Observation of the suppression of the flux of cosmic rays above  $4 \times 10^{19}$  eV*, Phys. Rev. Lett. 101, 061101 (2008).
- [41] Abu-Zayyada. T. i in. (TA Collaboration), *The energy spectrum of Telescope Array's Middle Drum detector and the direct comparison to the High Resolution Fly's Eye experiment* Astroparticle Physics 39-40, 109 (2012).
- [42] Abu-Zayyada. T. i in. (TA Collaboration), *Search For Anisotropy Of Ultrahigh Energy Cosmic Rays Wit The Telescope Array Experiment*, The Astrophysical J. 757, 26 (2012).
- [43] Ivanov, D., for the Pierre Auger Collaboration and the Telescope Array Collaboration *Report of the Telescope Array – Pierre Auger Observatory Working Group on Energy Spectru m*, 35<sup>th</sup> International Cosmic Ray Conference, Bexco, Busan, Korea (2017).
- [44] Abbasi, R. U. i in. (TA Collaboration), *Indications of Intermediate-Scale Anisotropy of Cosmic Rays with Energy Greater than 57 EeV in the Northern Sky Measured with the Surface Detector of the Telescope Array Experiment*, Astrophysical J. Lett., 790, L21 (2014).
- [45] Kajino, F., for the JEM-EUSO collaboration) *The JEM-EUSO mission to explore the extreme Universe*, Nucl. Instr. Methods A 623, 422 (2010).
- [46] Linsley, J., *Mini And Super Mini Arrays For The Study Of Highest Energy Cosmic Rays*, Proceedings of 19<sup>th</sup> International Cosmic Ray Conference, La Jola, USA, OG9.4-9, 434 (1985).
- [47] Homola, P. i in. (CREDO Collaboration) *Cosmic-Ray Extremely Distributed Observatory*, Symmetry 12, 1835 (2020).

---

# Czy małe dawki promieniowania jonizującego są szkodliwe?

Marek Krzysztof Janiak\*

---

**Abstrakt.** Hipoteza liniowej, bezprogowej zależności (ang. *linear, no-threshold, LNT*) między dawką promieniowania jonizującego (p.j.) a wywołanym przez nią skutkiem zakłada, że każda, nawet najmniejsza dawka pochłoniętego przez organizm człowieka p.j. może prowadzić do rozwoju nowotworu ciągle stanowi podstawę regulacji w ochronie radiologicznej. W pracy, po krótkiej rekapitulacji genezy hipotezy LNT, podano przykłady wyników analiz epidemiologicznych i badań prowadzonych na zwierzętach doświadczalnych świadczących, że hipoteza ta nie ma podstaw naukowych i że jej stosowanie utrudnia lub uniemożliwia wykorzystanie ekspozycji w niskich dawkach p.j. w diagnostyce i terapii chorób. Pora więc najwyższa aby porzucić fałszywą i szkodliwą hipotezę LNT na rzecz modelu progowego lub hormetycznego opartego na współczesnej wiedzy o działaniu niskich dawek p.j.

**Słowa kluczowe:** promieniowanie jonizujące, hipoteza LNT, ochrona radiologiczna, dane epidemiologiczne i doświadczalne.

**Abstract.** The linear, no threshold (LNT) hypothesis assuming that all ionizing radiation is harmful and that even the smallest absorbed dose of radiation may be carcinogenic constitutes the basis of radiation protection regulations. The present review briefly recapitulates the genesis of the LNT dogma and provides examples of results of both epidemiological and experimental studies indicating that the dogma is false and unscientific and, when applied in practice, begets more harm than good. Hence, the time is ripe, if not long overdue, to place cancer risk assessment on the biologically based and fully transparent foundations.

**Keywords:** ionizing radiation, LNT hypothesis, radiation protection, epidemiological and experimental evidence

---

Według powszechnej opinii każda ekspozycja na promieniowanie jonizujące (p.j.) stanowi poważne, nawet śmiertelne, zagrożenie dla człowieka. Ta radiofobia wynika przede wszystkim z braku właściwej wiedzy o biomedycznym działaniu, szczególnie małych dawek, p.j. (zwanymi też niskimi) oraz ze stosowanej w ochronie radiologicznej hipotezy liniowej, bezprogowej (ang. *linear, no-threshold, LNT*) zależności między dawką pochłoniętego promieniowania a jego skutkiem. Geneza hipotezy LNT sięga roku 1946, kiedy genetyk amerykański Hermann Joseph Muller otrzymał nagrodę Nobla za *odkrycie, że mutacje mogą być indukowane przez promienie X*. Nagroda była zwieńczeniem prowadzonych w latach 20. XX w. badań, w których wykryto zmiany wyglądu muszek owocowych (*Drosophila melanogaster*) poddawanych działaniu promieni X w dawkach śmiertelnych dla człowieka. Zmiany te miały być skutkiem popromiennych mutacji, ale Muller nie był w stanie ich wykazać. W swoim noblowskim wykładzie badacz ten – ignorując odmienne wyniki uzyskiwane przez jego współpracowników – stwierdził, że nie istnieje próg dawki dla powstania

mutacji popromiennych, czyli że ich częstość rośnie wraz z dawką liniowo od zera. Było to tuż po wstrząsających skutkach wybuchów bomb atomowych w Hiroszynie i Nagasaki. W efekcie, kilka gremiów naukowych i regulacyjnych w USA – bezkrytycznie i/lub z motywów politycznych – przyjęło tezę Mullera i, już jako model LNT, zaleciło je jako podstawę przepisów ochrony przed promieniowaniem. Czy słusznie? Poniżej przedstawione wyniki, z konieczności tylko niektórych, badań epidemiologicznych i doświadczalnych dowodzą jednak, że hipoteza LNT nie ma podstaw naukowych.

I tak, szczegółowa analiza epidemiologiczna ok. 86 tys. ludzi, którzy przeżyli ataki jądrowe na miasta japońskie, wykazała, że jeśli dawki pochłoniętego promieniowania nie przekraczały 100-200 mGy<sup>1</sup>, to liczba wykrytych białaczek i nowotworów litych była *mniej* niż wśród osób nienapromieniowanych. Także wśród ponad 75 tys. dzieci osób przebywających w Hiroszynie lub Nagasaki w dniach ataków atomowych (średnia dawka pochłonięta przez gonady rodziców wynosiła 264 mGy) śmiertelność z powodu nowotworów była *niż-*

---

\*Lekarz – prof. dr hab. nauk med., pułkownik WP w stanie spoczynku, dyrektor Wojskowego Instytutu Higieny i Epidemiologii (2002–2007), wieloletni kierownik Zakładu Radiobiologii i Ochrony Radiacyjnej WIHE (1997–2020)  
ORCID: 0000-0002-3822-7986

---

1. w przypadku p.j. jednostką dawki pochłoniętej jest grej (Gy), który odpowiada energii 1 dżula (J) przekazanej ośrodkowi o masie 1 kg, a więc 1 Gy = 1 J/kg. Dawki małe (niskie) p.j. to takie, które nie przekraczają 100 mGy (przy ekspozycji krótkotrwałej) ani 100 µGy/min (przy ekspozycji przewlekłej).

sza niż wśród potomstwa osób nie poddanych działaniu promieniowania atomowego.

W roku 2005 opublikowano statystykę zgonów ok. 2700 radiologów brytyjskich zarejestrowanych w zawodzie w latach 1897-1979, podzielonych na cztery grupy w zależności od wielkości obowiązujących w danym okresie dopuszczalnych limitów dawek promieniowania jonizującego. W porównaniu z innymi lekarzami, liczba zgonów radiologów z powodu nowotworów była we wszystkich grupach niższa niż przewidywana przy użyciu modelu LNT: największą różnicę wykryto dla okresu rejestracji przed rokiem 1920 (kiedy nie było limitu dawki dopuszczalnej dla radiologa), ale wyraźna niezgodność z liczbą spodziewanych zgonów dotyczyła także lat 1955-1979, gdy limit ten był zbliżony do dzisiejszego.

Ciekawy test poprawności hipotezy LNT przeprowadził Bernard Cohen, który śledził zachorowania na raka płuc wśród mieszkańców ponad 1600 hrabstw USA. Ludzie ci, tak jak wszyscy inni mieszkańcy Ziemi, wdychają naturalnie występujący w powietrzu radioaktywny gaz radon (Rn), uwalniany w trakcie rozpadu toru i uranu obecnych w glebie i skałach. Radon emituje silnie jonizujące cząstki  $\alpha$ , które pochłaniane są przez nabłonek oskrzeli, co może indukować raka płuc. Cohen wykazał jednak, że jeśli stężenie Rn we wdychanym powietrzu nie przekraczało określonego poziomu, wówczas liczba zgonów na raka była tym *mniej* im *większe* było stężenie radonu. Wielokrotna analiza tych zaskakujących danych ciągle dawała dokładnie odwrotne wyniki niż przewiduje hipoteza LNT. Także Richard E. Thompson, w swej bardziej szczegółowej analizie stwierdził, że wśród kilkuset mieszkańców pewnego hrabstwa USA oddychających powietrzem zawierającym radon w stężeniu 25-250 Bq/m<sup>3</sup> prawdopodobieństwo zachorowania na raka płuc jest *mniej* niż w grupie osób wdychających ten gaz w niższym stężeniu.

Hipotezy LNT nie potwierdzają też analizy prowadzone po katastrofie w Czarnobylu. Jak wykazuje Komitet Naukowy ONZ ds. Skutków Promieniowania Atomowego (UNSCEAR), do dziś z powodu zaburzeń popromiennych zmarło nie więcej niż 70 osób, w tym 47 w wyniku ostrej choroby popromiennej. Nie są więc prawdą ogłaszane w mediach dane o *setkach tysięcy ofiar Czarnobyla*. Wśród mieszkańców skażonych terenów Ukrainy, Białorusi i Rosji nie zanotowano zwiększonej zapadalności na nowotwory ani inne choroby popromienne; jedyny wyjątek stanowi rak tarczycy wykryty u osób, które w dniach katastrofy były dziećmi i wchłonęły duże ilości gromadzonego w tarczycy radioaktywnego jodu. Zachorowania te wykryto dzięki masowym badaniom przesiewowym, które ujawniły „nieme” postaci tego nowotworu. Taki rak na ogół nie jest groźny, a (jeśli to konieczne) jest skutecznie leczony, dlatego do dzisiaj zmarło nie więcej

niż dwudziestu spośród ok. 10 tys. mieszkańców skażonych terenów, u których rozwinął się ten nowotwór.

Niestety, analizy epidemiologiczne nie są w stanie udowodnić, że pochłanianie przez ludzi małych dawek p.j. nie tylko nie szkodzi, ale w wielu przypadkach działa prozdrowotnie (analiza tego dylematu epidemiologicznego wykracza poza ramy niniejszego artykułu). Trzeba więc odwołać się do wyników badań doświadczalnych. W roku 1987 na Uniwersytecie w Tokio wszczepiano myszom nowotwór dający przerzuty do płuc, po czym zwierzęta napromieniano w dawkach 100-500 mGy. Takie ekspozycje wyraźnie hamowały rozwój przerzutów nowotworowych. W roku 1993 na Uniwersytecie Medycznym Tohoku w mieście Sendai indukowano kolonie nowotworowe w płucach myszy przez dożylną wstrzykiwanie komórek raka. W okresie od 9 godzin przed do 3 godzin po podaniu tych komórek myszy napromieniano w dawkach 150-200 mGy, co hamowało rozwój kolonii nowotworowych. Te ostatnie wyniki powtórzyliśmy w Zakładzie Radiobiologii i Ochrony Radiacyjnej Wojskowego Instytutu Higieny i Epidemiologii, stosując inne komórki nowotworowe i inny szczep myszy: wielokrotne napromienianie w dawkach 100 lub 200 mGy wyraźnie blokowało rozwój kolonii nowotworowych w płucach. Ostatnio potwierdziliśmy te obserwacje wstrzykując komórki raka bezpośrednio do płuc myszy i pięciokrotnie napromieniając zwierzęta w dawkach 20 lub 200 mGy: w obu przypadkach, wzrost nowotworu był wyraźnie zahamowany.

Przeciwnotworowo działa także długotrwałe napromienianie w małych dawkach. Jeśli myszy, u których w 90% indukowano w grasicy rozwój złośliwego chłoniaka (za pomocą czterokrotnej ekspozycji na promieniowanie X w dawce 1,8 Gy) napromieniano wcześniej bez przerwy przez 450 dni promieniami gamma o niskiej mocy, nowotwór wykrywano tylko u 43% zwierząt, a gdy przez 258-450 dni stosowano wyłącznie ciągłą ekspozycję, u żadnej myszy chłoniak nie rozwijał się. Podobnie, jeśli myszy podatne na rozwój ciężkich chorób autoagresywnych były przez 5 tygodni ekspozowane na p.j. o niskiej mocy dawki, zwierzęta żyły niemal 4-krotnie dłużej dzięki zahamowaniu rozwoju tych chorób.

Na długo przed pojawieniem się danych o przeciwnotworowym działaniu małych dawek promieniowania X i  $\gamma$  lekarze w Europie i USA zaczęli stosować takie ekspozycje w leczeniu ludzi. W latach 1920-2020 opisano ponad 50 kontrolowanych prób klinicznych napromieniania całego ciała lub tylko tułowia ok. 2000 chorych z chłoniakami i białaczkami, ale także z różnymi guzami litymi. W większości przypadków pełne remisje choroby uzyskiwano u ponad połowy, a czasem u ponad 90% pacjentów. W odróżnieniu od chemioterapii, napromienianie całego ciała było nietoksyczne i szybciej hamo-

wało rozwój choroby. Niestety, wynikające z hipotezy LNT przepisy ochrony radiologicznej oraz powszechna radiofobia (obejmująca także wielu lekarzy) ciągle utrudniają prowadzenie wykorzystujących współczesne kryteria prób klinicznych ekspozycji całego ciała na promieniowanie  $X$  lub  $\gamma$ , co mogłoby doprowadzić do uznania takiej formy radioterapii za standardową metodę leczenia nowotworów i innych poważnych chorób.

Zacytowane wyżej i ciągle pojawiające się wyniki badań pokazują, że różnice w działaniu dużych i małych dawek p.j. mają nie tylko charakter ilościowy, ale także jakościowy, co obserwowane jest na wszystkich poziomach organizacji organizmu: molekularnym, komórkowym, tkankowym i ogólnoustrojowym. Mamy tu więc do czynienia ze zjawiskiem tzw. hormezy radiacyjnej (*hormáein* w antycznej grece znaczyło *wprawiać w ruch*), czyli pobudzania funkcji komórek i tkanek przez niskie dawki p.j., natomiast hamowania tych funkcji przez dawki wysokie. Hormezę odkryto w końcu XIX wieku, ale nadal wiele osób myli ją z pseudonaukowym systemem medycyny niekonwencjonalnej – homeopatią. W efekcie, nawet niektórzy naukowcy mają problem z wytłumaczeniem pozytywnych skutków zdrowotnych przyjmowania małych dawek p.j. W dużej mierze wynika to z faktu, że hormeza radiacyjna pozostaje w konflikcie z hipotezą LNT.

Co sprawia, że pomimo istnienia tak wielu danych podważających zasadność modelu LNT, ciągle stanowi on podstawę regulacji w ochronie radiologicznej? Istotną rolę odegrał tu autorytet noblisty Hermanna J. Mullera, którego poglądy przejęły bezkrytycznie niektóre amerykańskie ciała opiniotwórcze i regulacyjne. Ponadto, skoro dylemat epidemiologiczny nie pozwala jednoznacznie wykazać braku szkodliwości ekspozycji na małe dawki, odwołano się do zasady ostrożności, która (choć nieracjonalna i nienaukowa) w ochronie radiologicznej funkcjonuje jako tzw. reguła ALARA (*as low as reasonably achievable*). Mówi ona, że: po uwzględnieniu czynników medycznych, ekonomicznych i technicznych dawka aplikowanego p.j. powinna być jak najniższa. W efekcie, świadomie pozbawiamy się wielu korzystnych skutków ekspozycji na niskie dawki p.j.

Dominacja ideologii LNT ma brzemienne skutki. Najważniejsze z nich to:

a) ograniczenie stosowania źródeł p.j. w diagnostyce medycznej i badaniach naukowych;

b) generacja, zamiast zapobiegania powstawaniu, ofiar wśród ludzi ewakuowanych z terenów skażonych po awariach jądrowych;

c) skuteczność różnych tzw. ekologów, branży paliw kopalnych i OZE, lobby administracyjnego w dziedzinie ochrony radiologicznej itd. w torpedowaniu rozwoju najwydajniejszego i najbezpieczniejszego źródła energii, jakim są elektrownie jądrowe oraz, co należy podkreślić,

d) uniemożliwienie stosowania ekspozycji całego ciała na małe dawki p.j. jako lepszej od chemioterapii metody leczenia uogólnionych nowotworów i innych chorób.

Pora więc, aby porzucić fałszywą i szkodliwą hipotezę LNT (która więzi nas w przeszłości) na rzecz modelu progowego lub hormetycznego wykorzystujących współczesną wiedzę o działaniu małych dawek p.j.<sup>2</sup>. W tym kontekście, warto przytoczyć słowa Charlesa L. Sandersa z jego książki *Radiobiologia i hormeza radiacyjna* opublikowanej w roku 2017: *Liczba ludzi, których życie może być rocznie uratowane i wydłużone przez [stosowanie] niskich dawek promieniowania jonizującego jest znacznie większa, niż łączna liczba Amerykanów poległych w wojnach w całej naszej historii.*

## Literatura

- Brant A, Ulsh BA, Calabrese EJ. Time for Radiation Regulation to Evolve. The Cato Institute's magazine, Regulation, Fall 2019.
- Calabrese EJ, Baldwin LA. Radiation hormesis: the demise of a legitimate hypothesis. Hum Exp Toxicol. 19(1):76-84, 2000. doi: 10.1191/096032700678815611.
- Calabrese EJ. On the origins of the linear no-threshold (LNT) dogma by means of untruths, artful dodges and blind faith. Environ. Res. 142: 432 – 442, 2015.
- Calabrese EJ. Ethical failings: The problematic history of cancer risk assessment. Environ Res 193: 110582, 2021. doi: 10.1016/j.envres.2020.110582.
- Cardarelli JJ II, Ulsh BA. It Is Time to Move Beyond the Linear No-Threshold Theory for Low-Dose Radiation Protection. Dose Response 16(3):1559325818779651, 2018. doi: 10.1177/1559325818779651.
- Cheda A, Wrembel-Wargocka J, Lisiak E, Nowosielska EM, Marciniak M, Janiak MK. Single low doses of X-Rays inhibit the development of experimental tumor metastases and trigger the activities of NK cells in mice. Radiat. Res. 161: 335-340, 2004. doi: 10.1667/rr3123.
- Cohen BL. Test of the linear-no threshold theory of radiation carcinogenesis for inhaled radon decay products. Health Phys. 68(2): 157-174, 1995. doi: 10.1097/00004032-199502000-00002.
- Cohen BL. Test of the linear-no threshold theory: rationale for procedures. Dose Response 3(3):369-390, 2006. doi: 10.2203/dose-response.003.03.007.
- Dobrzyński L, Janiak MK, Strupczewski A, Waligórski M. O konieczności zmiany paradygmatu ochrony radiologicznej – komentarz SARI – Stowarzyszenia Uczonych dla Rzetelnej Informacji o Promieniowaniu. Scientists

2. Brant A. Ulsh i Edward J. Calabrese "Time for radiation regulation to evolve" *Regulation*, 2019.

- for Accurate Radiation Information, On the need to replace the present paradigm of radiation protection – comments by SARI (Scientists for Accurate Radiation Information). *Postech Jadr.* 60(3): 2-11, 2017.
- Doll R. Mortality of British Radiologists: A Lecture Note. *J. Radiat. Res.*, 46: 123-129, 2005.
- Doss M. Evidence supporting radiation hormesis in atomic bomb survivor cancer mortality data. *Dose Response* 10(4): 584-592, 2012. doi: 10.2203/dose-response.12-023.Doss.
- Golden R, J Bus J, Calabrese E. An examination of the linear no-threshold hypothesis of cancer risk assessment: Introduction to a series of reviews documenting the lack of biological plausibility of LNT. *Chem Biol Interact.* 301: 2-5, 2019. doi: 10.1016/j.cbi.2019.01.038.
- Grant EJ, Furukawa K, Sakata R, Sugiyama H, Sadakane A, Takahashi I, Utada M, Shimizu Y, Ozasa K. Risk of death among children of atomic bomb survivors after 62 years of follow-up: a cohort study. *Lancet Oncol.* 16(13): 1316-23, 2015. doi: 10.1016/S1470-2045(15)00209-0.
- Hansen CL, Hingorani R. LNT RIP: It is time to bury the linear no threshold hypothesis. *J Nucl Cardiol.* 26(4): 1358-1360, 2019. doi: 10.1007/s12350-019-01646-7.
- Hosoi Y, Sakamoto K. Suppressive effect of low dose total body irradiation on lung metastasis: dose dependency and effective period. *Radiation Oncol.* 26(2): 177-179, 1993. doi: 10.1016/0167-8140(93)90101-d.
- Ina Y, Sakai K. Further study of prolongation of life span associated with immunological modification by chronic low-dose-rate irradiation in MRL-lpr/lpr mice: effects of whole-life irradiation. *Radiat Res.* 163(4): 418-423, 2005. doi: 10.1667/rr3316.
- Ina Y, Tanooka H, Yamada T, Sakai K. Suppression of thymic lymphoma induction by life-long low-dose-rate irradiation accompanied by immune activation in C57BL/6 mice. *Radiat Res.* 163(2): 153-158, 2005. doi: 10.1667/rr3289.
- Janiak MK, Pocięgiel M, Welsh JS. Time to rejuvenate ultra-low dose whole-body radio-therapy of cancer. *Crit Rev Oncol Hematol.* 160: 103286, 2021. doi: 10.1016/j.critrevonc. 2021.103286.
- Jaworowski Z. Observations on the Chernobyl Disaster and LNT. *Dose Response* 8(2): 148-71, 2010a. doi: 10.2203/dose-response.09-029.Jaworowski.
- Jaworowski Z. Radiation hormesis – a remedy for fear. *Hum Exp Toxicol.* 29(4): 263-270, 2010b. doi: 10.1177/0960327110363974.
- Kaminski CY, Dattoli M, Kaminski JM. Replacing LNT: The Integrated LNT-Hormesis Model. *Dose Response* 8(2): 1559325820913788, 2020. doi: 10.1177/1559325820913788.
- Lorenz E, Hollcroft WJ, Miller E, Congdon CC, Schweisthal R. Long-term effects of acute and chronic irradiation in mice. I. Survival and tumor incidence following chronic irradiation of 0.11 r per day. *J Natl Cancer Inst.* 15(4): 1049 – 1058, 1955.
- Luckey TD. Radiation hormesis: The good, the bad, and the ugly. *Dose Response* 4(3): 169 – 190, 2006. doi: 10.2203/dose-response.06-102.luckey
- Luckey TD. Atomic bomb health benefits. *Dose-Response*, 6: 369 – 382, 2008. doi: 10.2203/dose-response.08-009.Luckey.
- Muller HJ. Artificial transmutation of the gene. *Science* 66(1699): 84 – 87, 1927.
- Nowosielska EM, Cheda A, Wrembel-Wargocka J, Janiak MK. Anti-neoplastic and immunostimulatory effects of low-dose X-ray fractions in mice. *Int. J. Radiat. Biol.* 87(2): 202-212, 2011. doi: 10.3109/09553002.2010.519422.
- Nowosielska EM, Cheda A, Pocięgiel M, Cheda L, Szymański P, Antoni Wiedlocha A. Effects of a unique combination of the whole-body low dose radiotherapy with inactivation of two immune checkpoints and/or a heat shock protein on the transplantable lung cancer in Mice. *Int. J. Mol. Sci.* 22(12): 6309, 2021. doi: 10.3390/ijms22126309.
- Ozasa K, Shimizu Y, Suyama A, Kasagi F, Soda M, Grant EJ, Sakata R, Sugiyama H, Kodama K. Studies of the mortality of atomic bomb survivors, report 14, 1950 – 2003: An overview of cancer and noncancer diseases. *Radiat Res.* 177(3): 229 – 243, 2012. doi: 10.1667/rr2629.1.
- Sanders CL. *Radiobiology and Radiation Hormesis. New Evidence and its Implications for Medicine and Society.* Springer-Verlag GmbH, 2017. ISBN: 3319563718
- Sutou S. Low-dose radiation from A-bombs elongated lifespan and reduced cancer mortality relative to un-irradiated individuals. *Genes Environ.* 40: 26, 2018. doi: 10.1186/s41021-018-0114-3.
- Suzuki N, Mizukoshi T. Effect of low doses of whole body irradiation on spontaneous lung metastasis of NFSa2ALM1 mouse tumors. *Radiat Med.* 5(6): 212-214. 1987.
- Takahashi A, Ohnishi T. Molecular mechanisms involved in adaptive responses to radiation, UV light, and heat. *J Radiat Res.* 50(5): 385-393, 2009. doi: 10.1269/jrr.09048s. Epub 2009 Jun 13.
- Thompson RE, Nelson DF, Popkin JH, Popkin Z. Case-control study of lung cancer risk from residential radon exposure in Worcester county, Massachusetts. *Health Phys.* 94(3): 228-241, 2008. doi: 10.1097/01.HP.0000288561.53790.5f.
- UNSCEAR 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Vol. II: Effects. United Nations Scientific Commit-

- tee on the Effects of Atomic Radiation, 2000 Report to the General Assembly, with scientific annexes. Annex J. United Nations sales publication E.00.IX.4. United Nations, New York, 2000.
- UNSCEAR 2008. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Vol. II: Effects: Scientific Annexes C, D and E. UNSCEAR 2008 Report. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Annex D. United Nations sales publication E.00.IX.4. United Nations, New York, 2011.
- UNSCEAR 2012. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly and Scientific Annexes A and B. UNSCEAR 2012 Report. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Annex A. United Nations sales publication E.00.IX.4. United Nations, New York, 2015.



---

# Początki Internetu w Polsce

Roman Szwed\*

Atende S.A.

---

**Abstrakt.** 17 sierpnia 1991 Polska została włączona w światową sieć Internetu. Stało się to na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego przy wykorzystaniu fizycznego łącza z Centrum Informatycznego Uniwersytetu Warszawskiego do Uniwersytetu w Kopenhadze. Było to możliwe, ponieważ Wydział Fizyki UW posiadał jako pierwszy w kraju sieć Internetową zbudowaną w ramach grantu badawczego COCOS. Zespołem COCOS kierował Roman Szwed, a członkiem zespołu, który bezpośrednio dokonał konfiguracji i podłączenia krajowego węzła do światowego Internetu był Rafał Pietrak. **Słowa kluczowe:** historia Internetu w Polsce, początki Internetu w Polsce, podłączenie Polski do Internetu, projekt COCOS, KA9Q, PLEARN, 17 sierpnia 1991, Roman Szwed, Rafał Pietrak

**Abstract.** On August 17 1991, Poland was included in the global Internet network. It happened at the Faculty of Physics, University of Warsaw, using the physical link from the University of Warsaw IT Center to the University of Copenhagen. It became possible because the Faculty of Physics was the first in the country to have an Internet network built under the COCOS research grant. The COCOS team was led by Roman Szwed, and Rafał Pietrak was a member of the team that directly configured and connected the national node to the global Internet.

**Keywords:** history of Internet in Poland, the beginnings of the Internet in Poland, connection Poland with Internet, COCOS project, KA9Q, PLEARN, history of the Internet, August 17 1991, Roman Szwed, Rafał Pietrak

---

## Internet dociera do Polski

Wysłanie pierwszego maila z zarejestrowanego w światowym Internecie węzła na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (UW) uznaje się za początek Internetu w Polsce. Tak się złożyło, że byłem bezpośrednim uczestnikiem wydarzeń sprzed 30 lat. Datę 17 sierpnia 1991 roku uznaje się za datę włączenia Polski w światową sieć Internet. Pracowałem wtedy w Zakładzie Fizyki Wysokich Energii Instytutu Fizyki Doświadczalnej i jednocześnie pełniłem funkcję koordynatora grantu badawczego, w ramach którego udało się zbudować na Wydziale Fizyki UW pierwszą w kraju sieć komputerową w standardzie dopasowanym do transmisji internetowych, wyposażyć ją w nowoczesny (na tamte czasy) system obliczeniowy i przy okazji podłączyć Polskę do Internetu.

## Sytuacja przed 1990

### *Poziom informatyzacji*

Polska na początku lat osiemdziesiątych ub. wieku znajdowała się w fatalnym położeniu w porównaniu ze światem zachodnim w zakresie informatyzacji. Sytuacja zaczęła się diametralnie zmieniać dopiero w drugiej połowie lat 80., kiedy pojawiły się komputery PC. Przypominam, że oficjalnie nie można było kupić i przewieźć żadnego komputera z USA, obowiązywało ścisłe embargo,

ale możliwy był import komputerów kompatybilnych z IBM-PC produkowanych na Dalekim Wschodzie. Wydział Fizyki UW był pionierem informatyzacji poprzez zakupy komputerów PC. Pomimo braku dewiz, znaleziono sposób na ten zakup. Zrealizowała go firma handlowa DAL i na Wydział Fizyki trafiło 25 nowiutkich komputerów PC firmy Inswell. Pomysłodawcą całego procesu był Włodek Minor, który wybierał się właśnie na staż zagraniczny i przekazał mi koordynowanie tego pierwszego „masowego” zakupu komputerów PC i tak się zaczęło wdrażanie nowoczesnych technologii komputerowych na Hożej.

### *Wdzwaniany Internet*

Fizycy z Wydziału Fizyki UW, który mieścił się wtedy przy ul. Hożej 69, w szczególności ci zajmujący się częściami elementarnymi, mieli znakomite kontakty naukowe na całym świecie. Badania prowadzone podczas pobytu za granicą trzeba było kontynuować po powrocie do kraju. Praca badawcza polegała głównie na analizie olbrzymich ilości danych na wielkich komputerach, których w Polsce nie było. Jedynym sposobem było zdalne logowanie poprzez „wdzwanianie się” do komputerów np. w ośrodku CERN w Genewie. Oczywiście trzeba było mieć hasła dostępowe, pozwolenia itd. Pod koniec lat 80. telefoniczne łączenie się z komputerem obliczeniowym stało się standardowym sposobem uprawiania fizyki cząstek elementarnych. Oczywiście po wdzwonieniu się do komputera, automatycznie znajdowaliśmy się

---

\*Dr hab. Roman Szwed jest Przewodniczącym Rady Nadzorczej Atende S.A. W 1991 roku był adiunktem na Wydziale Fizyki UW.

w międzynarodowej sieci, do której ten komputer był podłączony, np. w sieci Internet. Regularne połączenia tego typu były na porządku dziennym do tego stopnia, że na zagraniczne połączenia telefoniczne przeznaczaliśmy niekiedy ponad połowę posiadanego budżetu badawczego (jakieś miliony w dzisiejszych pieniądzach), ponieważ zagraniczne połączenia telefoniczne były wówczas bardzo drogie.

## Rok 1990

### *Pierwszy dostęp do światowych sieci komputerowych*

Ze względu na zmiany polityczne w Polsce, od roku 1990 sankcje na dostawy technologii komputerowych zaczęto wycofywać, z czego w pierwszym rządzie skorzystał CIUW (Centrum Informatyczne Uniwersytetu Warszawskiego), które uzyskało stałe połączenie z Uniwersytetem w Kopenhadze i w lipcu 1990 została stworzona sieć EARN – europejski odpowiednik amerykańskiej sieci BITNET. Sieć EARN/BITNET wykorzystywała standard sieciowy SNA firmy IBM. Krajowy węzeł PLEARN został połączony z duńskim węzłem DKEARN i nawiązano stałą komunikację mailową. Ze strony polskiej najbardziej przyczynili się do tego Tadeusz Węgrzynowski – wieloletni dyrektor CIUW i Andrzej Smereczyński, który był koordynatorem sieci PLEARN. Równolegle, dzięki zaangażowaniu Grzegorza Poloka, w listopadzie 1990 udało się zestawić bezpośrednie połączenie z krakowskiego Instytutu Fizyki Jądrowej (IFJ) do ośrodka CERN w Genewie. Wybraną technologią był standard sieciowy DECnet. Na koniec 1990 Polska miała więc dwa wykorzystywane połączenia ze światowymi sieciami, jedno z Warszawy (standard EARN/BITNET) i jedno z Krakowa (standard DECnet).

### *Wydział Fizyki UW stawia na właściwego konia*

Praca naukowa na Wydziale Fizyki w dziedzinie cząstek elementarnych dawała szanse uczestniczenia w grupach badawczych rozsianych po najlepszych ośrodkach badawczych w świecie. Ja także miałem szanse pracować w ośrodku CERN pod Genewą, w Ośrodku DESY pod Hamburgiem i odwiedzać wiele wiodących laboratoriów w Stanach Zjednoczonych. Dawało to szansę na doskonałą orientację, co dzieje się w zakresie informatyzacji i w którym kierunku ona zmierza. Dlatego wraz z moimi młodszymi kolegami, którzy zapalili się do pomysłu zbudowania nowoczesnej infrastruktury na Wydziale Fizyki, dokonaliśmy prawidłowych wyborów technologii, właściwie przewidując trendy w rozwoju informatyki. Postawiliśmy na otwarte standardy. Na protokół komunikacyjny wybraliśmy TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol), czyli w uproszczeniu Internet. Ta, wydawać by się mogło bezdyskusyjna decyzja, wcale nie była taka oczywista w 1990 roku. Źle przewidu-

jących przyszłość było wielu, zakochanych w produktach firm zaawansowanych technologicznie, ale zamkniętych w ramach własnych standardów, które właśnie dlatego dawno zniknęły z firmamentu informatyki.

### *Projekt COCOS*

Wraz z kolegami postanowiliśmy, naśladując wiodące światowe ośrodki, zbudować sieciowy system komputerowy korzystający z nowych możliwości technologicznych. W marcu 1990 powstał projekt **Komputerowy System Przetwarzania Rozproszonego** (COCOS, nota COCOS 1/1990, autorzy: M.Gromisz, O.Mańczak, R.Pietrak, K.Stojda, R.Szwed, J.Tarasiuk i G.Wrochna) i ja zostałem jego kierownikiem. Czytamy we wstępie do opisu projektu, że: *Celem przedsięwzięcia będzie skonstruowanie Komputerowego Systemu Przetwarzania Rozproszonego (COoperative COmputer System – COCOS) pozwalającego na zintegrowanie mocy obliczeniowej komputerów będących węzłami sieci oraz jednostki centralnej, tzw. farmy procesorów. Takie rozwiązanie odróżniałoby się od tradycyjnej sieci komputerowej tym, że uwspólnione zostałyby nie tylko zasoby danych, lecz również moc obliczeniowa poszczególnych węzłów.* Opis kończy się oszacowaniem kosztów i korzyści z tego projektu. Najważniejszym elementem projektu COCOS musiała być sieć. We wrześniu 1990 w kolejnym dokumencie **Sieć Komputerowa na Wydziale Fizyki** (nota COCOS 6/1990, autorzy: Roman Szwed, Marcin Gromisz, Olaf Mańczak, Rafał Pietrak i Jerzy Tarasiuk) uszczegółowiliśmy COCOS o projekt części sieciowej. W opisie standardu proponowanej sieci czytamy: *Proponujemy oparcie sieci wydziałowej o protokół TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) oraz rozproszony system plików NFS (Network File System). Odmowną zaletą takiego rozwiązania jest fakt, że oprogramowanie umożliwiające korzystanie z protokołów TCP/IP i NFS jest dostępne dla większości komputerów i systemów operacyjnych, co nie ogranicza użytkowników sieci do posiadaczy komputerów PC z systemem DOS.*

W budżecie wydziałowym nie było pieniędzy ani na komputery, ani na sieć. Dlatego już w marcu 1990 wystąpiliśmy do KBN (Komitetu Badań Naukowych zajmującego się wtedy przyznawaniem tego rodzaju grantów) o pieniądze na projekt COCOS i pod koniec 1990 roku udało się pozyskać duży grant, była to suma ok. 2 mld zł, co było odpowiednikiem wtedy ok. 200 tys. USD. Za te pieniądze planowaliśmy zbudować centrum komputerowe wyposażone w nowoczesne serwery i sprawną sieć komputerową.

## Rok 1991

### *Budowa infrastruktury*

Żwawo przystąpiliśmy do realizacji projektu COCOS; w połowie 1991 mieliśmy już sieć w standardzie Ethernet

i wpięte do sieci komputery PC, a rolę serwerów pełniły dedykowane komputery PC pod kontrolą dostosowanego do komputerów PC systemu UNIX z protokołem TCP/IP.

Nie zatrzymaliśmy się na sieci lokalnej – stworzyliśmy pierwsze elementy sieci metropolitalnej, co prawda łącząc w pierwszej kolejności jedynie Wydział Fizyki na ulicy Hożej 69 z siedzibą dziekanatu Wydziału przy ul. Hożej 74 oraz z kampusem głównym Uniwersytetu Warszawskiego na Krakowskim Przedmieściu 26/28, gdzie znajdował się CIUW. Warto podkreślić, że przy pierwszych połączeniach rozległych nie dało się stosować ruterów, nie było ich jeszcze na rynku polskim – amerykańska firma Cisco System dopiero się przebijała ze swoimi rozwiązaniami na rynku globalnym. Do połączeń sieciowych służyły nam urządzenia typu bridge firmy 3Com (*local bridges* i *remote bridges*), ale infrastruktura sieciowa działała bardzo sprawnie, chociaż z dość małymi prędkościami. Warto podkreślić, że już pod koniec 1990 roku mieliśmy dokładnie wykrystalizowane poglądy, co do potrzeby powstania uniwersyteckiej sieci metropolitalnej wykorzystującej światłowody dzierżawione lub odkupione od Telekomunikacji Polskiej (TP SA). Sprawa rozbiła się o pieniądze i brak zrozumienia w środowisku.

Nasz wybór farmy serwerów Silicon Graphics (SGI) jako źródła mocy obliczeniowej w projekcie COCOS także był pionierski. Królowały wtedy komputery typu *mainframe*, czyli wielkie i drogie komputery otoczone siecią terminali. Prym wiodł IBM i konkurował z nim DEC ze swoimi komputerami typu VAX i microVAX. Komputery te nie były dostępne w Polsce, głównie ze względu na embargo, ale także cenę. Mainframe IBM to był koszt rzędu 10 mln USD, duży VAX to 2 mln USD, a microVAX zdawał się być przełomowy, bo można go było kupić, powiedzmy, za 100 tys. USD. Wszystkie były poza naszym zasięgiem, dlatego wybraliśmy inną drogę... Skorzystaliśmy z przełomu technologicznego, który się właśnie dokonywał w Stanach. Pojawiły się na rynku komputery firmy SGI wyposażone w procesory nowej generacji, tzw. procesory RISC. Komputery te były wielokrotnie szybsze i tańsze, wykorzystywały otwarty system UNIX i protokół komunikacyjny TCP/IP. Za sumę ok. 100 tys. USD nabyliśmy 6 serwerów SGI, każdy o mocy obliczeniowej przekraczającej kilkakrotnie moc komputera microVAX. Niestety ze względu na procedury importowe, serwery SGI zamówione w połowie 1991 zostały włączone do projektu dopiero w początkach 1992.

### Polityka

Mimo, że był już rok 1991, czyli 2 lata po transformacji ustrojowej w Polsce, Amerykanie nie byli zbyt skorzy, aby nam cofnąć embargo na nowoczesne technologie

komputerowe i dostęp do Internetu. Jeszcze w 1990 roku próba zamówienia ulotek reklamowych z firmy SGI skończyła się przesłaniem grzecznego pisma, że ze względu na embargo niestety nie mogą przesłać zamówionych materiałów. My wierzyliśmy w trwałość zmiany w Polsce i nie zgadzaliśmy się na izolację technologiczną, dlatego wiele osób niezależnie, wszelkimi sposobami próbowało przekonać naszych przyszłych sprzymierzeńców, że pora wydać zgodę. Pamiętam, że intensywnie w tej dziedzinie działał między innymi prof. Antoni Kreczmar z Informatyki na UW, ze środowiska krakowskiego Krzysztof Heller, a z Hożej Jacek Gajewski, także Maciej Kozłowski z Centrum Astronomicznego im. Mikołaja Kopernika (CAMK) i oczywiście wielu innych, a także szły naciski przez oficjalne kanały dyplomatyczne i... pękło. Gdzieś w połowie 1991 dostaliśmy zgody.

### Pierwsze połączenie

#### *Fizyczne łącza*

Oczywiście pojawiły się kłopoty. Nie mieliśmy profesjonalnego rutera, nie było dedykowanego łącza poza multipleksowanym (współdzielonym przez różne standardy sieciowe) łączem z CIUW na Krakowskim Przedmieściu do Centrum Komputerowego Uniwersytetu Kopenhaskiego, no i trzeba było w praktyce nauczyć się jak działa wielka sieć światowego Internetu. Te istniejące współdzielone kanały komunikacyjne z CIUW do Kopenhagi to był BITnet (standard firmy IBM), DECnet (standard firmy DEC) i X.25 (otwarty standard, ale już wtedy był archaiczny) i jeden kanał był wolny. Łączna przepustowość to 9600 bitów/s. Jak widać, łącza sieciowe z Polski w świat już wtedy istniały i były wykorzystywane, ale nie był to Internet.

#### *Wybór standardu*

Warto chyba wytłumaczyć, że po warstwie protokołu DECnet (preferowanego przez IFJ w Krakowie) można było przysłać maile Internetowe (translacja protokołu), tak samo, jak można było to robić po warstwie EARN/BITnet (standard firmy IBM preferowany w CIUW w Warszawie). Było to jednak jedynie symulowanie Internetu, a nie włączenie się w sieć Internetową. Czym innym był dostęp do Internetu światowego za pomocą wdzwonienia się z pojedynczego komputera, czy korzystanie z sieci EARN/BITnet lub DECnet, a zupełnie czym innym włączenie działającej krajowej sieci Internet do światowej sieci Internet. My szanując standardy zarówno firmy IBM, jak i DEC, mieliśmy jasną wizję standardu przyszłości komunikacji sieciowej – był nim Internet.

#### *Ustanowienie polskiego węzła światowego Internetu*

Mieliśmy już wtedy na Wydziale Fizyki działającą sieć Internetową, trzeba było więc jedynie umieć „wpaso-

wać się” w czwarty kanał multipleksa i zestawić łącznie Hoża–CIUW–Kopenhaga. Pamiętam, że nie posiadając profesjonalnego rutera, używaliśmy jako rutera komputera PC z wgranym oprogramowaniem KA9Q, które symulowało funkcje rutera. Wreszcie problemy zostały przełamane między innymi dzięki zaangażowaniu Rafała Pietraka, który był młodym adeptem fizyki i pracował dla projektu COCOS. Skoncentrował się na temacie utworzenia stałego połączenia Internetowego z Polski w świat poprzez Kopenhagę, skonfigurował za pomocą KA9Q serwery na Hożej i w CIUW tak, aby mogły pełnić rolę ruterów i **17 sierpnia 1991 roku udało się zestawić pierwsze połączenie**. Partnerem po stronie duńskiej był Jan Sorensen. Powstał oficjalny węzeł w Polsce umiejscowiony w CIUW i węzeł dostępowy na Wydziale Fizyki. Wcześniej, już w maju 1991 uzyskaliśmy ze SRI-NIC, stosownej amerykańskiej agencji, klasę B adresów internetowych, co dawało możliwość zdefiniowania 256 sieci lokalnych po 256 adresów IP w każdej z nich, a więc można było zacząć tworzyć rozległą sieć warszawską, a nawet krajową. Adresy internetowe z WAWPOLIP, bo tak nazwana została sieć, zaczęły się

propagować w sieci światowej i w krótkim czasie z węzła na Hożej były wysyłane i przyjmowane maile z całego świata. Śledzenie komunikatów mailowych z tamtego okresu przynosi informacje, że propagacja naszego węzła na pewno zaczęła bardzo dobrze działać już 7 września po zmodyfikowaniu konfiguracji po stronie duńskiej. Z fazy testów polski Internet przeszedł do fazy pełnego użytkowania.

Prawdę powiedziawszy, to ucieszyliśmy się wtedy bardzo, że internetowa łączność ze światem zaczęła działać, ale nikt z nas nie zauważył jakiegoś specjalnego przełomu. Naszym celem było zbudowanie infrastruktury informatycznej i jak najszybsze podłączenie się do światowego Internetu. Nawlekaliśmy paciorki na sznurek budując infrastrukturę i zdobywając wiedzę, aż przyszedł odpowiedni moment, więc się podłączyliśmy.

**Dlaczego akurat my? Odpowiedzi udzieliłem pośrednio w powyższym tekście. My – ponieważ dokonaliśmy właściwych wyborów co do standardów, oprzyrządowania oraz kierunku rozwoju i jako pierwsi byliśmy w pełni gotowi do skoku pełną parą w świat Internetu.**

# Kanadyjscy „szpiegzy atomowi” na Hożej

Andrzej Hennel\*

Po zakończeniu II Wojny Światowej rozpoczęła się zimna wojna, za jej początek niektórzy uważają słynne przemówienie Churchilla w Fulton w marcu 1946 roku. Inni wskazują datę 5 września 1945 roku. Tego dnia Igor Guzenko, szyfrant ambasady Związku Sowieckiego w Ottawie, wraz ze swoją rodziną oddał się pod opiekę władz kanadyjskich i przekazał 109 dokumentów dotyczących sowieckiej działalności szpiegowskiej.

Państwa zachodnie (szczególnie USA) oczywiście od dawna podejrzewały ZSRR o działalność szpiegowską. Był to jednak sojusznik w walce z faszyzmem i publiczne oskarżenia mogły być źle przyjęte przez opinię publiczną.

Dlatego też rząd kanadyjski z dużą niechęcią podszedł do otrzymanych informacji i przez kilka miesięcy ukrywał je przed opinią publiczną. Poinformował jednak sojuszników USA i Anglię. W końcu szef FBI Edgar Hoover nie wytrzymał i doprowadził do przecieku. Radio i prasa kanadyjska doniosły o sowieckiej siatce szpiegowskiej. Rząd był zmuszony przyznać, że to prawda i 15 lutego 1946 roku trzynastu podejrzanych zostało aresztowanych, a wśród nich emigrant z Małopolski David Shugar.



Profesor David Sugar (z archiwum Zakładu Biofizyki Wydziału Fizyki UW)

Był on pierwszym z dwóch fizyków pracujących później na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, którego spotkały oskarżenia o szpiegostwo ze strony

rządu kanadyjskiego i właśnie z powodu tych fałszywych oskarżeń pracował w Warszawie.

Losy tego wybitnego biofizyka profesora Davida Shugara (1915–2015) są rzeczywiście niebywałe. Urodził się podczas I Wojny Światowej niedaleko Opatowa jako jedno z pięciorga dzieci w żydowskiej rodzinie. Jego rodzicami byli Józef i Reizla Cuker. Wkrótce po wojnie, ku zdumieniu współbraci, podjęli decyzję o emigracji za ocean. Ćwierć wieku później Niemcy wywieźli i wymordowali znakomitą większość Żydów z tego rejonu Polski.

Rodzina Cuker przybyła do Kanady i zmieniła nazwisko na Shugar. Byli bardzo biedni, ale David uzyskał najlepszy w prowincji Quebec wynik matury, co mu dało bezpłatne studia. Ukończył w 1936 roku fizykę, a w 1940 roku zrobił doktorat na Uniwersytecie McGilla w Montrealu. Podczas studiów należał do lewicowej organizacji studenckiej. W 1943 roku ożenił się (wbrew rodzinie) z absolwentką studiów humanistycznych Uniwersytetu McGilla – Grace Wales Shugar (1918–2013), która nie była Żydówką. Podczas II Wojny Światowej trafił do marynarki, gdzie zajmował się wykrywaniem łodzi podwodnych. W 1946 roku rozpoczął pracę w kanadyjskim Ministerstwie Zdrowia i Opieki Społecznej. Był aktywnym działaczem związkowym.



David Sugar z żoną Grace w Kanadzie, podczas II Wojny Światowej (*Montreal Gazette* 28.03.2015)

W związku z dokumentami Guzenki, 15 lutego 1946 roku Shugar został nieoczekiwanie aresztowany. W dniu aresztowania nie miał pojęcia jakie są skierowane przeciwko niemu zarzuty. Niestety Shugara było to, że dla GRU (Głównego Zarządu Wywiadowczego

\*Fizyk – emerytowany profesor UW

ZSRR) był potencjalnym szpiegiem i już mu nadano pseudonim „Prometeusz”. Przygotowano nawet listę pytań, które należało mu zadać, dotyczących okrętów podwodnych. Ponadto (jak powiedział mi sam profesor Shugar) jako działacz związkowy znalazł się w notiesie telefonicznym jednego z ważniejszych szpiegów i jednocześnie komunistycznego posła do kanadyjskiego parlamentu, pochodzącego z Lublina Freda Rose (Fishela Rosenberga, 1907–1983), aresztowanego później. Humorystyczny jest fakt, że po ujawnieniu nazwiska Shugara w artykułach prasowych wypominano mu urodzenie w komunistycznej Polsce, której w 1915 roku nie było na mapie i którą opuścił w wieku 4 lat.

Shugar został bezszelestnie aresztowany i zniknął tak jak pozostałe osoby. Jego małżonka Grace Shugar po powrocie do domu zastała ślady rewizji – zabrano między innymi ich listy prywatne oraz jej pamiętnik z czasów panieńskich. Szybko rozpoczęła kampanię prasową domagając się informacji o losie męża.

Podjezanych (w tym dwie kobiety) umieszczono w spartańskich warunkach w ośrodku wojskowym na przedmieściach Ottawy. Mimo, że wojna już się zakończyła, zastosowano przeciwko nim wojenne dekrety i nie mieli możliwości kontaktu z adwokatem. Byli przez wiele dni przesłuchiwani. Shugar do niczego się nie przyznał, a po jedenastu dniach od aresztowania podjął na znak protestu czterodniowy strajk głodowy.

Ostatecznie wytoczono mu dwa procesy, w których został uniewinniony. Podczas procesów zeznawał oświadczenie zamaskowany Guzenko, ale w konfrontacji z Shugarem nie potrafił dowieść jego winy. W sumie aresztowano 39 osób, z których skazano 18. Najważniejszą osobą był wspomniany komunistyczny parlamentarzysta Fred Rose, skazany na 9 lat za kierowanie grupą szpiegów atomowych. Zwolniony po odbyciu połowy kary wrócił do Polski, gdzie był redaktorem w miesięczniku *Poland*. Profesor Shugar powiedział mi, że już nigdy w Polsce nie spotkał się z Fredem Rose. Drugą bardzo ważną osobą aresztowaną w Anglii na podstawie dokumentów Guzenki, był skazany na 10 lat więzienia szpieg atomowy, angielski fizyk Alan Nunn May. Po wyjściu na wolność był profesorem fizyki w Ghanie.

Shugar po ostatecznym uniewinnieniu został usunięty z pracy w Ministerstwie Zdrowia i Opieki Społecznej. Nie mógł też znaleźć żadnej pracy w Kanadzie. W latach 1948–1950 pracował w Paryżu w Instytucie Pasteura, ale tam dotarły sugestie z USA i został zwolniony. Ostatecznie w 1952 roku znalazł się w Warszawie, gdzie spędził większą część życia. Był twórcą Katedry Biofizyki i polskiej szkoły biofizyki w Warszawie; jego uczniowie opisali osiągnięcia prof. Sugara: <http://www.biogeo.uw.edu.pl/shugar.html>

Grace Shugar była profesorem na Wydziale Psychologii UW i twórczynią warszawskiego ośrodka psycholingwistyki rozwojowej: [http://www.psych.uw.edu.pl/o\\_nas.php?id=2&sub\\_id=5.3](http://www.psych.uw.edu.pl/o_nas.php?id=2&sub_id=5.3)

Do końca życia (mimo kłopotów z władzami PRL) Grace i David Sugar pozostali obywatelami kanadyjskimi. W 1999 roku David Shugar został przyjęty do Royal Society of Canada. Bardzo niechętnie rozmawiał o sprawie aresztowania i procesów w Kanadzie. Zgodził się na krótką rozmowę ze mną, pod warunkiem, że wolno mi będzie napisać o całej tej sprawie dopiero po jego śmierci. Kanadyjskie organizacje zajmujące się prawami człowieka uważają do dziś sprawę Shugara za wzorcowy przykład łamania tych praw.

Drugą osobą oskarżoną w Kanadzie o szpiegostwo był profesor Leopold Infeld (1898–1968). Urodził się on w Krakowie w starej rodzinie żydowskiej. Znamy jego przodków do piątego pokolenia żyjącego w XVIII wieku. Jego rodzicami byli Salomon Junior Infeld (1869–1942) i Ester Keile Kahane (1873–1932). Miał dwie siostry Felicję (1895–1945) i Bertę (1902–1943) zamordowane przez hitlerowców.

Ojciec Infelda był kupcem i chciał by syn kontynuował interes rodzinny. Syn jednak studiował od 1916 roku matematykę i fizykę na Uniwersytecie Jagiellońskim. W roku akademickim 1920/21 był na Uniwersytecie Berlińskim, gdzie spotkał się z Albertem Einsteinem. W 1921 roku obronił doktorat z fizyki teoretycznej poświęcony szczególnej teorii względności na Uniwersytecie Jagiellońskim pod opieką Władysława Natanson. Habilitował się w latach trzydziestych na Uniwersytecie Jana Kazimierza we Lwowie. Potem przebywał w Cambridge (Anglia). We współpracy z Maxem Bornem sformułowali wówczas elektrodynamikę Born-Infelda.

W 1935 roku bezskutecznie ubiegał się o stanowisko kierownika Katedry Fizyki Teoretycznej na Uniwersytecie w Wilnie. Następnie wyjechał do Instytutu Studiów Zaawansowanych w Princeton (New Jersey, USA), gdzie współpracował z Albertem Einsteinem nad zagadnieniami równań ruchu w ogólnej teorii względności (teoria Einsteina-Infelda-Hoffmana) oraz popularną książką *Ewolucja Fizyki*.

Od 1938 do 1950 roku był profesorem Uniwersytetu w Toronto (Kanada), zajmował się kosmologią relatywistyczną i teorią faktoryzacji. Podczas II Wojny Światowej brał udział w pracach nad budową radaru. Nie miał żadnego związku organizacyjnego z programem Manhattan. Natomiast wygłaszał wykłady popularnonaukowe, w których twierdził, że sama zasada bomby atomowej jest prosta i wkrótce Rosjanie będą mieli bombę.

Okres powojenny obfitował w liczne wydarzenia związane ze szpiegostwem i z bombą. W 1946 roku wybuchła afera Guzenki. W 1949 roku aresztowano w Anglii

fizyka Klausa Fuchsa – najważniejszego szpiega w programie Manhattan. Fuks był głównym odpowiedzialnym za fakt, że 29 sierpnia 1949 roku ZSRR wykonał swoją pierwszą próbę atomową w Kazachstanie. Eksplozowana wówczas bomba atomowa była wierną kopią bomby Fat Man zrzuconej na Nagasaki w 1945 roku. W 1950 roku w USA aresztowano słynnych szpiegów - małżeństwo Juliusa i Ethel Rosenbergów. Kolejny, pracujący w Kanadzie nad reaktorem atomowym, włoski fizyk Bruno Pontecorvo wyjechał z Kanady do Anglii i zaginął. Odnalazł się po 5 latach na wysokim stanowisku w ZSRR.

W tej atmosferze Infeld przyjechał w 1949 roku do Warszawy, gdzie zaproponowano mu roczny pobyt naukowy na Uniwersytecie Warszawskim. Zanim podjęto ostateczne decyzje Infeld, po powrocie do Kanady, trochę nieopatrznie w wywiadzie dla katolickiego czasopisma „Ensign” powiedział o planach wyjazdu na rok do Polski. Jednocześnie wiadomo było, że ma on lewicowe poglądy i sprzyja ówczesnym władzom PRL.

Redakcja postanowiła to nagłośnić i zamieściła na pierwszej stronie artykuł z krzykliwym tytułem *Profesor Infeld został odwołany do Polski*. Przekonywano czytelników, że Infeld (współpracownik Einsteina) zna wszystkie sekrety broni atomowej i teraz je przekaże na Wschód. Infeld oczywiście bezskutecznie protestował tłumacząc, że nigdy się tymi zagadnieniami nie zajmował. Sprawa trafiła nawet do parlamentu. Czołowy polityk opozycji George Drew postawił wniosek, aby podjąć odpowiednie kroki dla zbadania okoliczności, w jakich dr Infeld zamierza wyjechać do Polski, uzbrojony w wiedzę, którą uzyskał podczas dwuletniej współpracy z dr. Einsteinem w Stanach Zjednoczonych i z kilkuletniej swej działalności na polu matematyki i fizyki na Uniwersytecie w Toronto.

Mimo wszystko Infeld z rodziną postanowił wyjechać do Polski. Jego czwartą żoną była wówczas amerykańska matematyczka Maria Helena Schlauch (1907–1993), z którą miał syna Eryka (1940–2019), późniejszego profesora fizyki w IBJ oraz córkę Joannę Francis (ur. 1943 r.). Joanna wyjechała z Polski w 1974 roku. Jest wydawcą i aktywną działaczką społeczną. Obecnie mieszka na Florydzie.

Infeldowie najpierw wyjechali do Londynu, potem do Kopenhagi i stamtąd wreszcie do Warszawy, gdzie

pojawił się bez wiz. Otrzymali nowe czteropokojowe, umeblowane i wyposażone, mieszkanie przy ulicy Marszałkowskiej oraz samochód z kierowcą. Dopiero wtedy Infeld poprosił o roczny urlop z Uniwersytetu w Toronto. Reakcja kanadyjska była gwałtowna. Usunięto go z uniwersytetu i pozbawiono obywatelstwa. Musiało minąć wiele lat, CIA musiała ujawnić wiele dokumentów wywiadowczych z czasów II Wojny Światowej (w których nie było śladu Infelda) i dopiero w 1995 roku Uniwersytet w Toronto naprawił swój błąd i nadał mu pośmiertnie tytuł Professor Emeritus.



Profesor Leopold Infeld

Osiemnastoletni okres działalności Infelda na Hożej to już oddzielna historia. Miał wielkie zasługi, takie jak utworzenie Instytutu Fizyki Teoretycznej i jednocześnie był zaangażowany politycznie po stronie władz, a później zmienił poglądy. Nie dożył Marca 1968 roku, zmarł w styczniu 1968 roku. Opisali to jego uczniowie: [http://pauza.krakow.pl/213\\_1&2\\_2013.pdf](http://pauza.krakow.pl/213_1&2_2013.pdf) oraz [http://pauza.krakow.pl/216\\_2013.pdf](http://pauza.krakow.pl/216_2013.pdf)

Reasumując, rząd Kanady najpierw chciał przemilczeć sowieckie szpiegostwo atomowe, a później zareagował w sposób nadgorliwy. W konsekwencji Kanadyjczycy wymusili na dwóch wybitnych fizykach reemigrację do Polski. Największą korzyść z tego przesadnego zachowania wyniósł Wydział Fizyki UW, na którym zarówno David Shugar jak i Leopold Infeld odegrali bardzo istotne role zarówno jako wybitni naukowcy, jak i wybitni organizatorzy nauki.

---

# Fritz Hasenöhrl – zapomniany prekursor Einsteina

Andrzej B. Więckowski\*

Instytut Fizyki Uniwersytetu Zielonogórskiego; Instytut Fizyki Molekularnej PAN, Poznań

---

**Abstrakt.** W roku 1904 austriacki fizyk, Fritz Hasenöhrl, zauważył, że promieniowanie we wnętrzu ciała doskonale czarnego posiada masę. Dopiero rok później Albert Einstein wykazał równoważność masy i energii. W roku 1907, po śmierci Ludwiga Boltzmanna, Fritz Hasenöhrl został mianowany jego następcą, profesorem zwyczajnym fizyki teoretycznej na Uniwersytecie Wiedeńskim. Fritz Hasenöhrl był w bliskiej, trwałej przyjaźni z polskim fizykiem, Marianem Smoluchowskim. Poległ w roku 1915 na froncie austriacko-włoskim podczas walk o Tyrol.

**Słowa kluczowe:** historia fizyki, równoważność masy i energii, Albert Einstein, Marian Smoluchowski

**Abstract.** In 1904 the Austrian physicist Fritz Hasenöhrl demonstrated that the radiation in the cavity of a blackbody has mass. It wasn't until a year later that the Swiss physicist Albert Einstein also proved the equivalence of mass and energy. In 1907, after the death of Ludwig Boltzmann, Fritz Hasenöhrl, was appointed as his successor, full professor of theoretical physics at the University of Vienna. Fritz Hasenöhrl had a close, lasting friendship with the Polish physicist Marian Smoluchowski. He died in 1915 on the Austro-Italian front during the fighting for Tyrol.

**Keywords:** history of physics, equivalence of mass and energy, Albert Einstein, Marian Smoluchowski

---

## Dane rodzinne

Fritz Hasenöhrl urodził się dnia 30 listopada 1874 w Wiedniu. Jego rodzicami byli: Viktor Hasenöhrl (historyk prawa, radca rządowy i adwokat dworski) oraz Gabriele Hasenöhrl *de domo* baronessa von Pidoll zu Quintenbach. Fritz miał jedną starszą siostrę (Gabriele).

W dniu 20 marca 1899 odbył się ślub Fritza Hasenöhrla z Ellą Brückner. Mieli dwoje dzieci (Viktor i Franziska).

## Edukacja

Fritz Hasenöhrl początkowo pobierał naukę szkolną u nauczyciela domowego. W latach 1884–1892 uczęszczał do Gimnazjum Cesarsko-Królewskiej Akademii Tereziańskiej (Theresianum) w Wiedniu. Jego nauczycielem był Alois Höfler, filozof i pedagog. Dyrektorem Theresianum był jego wujek, Michael baron von Pidoll zu Quintenbach. Maturę zdał w roku 1892 odznaczony Złotym Medalem Nagrody Cesarskiej. Jeszcze przed maturą opublikował drobne doniesienie z geometrii pod tytułem *Elementarne obliczenia współczynników kierunkowych, powierzchni i długości cykloidy zwykłej* [1].

## Działalność naukowa

W latach 1892-1897 Fritz Hasenöhrl studiował matematykę i fizykę na Wydziale Filozoficznym Uniwersytetu

Wiedeńskiego, gdzie wykładowcami byli m.in. matematyk Leopold Gegenbauer, fizycy Jožef Stefan, Ludwig Boltzmann, Franz Serafin Exner, Gustav Jäger oraz chemik Viktor von Lang. Na drugim roku studiów opublikował pracę seminaryjną z teorii liczb wykonaną pod kierunkiem Gegenbauera *O prawie wzajemności reszt kwadratowych* [2]. Poczawszy od jesieni 1895 zgłębia znajomość fizyki teoretycznej, której wykład, po śmierci Jožefa Stefana w roku 1893, prowadzi Boltzmann. W czerwcu 1896 przedkłada do publikacji swoją pracę doktorską wykonaną pod kierunkiem Exnera *O współczynniku temperaturowym stałej dielektrycznej cieczy i równaniu Mossottiego-Clausiusa* [3]. W dniu 25 maja 1897 uzyskuje promocję na doktora filozofii. Od listopada 1898 do końca roku akademickiego 1899 przebywa z rekomendacji Boltzmanna na stażu naukowym na Uniwersytecie w Lejdzie, jako asystent u Heike Kamerlingh-Onnesa i Hendrika Lorentza. Za namową Lorentza poświęca się odtąd całkowicie fizyce teoretycznej. W dniu 9 listopada 1899 Boltzmann przedstawia Cesarskiej Akademii Nauk w Wiedniu do opublikowania pracę habilitacyjną Hasenöhrla *O pewnym problemie teorii potencjału* [4]. W dniu 14 grudnia 1899 w celu uzyskania *venia legendi* Hasenöhrl wygłasza wykład próbny pod tytułem *Zastosowanie rozwinięć funkcji kołowych, kulistych i innych w problemach fizyki matematycznej*.

---

\*ORCID: 0000-0002-7161-1963





Fritz Hasenöhl (Wikimedia).

Od 13 marca 1900 Hasenöhl zostaje dopuszczony do wykładania na Wydziale Filozoficznym Uniwersytetu w Wiedniu jako wykładowca nieetatowy (*Privatdozent*). W semestrze letnim 1900 prowadzi serię dwugodzinnych wykładów zatytułowanych *Elementy teorii funkcji kulistej, ze szczególnym uwzględnieniem jej zastosowania w problemach fizyki teoretycznej*. Słuchaczami jego wykładu są m.in. Felix Ehrenhaft, Paul Ehrenfest i Gustav Herglotz. W lipcu 1904 zostaje opublikowana rozprawa *O teorii promieniowania poruszających się ciał* [5]. Za tę pracę, na wniosek Boltzmana, otrzymuje od Cesarskiej Akademii Nauk w Wiedniu Nagrodę Haitingera. Dnia 24 lutego 1906 Hasenöhl zostaje mianowany profesorem nadzwyczajnym w Wyższej Szkole Technicznej w Wiedniu.

W roku 1906, po samobójczej śmierci Ludwiga Boltzmana, kolegium profesorskie poszukiwało jego godnego następcy. Głównymi kandydatami byli Max Planck i Wilhelm Wien. Obaj uczeni stali na szczycie nowoczesnych badań w dziedzinie fizyki, lecz udzielili odpowiedzi odmownej. Na trzecim miejscu jako kandydat był rozpatrywany Fritz Hasenöhl. Był on znany z oryginalności myśli i jego młody wiek (32 lata) dawał nadzieję, że stanie się on w przyszłości wiodącym naukowcem w Wiedniu. W dniu 27 września 1907 cesarz Franciszek Józef I mianuje Fritza Hasenöhla profesorem zwyczajnym fizyki teoretycznej na Uniwersytecie Wiedeńskim. W dniu 1 października 1907 Hasenöhl rozpoczyna czteroletni cykl wykładów z fizyki teoretycznej (8 semestrów po 5 godzin tygodniowo). Dzięki dobrze przygotowanym oraz jasno i entuzjastycznie przedstawionym wykładom udaje mu się w następnych latach zgromadzić krąg uzdolnionych studentów, wśród których są m.in. Ludwig Flamm, Friedrich Kottler, Karl Wolf, Erwin Schrödinger, Anton Rella, Hans Thirring i Karl Herzfeld.

Fritz Hasenöhl był promotorem prac doktorskich wybitnych uczonych. Według *Mathematics Genealogy Project* oraz *Physics Tree* byli to (w kolejności chronologicznej):

1909 – Ludwig Flamm – zajmował się mechaniką kwantową i ogólną teorią względności, był profesorem, dziekanem i rektorem na Uniwersytecie Technicznym w Wiedniu, członek rzeczywisty Austriackiej Akademii Nauk.

1910 – Erwin Schrödinger – twórca słynnego równania Schrödingera, współtwórca mechaniki kwantowej, Erwin Schrödinger wraz z Paulem Dirakiem otrzymali Nagrodę Nobla z fizyki w roku 1933, był profesorem w Jenie, Stuttgartu, Wrocławiu, Zurychu, Berlinie, Oksfordzie, Dublinie i Wiedniu, członek Bawarskiej Akademii Nauk, Royal Society, American Academy of Arts and Sciences.

1911 – Hans Thirring – interesował się ogólną teorią względności, wynalazł fotokomórkę selenową, był profesorem w Wiedniu, w czasie II wojny światowej przymusowo urlopowany pracował w przemyśle.

1914 – Karl Herzfeld – zajmował się fizyką kwantową i statystyczną oraz chemią fizyczną, był profesorem w Monachium, na Johns Hopkins University w Baltimore i Catholic University of America w Waszyngtonie, członek American Academy of Arts and Sciences, otrzymał liczne doktoraty honorowe.

W roku 1910 Hasenöhl zostaje mianowany członkiem-korespondentem Cesarskiej Akademii Nauk w Wiedniu. W latach 1911 i 1913 jest uczestnikiem pierwszego i drugiego Kongresu Solvaya w Brukseli. Kongresy Solvaya gromadziły wówczas tylko zaproszonych najwybitniejszych tytanów fizyki i chemii przełomu XIX i XX wieku.

Spis najważniejszych prac Fritza Hasenöhrla można znaleźć pod adresem: [https://de.wikisource.org/wiki/Friedrich\\_Hasen%C3%B6hl](https://de.wikisource.org/wiki/Friedrich_Hasen%C3%B6hl).

### Równoważność masy i energii

Począwszy od roku 1880 wielu fizyków, jak Joseph John Thomson, Oliver Heaviside, George Frederick Charles Searle, Wilhelm Wien, Henri Poincaré, Max Abraham i Hendrik Lorentz używało pojęcia *masy elektromagnetycznej*. Oznaczało ono, że pole elektromagnetyczne wnosi pewien udział do masy naładowanej cząstki. Związek ten dany był wzorem  $m = (4/3)E/c^2$  (w dzisiejszej notacji), gdzie  $m$  jest masą,  $E$  energią promieniowania, a  $c$  prędkością światła w próżni.

W roku 1904 Fritz Hasenöhl, poza wspomnianą wyżej rozprawą [5], opublikował w czasopiśmie *Annalen der Physik* pracę *O teorii promieniowania w poruszających się ciałach* [6].

Hasenöhl tworząc swoją teorię przeprowadził następujące rozumowanie. Gdy powierzchnia wysyłająca promieniowanie porusza się ze stałą prędkością w tym samym kierunku co promieniowanie, to w celu przewyciężenia ciśnienia wywieranego przez to promienio-

wanie przez nią wysyłane, powierzchnia ta musi ciągle wykonywać pracę, która zamienia się również w energię promieniowania. Tak więc z poruszającej się w tym sensie powierzchni wychodzi o tę ilość energii więcej niż z powierzchni spoczywającej. Natomiast gdy powierzchnia porusza się w kierunku przeciwnym do kierunku wysyłanego promieniowania, to promieniowanie to wykonuje stale pracę i wtedy z poruszającej się powierzchni wychodzi o tę ilość energii mniej niż z powierzchni spoczywającej. Z drugiej strony, gdy absorbująca powierzchnia porusza się w taki sposób, że umyka przed padającym na nią promieniowaniem, to promieniowanie to wykonuje ciągle pracę, stąd powierzchnia ta może zaabsorbować mniej promieniowania o ekwiwalent tej pracy, to znaczy zamienić na wewnętrzną zawartość ciepła. Gdy natomiast absorbująca powierzchnia porusza się przeciw padającemu promieniowaniu, to musi być wykonywana z zewnątrz praca przeciwko ciśnieniu promieniowania. Praca ta może pojawić się w absorbującej powierzchni tylko jako ciepło. W tym wypadku powierzchnia absorbuje więcej ciepła o ilość wykonanej pracy.

Hasenöhl zastosował powyższe rozumowanie do opisu zachowania się promieniowania w poruszającej się wnęce. Oprócz promieniowania dostarczonego przez ścianki wnęki, musi w tej wnęce znajdować się również energia promieniowania, która jest uzyskana z pracy mechanicznej i zostanie znowu w pracę mechaniczną zamieniona. Ta energia promieniowania jest uzależniona od ruchu wnęki. Jej ilość, jak wykazał Hasenöhl, jest proporcjonalna do kwadratu prędkości układu (w pierwszym przybliżeniu), zwiększa więc pozornie energię kinetyczną układu. Zachodzą więc warunki, które są analogiczne do ruchu elektronu. Podobnie jak tam zostało wprowadzone pojęcie *masy elektromagnetycznej*, można też tutaj mówić o *masie pozornej*, która jest uzależniona od promieniowania; *masa elektromagnetyczna* proporcjonalna jest do energii potencjalnej (statycznej) nieruchomego elektronu, analogicznie *masa pozorna* uzależniona od promieniowania jest proporcjonalna do zawartości energii w nieruchomej wnęce. Współczynnik proporcjonalności jest w obydwu wypadkach tego samego rzędu wielkości. Skoro zawartość ciepła każdego ciała składa się częściowo z energii promieniowania, także każde ciało musi posiadać taką pozorną, zależną od temperatury masę, która dodaje się do masy w sensie zwyczajnym.

Rozważając ciśnienie promieniowania fali elektromagnetycznej we wnęce ciała doskonale czarnego, Hasenöhl wyprowadza wzór na *masę pozorną* w postaci  $m = (8/3)E/c^2$ , gdzie  $E$  jest energią promieniowania zawartą w spoczywającej wnęce, a  $c$  jest prędkością światła w próżni. Max Abraham zwrócił jednakże uwagę na błąd rachunkowy popełniony w tych pracach i w roku

1905 Hasenöhl opublikował w *Annalen der Physik* sprostowanie [7] podając poprawiony wzór na *masę pozorną* w postaci  $m = (4/3)E/c^2$ . Wzór ten jest identyczny ze wzorem na poprzednio podaną *masę elektromagnetyczną*. Ponadto Hasenöhl wywnioskował, że związek ten zachodzi dla każdej formy promieniowania cieplnego, a więc dla każdego ciała w temperaturze większej od 0 K, a masa wzrasta wraz z temperaturą.

Dopiero w roku 1905 Albert Einstein w dwóch fundamentalnych pracach *O elektrodynamice poruszających się ciał* [8] i *Czy bezwładność ciała zależy od zawartej w nim energii?* [9] sformułował zasady teorii względności oraz równoważności masy i energii. Symbolem tych zasad stał się w latach późniejszych słynny wzór  $E = mc^2$ , który napisany w postaci  $m = E/c^2$  jest podobny do wzoru Hasenöhrla.

W dniach 19-25 września 1909 odbył się w Salzburgu 81 Kongres Towarzystwa Niemieckich Przyrodników i Lekarzy (*Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte*). W sekcji fizyki (i matematyki) tego Kongresu Fritz Hasenöhl wygłosił referat pod tytułem *O przekształceniu energii kinetycznej w promieniowanie* [10]. W dyskusji nad tym referatem głos zabrali Albert Einstein i Max Planck. W dniu 21 września 1909 Albert Einstein wygłosił na tym Kongresie historyczny przełomowy dla fizyki wykład pod tytułem *O rozwoju naszych poglądów na istotę i budowę promieniowania* [11]. Podczas burzliwej dyskusji obszerny komentarz wygłosił Max Planck. Wykład Einsteina w Salzburgu był w ogóle jego pierwszym wystąpieniem publicznym na kongresie.

O znaczeniu odkrycia Hasenöhrla mogą świadczyć wypowiedzi ówczesnych fizyków. W roku 1910 Max Planck powiedział: *Na to, że promieniowanie wnęki posiada bezwładność, jako pierwszy zwrócił uwagę F. Hasenöhl* [12]. Natomiast Wolfgang Pauli napisał w roku 1935: *Promieniowanie w poruszającej się wnęce. Ten przypadek ma znaczenie historyczne, ponieważ wystarczy go rozpatrywać tylko na gruncie elektrodynamiki, nawet bez teorii względności. Wówczas dochodzi się nieodzownie do tego, żeby poruszającej się energii promieniowania przypisać pęd, a więc również masę bezwładną. Jest rzeczą ciekawą, że ten rezultat został znaleziony przez Hasenöhrla jeszcze przed powstaniem teorii względności* ([13]; s. 697).

Stephen Boughn i Tony Rothman [14] w celu zrozumienia błędów popełnionych przez Hasenöhrla, dokonali ich nowoczesnej, relatywistycznej analizy. Według autorów zagadnienie to zawiera wiele kontrowersji, a wcześniejsze prace innych autorów na temat eksperymentu myślowego (*Gedankenexperiment*) Hasenöhrla są niepoprawne i zwodnicze. Komentarz do pracy autorów [14] opublikował Philip Ball [15]. Boughn [16] dokonał wnikliwej współczesnej analizy wyniku Hasenöhrla na tle ówczesnego stanu fizyki. Konkluzja

Hasenöhrle, że przyspieszenie promieniowania ciała doskonale czarnego przez siły zewnętrzne spełnia wzór  $F = (4/3)(E/c^2)a$ , jest poprawna [16]. Wyniki Hasenöhrle i Einsteina porównał także Randy Wayne [17].

### Służba wojskowa

W roku 1894 Hasenöhrle przerwał na jeden rok tok studiów i służył w Pułku Dragonów nr 4 w Wiener Neustadt. Tam mieszkał u swojego kolegi, Hugo von Hofmannsthal, pisarza i poety. Na Boże Narodzenie 1896 otrzymał nominację na stopień podporucznika Pułku Dragonów nr 4.

W roku 1914 melduje się dobrowolnie do służby wojskowej. W roku 1915 zostaje przydzielony do Twierdzy Kraków jako referent fizyko-techniczny. Otrzymuje Medal Zasługi Wojskowej *Signum Laudis* (Znak Zasługi).

Oburzony wypowiedzeniem wojny Austro-Węgrom przez Włochy (23 maja 1915), które zgłosiły roszczenia terytorialne, poprosił o przeniesienie do Tyrolu. Otrzymuje przydział do Górnoaustriackiego Pułku Piechoty nr 14. W dniu 19 lipca 1915 jako dowódca kompanii odpiera atak wojsk włoskich na szczyt Monte Piano. Zostaje ciężko ranny w prawe ramię, ale mimo to kieruje dalej skuteczną obroną szczytu przeciwko przeważającym siłom włoskim [18]. Przez ponad 2 miesiące przebywa w Szpitalu Rezerwy w Salzburgu. Zostaje odznaczony Wojskowym Krzyżem Zasługi III klasy i awansowany na stopień porucznika.

Ponownie zostaje skierowany na front austriacko-włoski. W dniu 7 października 1915 podczas walk w rejonie Vielgereuth (Folgaria) koło Trydentu zostaje odłamkiem granatu śmiertelnie ranny w głowę. Cesarz Franciszek Józef I przesłał wdowie telegram kondolencyjny (który doszedł wcześniej niż wiadomość z frontu). Pogrzeb odbył się 10 października 1915 na cmentarzu miejscowym w Vielgereuth. Zmarły został pośmiertnie odznaczony Orderem Korony Żelaznej z Dekoracją Wojenną. W listopadzie 1915 ciało zostało przeniesione na cmentarz Altmünster w Gmunden.

Stefan Meyer opublikował wspomnienie pośmiertne o Fritzu Hasenöhrle [19].

W dniu 26 lutego 1916 na Uniwersytecie Wiedeńskim odbyła się uroczystość wspomnieniowa ku czci Fritza Hasenöhrle zorganizowana przez Akademickie Stowarzyszenie Niemieckich Matematyków i Fizyków (Akademischer Verein deutscher Mathematiker und Physiker). Przemówienia okolicznościowe wygłosili Hans Thirring oraz Alois Höfler.

W roku 1933 Erwin Schrödinger podczas ceremonii wręczenia mu Nagrody Nobla z fizyki oddał hołd pamięci Fritza Hasenöhrle oświadczając: *Damals fiel Hasenöhrle, und ein Gefühl sagt mir, daß sonst sein Name heute an*

*der Stelle des meinen stünde.* (Wtedy Hasenöhrle poległ i jakieś uczucie mówi mi, że to jego nazwisko stałoby dzisiaj na miejscu mojego.) ([20] s. 87).

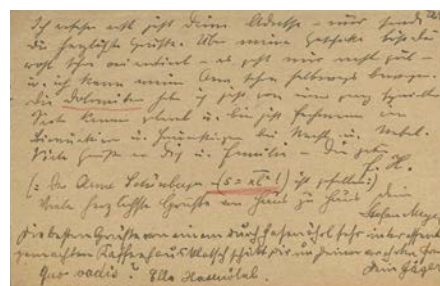
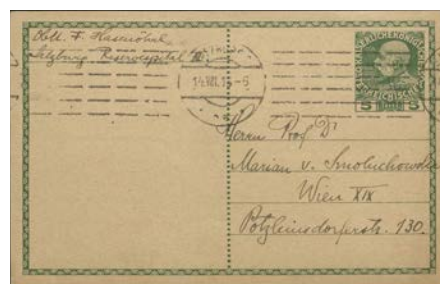
Od września 2015 w Austriackiej Centralnej Bibliotece Fizyki (Österreichische Zentralbibliothek für Physik) w związku ze stuleciem śmierci Fritza Hasenöhrle można było zwiedzić okolicznościową wystawę.

Z inicjatywy wnuczki Moniki Elbel w dniu 7 października 2015 w setną rocznicę śmierci Fritza Hasenöhrle zostało odprawione w kościele przy cmentarzu Altmünster w Gmunden nabożeństwo w jego intencji.

### Hasenöhrle i Smoluchowski

Podczas studiów na Uniwersytecie Wiedeńskim, a być może już podczas nauki szkolnej w Theresianum, Fritz Hasenöhrle i Marian Smoluchowski nawiązali bliskie więzi przyjaźni, które przetrwały do końca ich życia. Wspomniany już wyżej nauczyciel obydwu uczniów w Theresianum, Alois Höfler, powiedział: *Hasenöhrle był moim najlepszym uczniem, Smoluchowski zaś, najnajlepszym* [21]. Autor teź biografii na s. 265 wspomina, że drogi obu fizyków rozeszły się w 1915 roku w związku z różnicą zdań na tle narodowościowym. Miało to ponoć duży wpływ na odrzucenie kandydatury Mariana Smoluchowskiego na objęcie katedry w Wiedniu.<sup>1</sup>

Zachowały się 182 strony listów i kopert napisanych przez Hasenöhrle do Smoluchowskiego z lat 1893-1915 [22]. Dowiadujemy się z nich na przykład o ich wspólnych wspinaczkach wysokogórskich. Dodatkowo można



Kartka pocztowa wysłana przez Fritza Hasenöhrle do Mariana Smoluchowskiego dnia 14 sierpnia 1915 ([22]; s. 587)

1. Autor niniejszego artykułu nie zgadza się z tą opinią, ponieważ nie znalazł żadnej wypowiedzi Hasenöhrle lub Smoluchowskiego, która by istnienie takiego konfliktu potwierdzała (przyp. red.).

na podstawie korespondencji prześledzić kolejne adresy zamieszkania oraz podróże Smoluchowskiego i Hasenöhrla.

14 sierpnia 1915 Fritz Hasenöhrl (na 54 dni przed śmiercią) napisał ze Szpitala Rezerwy w Salzburgu kartkę pocztową z pozdrowieniami dla Mariana Smoluchowskiego i jego rodziny. Smoluchowski znajdował się w tym czasie w Wiedniu. Hasenöhrl w pogodnym nastroju pisał, że już może poruszać zranionym ramieniem i wspomina Dolomity. Na kartce pocztowej dołączyły się z serdecznymi pozdrowieniami trzy osoby. Stefan Meyer zawiadał, że Schönberger poległ. Gustav Jäger pisał, że to Hasenöhrl urządził to spotkanie przy kawie (*Kaffeehausklatsch*), Ella Hasenöhrl dopisała zaś: *Quo vadis?* ([22]; s. 587).

Arnold Sommerfeld we wspomnieniu pośmiertnym o Marianie Smoluchowskim pisze: *Bliska przyjaźń łączyła go z Hasenöhrl'em, który poległ w roku 1915 na wyżynie Lafraun jako bezpośrednia ofiara wojny; obydwu połączyły nie tylko zainteresowania naukowe, ale jednakowe umiłowanie i odczucie muzyki oraz wierne koleżeństwo podczas wypraw górskich i uprawiania sportu narciarskiego* [23].

#### Literatura

- [1] F. Hasenöhrl, Elementare Berechnungen des Richtungskoeffizienten, der Fläche und der Länge der gemeinen Zykloide. *Österr. Mittelschule* 6 (II), (1892).
- [2] F. Hasenöhrl, Über das quadratische Reciprocitätsgesetz, *Anz. Koenigl. Akad.* 31 (IX), 74–76 (1894).
- [3] F. Hasenöhrl, Über den Temperaturcoefficienten der Dielektricitätsconstante in Flüssigkeiten und die Mosotti–Clausius'sche Formel. *Sitzber. Kaiserl. Akad. Ila* 105, 470–475 (1896).
- [4] F. Hasenöhrl, Über ein Problem der Potentialtheorie. *Sitzber. Kaiserl. Akad. Ila* 108, 1667–1693 (1899).
- [5] F. Hasenöhrl, Zur Theorie der Strahlung bewegter Körper. *Sitzber. Kaiserl. Akad. Ila* 113, 1039–1055 (1904).
- [6] F. Hasenöhrl, Zur Theorie der Strahlung in bewegten Körpern. *Ann. Phys.–Leipzig* 320 (12), 344–370 (1904).
- [7] F. Hasenöhrl, Zur Theorie der Strahlung in bewegten Körpern. *Berichtigung. Ann. Phys.–Leipzig* 321 (3), 589–592 (1905).
- [8] A. Einstein, Zur Elektrodynamik bewegter Körper. *Ann. Phys.–Leipzig* 322 (10), 891–921 (1905).
- [9] A. Einstein, Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig? *Ann. Phys.–Leipzig* 323 (13), 639–641 (1905).
- [10] F. Hasenöhrl, Über die Umwandlung kinetischer Energie in Strahlung. *Phys. Z.* 10 (22), 829–830 (1909).
- [11] A. Einstein, Über die Entwicklung unserer Anschauungen über das Wesen und die Konstitution der Strahlung. *Phys. Z.* 10 (22), 817–825 (1909); *Phys. Bl.* 25 (9), 386–391 (1909).
- [12] M. Planck, *Acht Vorlesungen über theoretische Physik, gehalten an der Columbia University in the City of New York im Frühjahr 1909*, S. Hirzel, Leipzig 1910.
- [13] W. Pauli jr, Relativitätstheorie. w: *Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften mit Einschluss ihrer Anwendungen*, 5. Bd., Physik, red. V. A. Sommerfeld, 2. T., B. G. Teubner, Leipzig 1904–1922, (4), 539–776.
- [14] S. Boughn, T. Rothman, Hasenöhrl and the Equivalence of Mass and Energy. (2011). arXiv:1108.2250.
- [15] Ph. Ball, Did Fritz Hasenöhrl derive  $E = mc^2$  before Einstein? *Phys. World* 24 (10), 13 (2011).
- [16] S. Boughn, Fritz Hasenöhrl and  $E = mc^2$ . *Eur. Phys. J. H* 38 (2), 261–278 (2013).
- [17] R. Wayne, The Equivalence of Mass and Energy: Blackbody Radiation in Uniform Translational Motion. *Afr. Rev. Phys.* 10, 0001 (2015).
- [18] H. Kirchner, X./14 – The 10th March Battalion of Infantry Regiment 14 in the Dolomites in the summer of 1915. w: *Austro–Hungarian Army*. [http://www.austro-hungarian-army.co.uk/10\\_14.html#\\_edn4](http://www.austro-hungarian-army.co.uk/10_14.html#_edn4)
- [19] S. Meyer, Fritz Hasenöhrl †. *Phys. Z.* 16, 429–433 (1915).
- [20] E. Schrödinger, [Autobiographical sketch], w: *Les Prix Nobel en 1933*. Nostedt & Söner, Stockholm 1935, 86–88.
- [21] A. Teske, *Marian Smoluchowski, życie i twórczość*, PWN, Warszawa 1955.
- [22] Fritz Hasenöhrl. w: *Korespondencja Mariana Smoluchowskiego z lat 1893–1917*. Tom 3, Ferguson–Hasenöhrl, Jagiellońska Biblioteka Cyfrowa, Kraków, 411–592. <https://jbc.bj.uj.edu.pl/dlibra/publication/555263/edition/548263/content>.
- [23] A. Sommerfeld, Zum Andenken an Marian von Smoluchowski. *Phys. Z.* 18 (22), 533–539 (1917).

## Przewodnik po wieloświecie

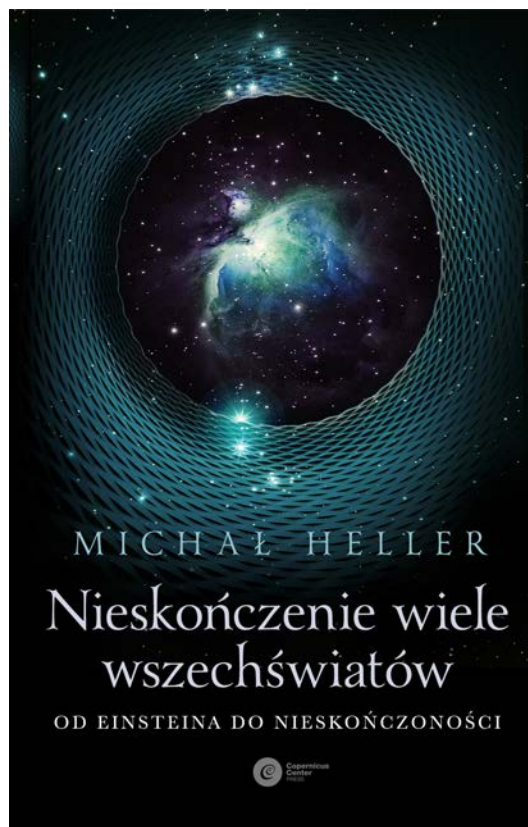
Michał Eckstein

Instytut Fizyki Teoretycznej UJ

Wszechświat, jak sama nazwa wskazuje, winien obejmować cały świat fizyczny. Rzeczywiście, we współczesnej kosmologii opartej na ogólnej teorii względności wszechświat jest utożsamiany z czasoprzestrzenią – globalnym bytem obejmującym wszystkie zdarzenia. Z tej perspektywy pytania o to co jest poza wszechświatem, co było przed Wielkim Wybuchem albo czy istnieją „inne wszechświaty” są pozbawione sensu.

Ścisłe reguły naukowe nie stanowią wszakże żadnej przeszkody dla ludzkiej wyobraźni. Różne wizje innych światów od dawna królują w literaturze fantastycznej i kinematografii. Jednak od pewnego czasu idea wielu wszechświatów zaczęła przenikać ze sfery literackiej fikcji do naukowego dyskursu na gruncie fizyki teoretycznej. Być może najbardziej rozpoznawalnym (i jednym z najbardziej radykalnych) jej orędownikiem jest Max Tegmark. Jego publikacje (np. *Nasz matematyczny Wszechświat*, tłum. E.L. Łokas i B. Bieniok, Prószyński i S-ka, Warszawa 2015) prezentują szeroką panoramę wieloświata (ang. *multiverse*), w którym wszystkie struktury matematyczne istnieją jako rzeczywiste fizyczne byty. Trudno oprzeć się wrażeniu, że tego typu teksty – choć niewątpliwie mogą być bardzo inspirujące – zacierają granicę pomiędzy dobrze ugruntowaną wiedzą naukową a subiektywną wizją świata danego autora. Czytelnik poszukujący popularnonaukowych książek o tematyce kosmologicznej ma zatem pełne prawo czuć się *zagubionym w wieloświecie*<sup>1</sup>.

Najnowsza książka Michała Hellera *Nieskończenie wiele wszechświatów* (CCPress, Kraków 2021) jest próbą przynajmniej częściowego usystematyzowania różnych koncepcji wieloświata i poddania ich krytycznej analizie z punktu widzenia metodologii i filozofii nauki. Sądzę, że sylwetki autora nie trzeba czytelnikom *Postępów Fizyki* przybliżać. Dość powiedzieć, że książkę prof. Michał Heller potrafi wniknąć głęboko w techniczne szczegóły zaawansowanych teorii fizycznych i matematycznych, a następnie skonfrontować ich metodologię oraz implikacje z ugruntowanymi ustaleniami filozofów nauki. Dla



tego też nie powinno dziwić, że książka *Nieskończenie wiele wszechświatów* (podobnie zresztą jak inne pozycje autora) ma charakter wysoce syntetyczny i interdyscyplinarny.

Pierwsza część książki – *Filozoficzne preludium* – wprowadza czytelnika w filozoficzne źródła koncepcji wielu światów. Jej prekursorem był Gottfried Wilhelm Leibniz, który potrzebował pojęcia innych możliwych światów, by uzasadnić swoją słynną ideę „świata najlepszego z możliwych”. Okazuje się, że wizja Leibniza zainspirowała całkiem ściśle rozważania na gruncie logiki formalnej. Koncepcja nieskończenia wielu światów nadaje bowiem precyzyjny sens zdaniom modalnym. Na przykład: zdanie jest *możliwe* wtedy i tylko wtedy, gdy jest ono prawdziwe przynajmniej w jednym ze światów. Tak rozumiany wieloświat jest tworem czysto formalnym, użyteczną konstrukcją myślową, której nie odnosimy w żaden sposób do „prawdziwego” fizycznego świata.

W takim też, czysto formalnym, duchu inne wszechświaty są przedstawione w drugiej części książki. Jednak

1. To sformułowanie, będące podtytułem części III najnowszej książki Hellera, nawiązuje do głośnej publikacji Sabine Hossenfelder *Zagubione w matematyce. Fizyka w pułapce piękna* (tłum. T. Miller, CCPress, Kraków 2019)

kontekst tych rozważań jest zdecydowanie bliższy fizyce, mowa bowiem o *wieloświecie Einsteina*. Rzeczywiście, jeśli utożsamimy wszechświat z czasoprzestrzenią, to przestrzeń rozwiązań równań ogólnej teorii względności stanie się swoistym wieloświatem. W ten sposób *Einstein, zupełnie tego nie chcąc, odkrył wiele wszechświatów*. Oczywiście nie każdemu rozwiązaniu równań Einsteina można przypisać rozsądną interpretację kosmologiczną, ale takich kosmologicznych rozwiązań wciąż jest nieskończenie wiele. Michał Heller oprowadza czytelnika po wieloświecie Einsteina ukazując zarówno jego punkty szczególne, w tym znane i lubiane modele Friedmana–Lemaître’a–Robertsona–Walkera, jak i pewne globalne własności. Dowiadujemy się np., że przestrzeń rozwiązań równań Einsteina w otoczeniu metryki nieposiadającej żadnych symetrii ma strukturę nieskończenie wymiarowej różniczkowej.

Te rozważania, choć czysto formalne, niosą ze sobą ważny przekaz metodologiczny: badając jakiegokolwiek zjawisko fizyczne zawsze musimy rozważać pewien (nieskończony!) zbiór wszechświatów odpowiadających rozważanym modelom. W tym sensie [...] *kosmologia nie różni się od innych działów fizyki. Obiektem jej badania nie jest świat postrzegany zmysłami, lecz pewien obiekt teoretyczny, zakładany (konstruowany) w samej metodzie, przy pomocy którego go badamy. Kontakt ze światem naszego zmysłowego doświadczenia zapewnia kosmologii obserwacyjne testowanie jej teoretycznych modeli*.

Czy jednak powinniśmy utożsamiać wszechświat z czasoprzestrzenią? Z punktu widzenia teorii kwantowej z pewnością nie! Kosmologia kwantowa otwiera zatem całkiem nowe horyzonty w kwestii mnogości wszechświatów. Ta obserwacja jest punktem startowym do rozważań zawartych w trzeciej części książki. Zawiera ona zwięzły przegląd rozmaitych koncepcji wieloświata, mniej lub bardziej inspirowanych teorią kwantową, począwszy od paradygmatu inflacyjnego, poprzez struny i brany, aż do radykalnych koncepcji Everetta i Tegmarka. Nie mogło też zabraknąć dyskusji wokół (silnej i słabej) zasady antropicznej, która z grubsza głosi, że wszechświat w którym żyjemy jest taki jaki jest, ponieważ gdyby był inny, to nie mogłoby powstać w nim życie.

Wreszcie w ostatniej części książki przychodzi czas na krytyczną analizę filozoficzną. Dopóki wieloświat traktujemy jako pewne wygodne narzędzie teoretyczne służące np. do badania logiki modalnej albo struktury przestrzeni rozwiązań równań Einsteina, to sprawa nie budzi kontrowersji. Pojawiają się jednak problemy, kiedy zaczynamy traktować je jak obiekty fizyczne istniejące „naprawdę”. Okazuje się, że taka interpretacja nie jest wyłącznie udziałem co odważniejszych fizyków teoretycznych. Filozof David Lewis, rozważający w swojej książce *On the Plurality of Worlds* (Blackwell, Oxford 1986) logiki

modalne, pisał: [...] *najbardziej bezpośrednim sposobem uzyskania uczciwego prawa do tej idei [wszystkich możliwych światów], to przyjąć, że jest ona literalnie prawdziwa*. Taki punkt widzenia nazwano modalnym realizmem i dość powiedzieć, że jest to tylko jedno z wielu stanowisk w kwestii wielu światów, które rozważa się na gruncie filozofii nauki.

Orędownicy koncepcji wieloświata zwykle przywołują Karla Poppera w poszukiwaniu legitymizacji swoich wizji. Jednak jak zauważa Heller: *Żadne zdania typu: «z tej koncepcji wieloświata wynika, że typowy wszechświat należący do niego, ma (lub nie ma) własności, jaką obserwujemy w naszym wszechświecie», Popper nie uznałby za potencjalny falsyfikator[...] Według autora, takim argumentom bliżej jest do filozoficznej koncepcji Thomasa Kuhna, który podkreśla socjologiczne i psychologiczne aspekty uprawiania nauki, raczej niż zgodność z doświadczeniem*. Krytyka zawarta w tym rozdziale nie bazuje na jakiejś ustalonej z góry pozycji filozoficznej autora. *Kryteria naukowości – co jest nauką, a co nią nie jest – nie są ustalone przez filozofów nauki, lecz przez historyczny proces zwany uprawianiem nauki*. Myślą przewodnią, często podnoszoną też przez innych uznanych naukowców (por. np. G.F.R. Ellis, J. Silk „Scientific method: Defend the integrity of physics” *Nature* 516, 321–323 (2014)), jest stwierdzenie: *W fizyce wykazanie zgodności teorii z pomiarem na dziewiątym miejscu po przecinku znaczy więcej niż wszystkie metanaukowe i metametanaukowe rozróżnienia*.

W rozdziale 12 następuje zwrot akcji: *A jeżeli wszystko, co dotychczas wymyślono w dziedzinie wieloświatów, to grubo za mało?* Po tym pytaniu Heller zabiera czytelnika w fascynującą podróż po teorii kategorii, w ramach której tak – wydawałoby się oczywiste – pojęcia jak liczby naturalne czy prawda/fałsz mogą ulegać radykalnym zmianom. Jest to swoiste „wyjście poza Tegmarka” do wieloświata, w którym nawet logika nie jest ustalona. Zarazem jednak teoria kategorii dostarcza ścisłych narzędzi do badania tego monstrualnego *multiversum*. Tytułowe pytanie tego rozdziału *Czy jednak nie za mało?* nie tyle prowokuje zwolenników Tegmarka, ile jest pretekstem do pytania o same podstawy matematyki.

Całość tego osobliwego przewodnika po wieloświecie domyka krótka refleksja teologiczna w duchu apofatycznym, czyli z dopiskiem *na pewno jest jednak inaczej*.

Książka *Nieskończenie wiele wszechświatów* jest przedstawiona przez samego autora jako ostatnia część trylogii poświęconej historii kosmologii i jej relacjom z filozofią i teologią. Dwa pierwsze tomy: *Bóg i geometria* (CCPress, Kraków 2015) oraz *Przestrzeń Wszechświata* (CCPress, Kraków 2017) istotnie przedstawiają dzieje geometrii i kosmologii od starożytności do Einsteina. Trzecia część ma jednak inny charakter. Nowe, spekulacyjne teorie kosmo-

logiczne postulujące różnej maści wieloświaty są raczej pretekstem do szerszej refleksji nad metodologią i filozofią nauki. Heller przyznaje bowiem we wprowadzeniu że: *Nie tyle chodziło o problem kosmologiczny, ile raczej o problem nauki jako takiej: gdzie kończy się obszar naukowości, a zaczyna region twórczej fantazji.*

Choć tytuł zawiera w sobie „nieskończenie, to liczba stron jest ograniczona, toteż autor siłą rzeczy musiał zawęzić swoje rozważania do specyficznych zagadnień najnowszej kosmologii i wybranych modeli wieloświata. W książce trochę zabrakło mi jednak choćby pobieżnego nakreślenia problemów i perspektyw dzisiejszej kosmologii obserwacyjnej. Warto bowiem wspomnieć, że powstanie detektorów fal grawitacyjnych, a także postępy w rejestracji neutrin kosmicznych sugerują, iż może nas czekać złota era odkryć kosmologicznych. Nie doprowadzi to oczywiście do falsyfikacji wieloświata Tegmarka, ale pomoże zweryfikować przewidywania np. pętlowej kosmologii kwantowej czy konforemnej kosmologii cyklicznej Sir Rogera Penrose'a. Te ostatnie nie mówią o wszechświatach równoległych, ale raczej o „ciągu wszechświatów” (Penrose używa pojęcia ciągu „eonów” tworzących

wszechświat). Niemniej jednak wychodzą one dość radykalnie poza paradygmat Wielkiego Wybuchu i ciekawie byłoby przyjrzeć im się z ogólnofilozoficznej perspektywy.

Reasumując, publikacja *Nieskończenie wiele wszechświatów* powinna być obowiązkową pozycją dla każdego, kto interesuje się problematyką innych światów w kontekście naukowym. Jest także świetnym zaproszeniem do refleksji nad metodologią naukową, naturą matematyki oraz jej tajemniczą relacją ze światem fizycznym. Należy jednak ostrzec potencjalnych czytelników, że nie jest to książka prosta. Rozdziały dotyczące równań Einsteina i przestrzeni ich rozwiązań używają dość technicznych pojęć, choć autor dokłada starań, aby przekazać główną ideę bez twardej matematyki. Z kolei nagromadzenie abstrakcyjnych pojęć z teorii kategorii w rozdziale 12 może przyprawić o ból głowy nawet profesjonalnych „ścisłowców”. Mimochodem ukazuje to jeszcze jedną kluczową cechę metodologii fizyki: można proponować dowolnie zwariowane modele kosmologiczne, ale – chcąc pozostać na łonie nauki – trzeba to czynić używając matematyki.

## Włodzimierz Zawadzki (1939–2021)

Jerzy Kołodziejczak

Polska Akademia Nauk\*, Instytut Fizyki PAN\*\*

Z niedowierzaniem oraz wielkim żalem wysłuchałem w dniu 7 sierpnia 2021 roku przekazanej mi przez Jerzego Langerę telefonicznej wiadomości o odejściu Włodka Zawadzkiego. Z niedowierzaniem, ponieważ miałem z Włodkiem i jego żoną Anią częste kontakty telefoniczne pozwalające mi śledzić stan jego rekonwalescencji. Wszystko wskazywało, że medycyna oraz organizm Włodka powstrzymały rozwój choroby i stan Jego zdrowia się stabilizuje. Tydzień przed śmiercią wystąpił niespodziewany i nadzwyczaj gwałtowny atak choroby, którego osłabiony organizm Włodka nie wytrzymał. Odszedł szlachetny i uczciwy człowiek, wybitny naukowiec, lojalny przyjaciel. Moja znajomość z Włodkiem sięga początku lat 60. XX wieku, kiedy to, po ukończeniu studiów na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, rozpoczął pracę w Zakładzie Technologii Półprzewodników Instytutu Fizyki PAN.

Wspominając Włodka nie chcę cytować jego formalnych danych biograficznych i bibliograficznych. To wszystko można znaleźć w wielu publikowanych dokumentach. Skoncentruję się na mniej znanym początkowym okresie Jego kariery naukowej. W mojej pamięci widzę Go jako aktywnego i twórczego fizyka, który rozpoczął swoją przygodę z nauką nie na jakiejś pustyni naukowej, lecz w konkretnym środowisku naukowym i w konkretnej epoce historycznej. Wniósł wielki wkład do fizyki półprzewodników chociaż tuż po ukończeniu studiów zajmował się technologią boru w Zakładzie Technologii mieszczącym się w budynku przy ul. Zielnej 37. Budynek ten stykał się z budynkiem PASTy (Zielna 39), w którym wówczas znajdowała się siedziba dyrekcji i administracji Instytutu Fizyki PAN. Oba te budynki były całkowicie zniszczone podczas Powstania Warszawskiego i zostały prymitywnymi metodami dostosowane dla potrzeb rozwijającego się Instytutu Fizyki, którego główne pracownie fizyczne zlokalizowane były w pomieszczeniach uniwersyteckich przy Hożej 69. W takich warunkach rozpoczynała się kariera naukowa Włodka Zawadzkiego. Trzeba powiedzieć, że był to okres, w którym fizyka półprzewodników na świecie dopiero zaczynała się intensywnie rozwijać. Przez kilka lat od za-

kończenia II Wojny Światowej zainteresowania fizyków, z wiadomych względów skoncentrowane były głównie na fizyce jądrowej. Dopiero skonstruowanie w 1948 roku przez amerykańskich uczonych pierwszego tranzystora i następnie wykorzystanie go w latach 60., głównie przez Japończyków, do masowej produkcji miniaturowych, przenośnych odbiorników radiowych oraz odtwarzaczy muzyki z kaset magnetofonowych (tzw. walkmanów), spowodowało gwałtowny wzrost zainteresowania fizyką półprzewodników. Przedmiotem tych zainteresowań nie był jednak german ani krzem, dobrze już rozpoznane naukowo i wykorzystywane głównie dla potrzeb rozwijającej się dynamicznie mikroelektroniki. Obiektem badań stały się całkowicie nowe materiały o właściwościach półprzewodnikowych. Były to intermetaliczne związki pomiędzy pierwiastkami III i V grupy układu okresowego, których typowym przedstawicielem był antymonek indu (InSb) oraz związki pomiędzy pierwiastkami II i VI grupy układu okresowego, szczególnie tellurek rtęci (HgTe).

Związki te, dzięki bardzo małej przerwie energetycznej świetnie nadawały się do detekcji promieniowania podczerwonego i tym samym zastosowań militarnych. Jednakże dla fizyków pojawiło się ogromne, całkowicie nowe i niewyeksplorowane pole badań. Obserwowane w tych materiałach zjawiska były zaskakujące i niezrozumiałe na gruncie obowiązującej wówczas teorii półprzewodników. Wszystko było nowe, a każde badanie odkrywcze.

Dynamiczny rozwój tej nowej tematyki stał się możliwy dzięki ogłoszonej w 1957 roku przez amerykańskiego fizyka E. O. Kane'a pracy, w której pokazał, że zależność pomiędzy energią a pędem elektronu w półprzewodnikach odbiegała od uproszczonego, ale powszechnie wówczas stosowanego modelu pasm parabolicznych opisywanych za pomocą masy efektywnej i kwadratowej zależności energii od pędu. Postać tej zależności okazała się analogiczna do wzoru Diraca opisującego energię elektronu relatywistycznego. Była to analogia czysto formalna, u której podstaw nie leżała żadna nowa idea fizyczna w rodzaju einsteinowskiej względności czasu czy koncepcji czasoprzestrzeni. Aby sprawdzić, czy model Kane'a prawidłowo opisze owe dziwne własności tej nowej klasy materiałów półprzewodnikowych, trzeba

---

\*Członek rzeczywisty PAN

\*\*Emerytowany profesor IF PAN



było na nowo zbudować teorię zjawisk elektronowych w półprzewodnikach i sprawdzić, czy teoria ta dobrze opisuje wyniki doświadczalne. To jest właśnie moment, w którym pojawia się Włodek Zawadzki. Ja w tym czasie, na prośbę założyciela Instytutu Fizyki i jego dyrektora Leonarda Sosnowskiego, prowadziłem dla pracowników instytutu wykład na temat tej nowej teorii i własności półprzewodników z tzw. wąską przerwą energetyczną. Celem było zainteresowanie innych tym, co w fizyce półprzewodników staje się ważne. Wśród słuchaczy zauważyłem młodego człowieka, gładko uczesanego na bok z przedziałkiem, który pilnie słuchał wykładu i skrupulatnie go notował. Po kilku wykładach zaczął mnie odwiedzać i prowadzić dyskusje, które zaczynały mieć coraz bardziej twórczy charakter. Nazywał się Włodzimierz Zawadzki.

Latem wyjechałem na urlop do Jastrzębiej Góry i okazało się, że był tam również Włodek. Do końca urlopu, zamiast korzystać z różnych urlopowych przyjemności, siedzieliśmy na plaży wypisując na piasku wzory. Po powrocie do Warszawy przyniósł mi spisane wyniki swoich przemyśleń i obliczeń. Okazało się, że jest to na tyle nowatorskie, iż nadaje się do publikacji. Przedtem zaniósłem te wyniki do Leonarda Sosnowskiego, który natychmiast podjął decyzję o przeniesieniu Włodka z Zakładu Technologii Półprzewodników do Zakładu Fizyki Półprzewodników. Tak więc Włodek z przytupem wkroczył na teren zaczynającej się rozwijać w IFPAN fizyki półprzewodników i nowej grupy badawczej. A był to, jak wspominałem wcześniej, teren ogromny i niezbadany. Wszystko było nowe i wymagające zrozumienia oraz opisu.

Przez parę lat współpracowaliśmy bardzo blisko ogłaszając kilka wspólnych prac. Tematyka była tak obszerna, że Włodek wkrótce znalazł sobie inne interesujące go szczególnie zagadnienia badawcze. Podejmował współpracę z różnymi pracownikami Instytutu, w tym również z młodymi adeptami nauki, którzy, tak jak On niedawno jeszcze, rozpoczynali swoją przygodę z fizyką.

W ten sposób rozwijała się w IFPAN specyficzna tematyka półprzewodnikowa, rozrastał się zespół badawczy. Warszawska grupa półprzewodnikowa zaczynała być znana i wysoko ceniona na świecie; w końcu w środowisku zajmującym się fizyką półprzewodników zaczęto mówić o polskiej szkole fizyki półprzewodników. Włodek pamiętał doskonale o tych początkach swojej kariery naukowej. Często o nich mówił podczas różnych publicznych wystąpień, np. w referacie wygłoszonym na uroczystym seminarium w IFPAN w 2014 roku poświęconym jubileuszowi 50-lecia nadania Mu stopnia doktora: (117) „50 lat od doktoratu: pięć tematów”.

Włodek był człowiekiem ambitnym, wytrwałym i niesłychanie pracowitym. Bez tych cech poważny sukces



Profesorowie Włodzimierz Zawadzki i Jerzy Kołodziejczak (od lewej) – zdjęcie wykonane 17.10.2013 roku w Instytucie Fizyki PAN po uroczystym seminarium poświęconym 60-leciu Instytutu (fot. Anna Zawadzka)

nie jest możliwy. Ponadto był bezkompromisowy w kwestiach prawdy i fałszu. Ta postawa w życiu prywatnym przysporzyła Włódkowi w czasach PRL różnych kłopotów, z których najboleśniejszy, bo utrudniający mu osobiste kontakty z uczonymi zagranicznymi, był zakaz wyjazdów zagranicznych. Trwało to, o ile dobrze pamiętam chyba 2 lata, zanim udało się nam przekonać władze o szkodliwości tej decyzji dla fizyki. Prawda była ważna dla Niego. Rozumiał, że zadaniem nauki i uczonego jest poznawanie prawdy o otaczającym nas świecie i zachodzących w nim zjawiskach. To co jest już znane mało go interesowało. Miał otwarty i błyskotliwy umysł, który kierował go na tereny nowe, jeszcze nie rozpoznane i wymagające badań. Z tego właśnie powodu zajmowanie się technologią boru było dla niego udręką. Gdy zobaczył nowy, niezbadany teren fizyki półprzewodników z wąską przerwą energetyczną, zanurzył się w nim z całym impetem i z całą swoją pracowitością. Wkrótce stał się jednym z liderów w grupie półprzewodnikowej. Był niesłychanie twórczy. Może poszczycić się ogromnym dorobkiem przejawiającym się wielką liczbą cennych publikacji naukowych oraz referatów wygłoszonych na krajowych i międzynarodowych konferencjach naukowych.

Niewątpliwie można Profesora Zawadzkiego zaliczyć do współtwórców polskiej szkoły fizyki półprzewodników. Wyrazem międzynarodowego uznania dla osiągnięć tej szkoły było dwukrotne (1972 i 1988) powierzenie Leonardowi Sosnowskiemu przez Międzynarodową Unię Fizyki Czystej i Stosowanej (IUPAP) zorganizowania, odbywającej się co 2 lata w różnych krajach świata, Międzynarodowej Konferencji Fizyki Półprzewodników. Konferencje były organizowane wspólnym wysiłkiem Instytutu Fizyki PAN i Instytutu Fizyki Doświadczalnej

UW. Włodek należał do Komitetu Organizacyjnego tych konferencji; sprawował ważną funkcję Przewodniczącego Komitetu Programowego konferencji w 1972 roku.

Międzynarodowe uznanie dla osiągnięć naukowych Włodka przejawiało się w bardzo częstym zapraszaniu Go przez najbardziej renomowane naukowe ośrodki zagraniczne. Jednak najczęściej i z pewnym rozrzewaniem wspominał swój pierwszy wyjazd na staż naukowy w MIT, w laboratorium kierowanym przez B. Laxa, wybitnego amerykańskiego fizyka, który jako pierwszy przeprowadził pomiary rezonansu cyklotronowego w germanie i krzemie. Włodek zajmował się tam teorią zjawisk elektronowych w półprzewodnikach, w skrzyżowanych polach elektrycznym i magnetycznym. Wrócił z publikacjami, które legły u podstaw Jego habilitacji. Paweł Pfeiffer, bliski współpracownik Włodka, przekazał mi pewną historyjkę związaną z pobytem Włodka w tym ośrodku. Otóż w tym czasie w MIT był na stażu także C. Pidgeon, który zaproponował Włódkowi wspólne opracowanie modelu  $k_p$  dla półprzewodników w polu magnetycznym. Włodek uznał, że skrzyżowane pola są ciekawsze i odmówił Pidgeonowi. I w ten sposób, jak z żalem parę razy później sam wspominał, zamiast modelu Pidgeona-Zawadzkiego w podręcznikach mamy model Pidgeona-Browna.

Włodek, zajmując się teoretycznym badaniem różnych zjawisk elektronowych wynikających z modelu Kane'a, używał często terminów takich jak *analogie relatywistyczne czy półwzględność*. Pierwszy z nich był oczywisty. Skoro wzór na energię Kane'a jest formalnie podobny do wzoru Diraca dla elektronu relatywistycznego, to opisane na podstawie modelu Kane'a najprzeróżniejsze zjawiska elektronowe w półprzewodnikach są analogiami zjawisk, jakie powinny występować przy obserwacji swobodnych elektronów o wielkich, relatywistycznych energiach. Problem tylko w tym, że takie eksperymenty ze swobodnymi relatywistycznymi elektronami są albo niesłychanie trudne, albo wręcz niemożliwe do przeprowadzenia, jak bowiem wytworzyć kontrolowany w eksperymencie relatywistyczny gaz elektronowy, jak regulować jego gęstość itd.? W półprzewodnikach, ze względu na małą masę efektywną elektronów, jest to wszystko łatwe do osiągnięcia. Półprzewodnik z małą przerwą energetyczną sam realizuje warunki, w których model Kane'a obowiązuje. Pierwszą z analogii relatywistycznych jaką zaobserwowano jeszcze na przełomie lat 50. i 60. XX wieku, była silna zależność masy efektywnej elektronów w antymonku indu od ich energii. Zależność ta okazała się być idealnie zgodna z modelem Kane'a lub, przez ową formalną analogię, z modelem Diraca. Inną analogią byłyby różne nieliniowe zjawiska optyczne, jak np. generacja wyższych harmonicznych przy pobudzeniu kane'owskiego gazu elektronowego silnym promieniowa-

niem laserowym. W półprzewodnikach (InSb) takie zjawiska były zaobserwowane, natomiast dla swobodnych elektronów relatywistycznych w próżni taka obserwacja byłaby niesłychanie trudna. Na tym właśnie polega wartość prac Włodka Zawadzkiego z całego tego obszaru tematycznego, nazywanego przez Niego analogiami relatywistycznymi. Można powiedzieć, że Włodek modelował w półprzewodnikach zjawiska, które, gdyby zostały zaobserwowane dla swobodnych elektronów w próżni, byłyby zjawiskami relatywistycznymi. Natomiast używany przez Włodka czasem termin *półwzględność* jest czystą i zabawną grą słów w zestawieniu ze słowem *półprzewodnik*. Włodek sam przestrzegał słuchaczy swoich publicznych wystąpień, żeby nie wyciągali z tej nazwy zbyt daleko idących wniosków i że używany przez Niego termin *półwzględność* nie oznacza odkrycia żadnych nowych idei fizycznych w przeciwieństwie do einsteinowskiej szczególnej teorii względności.

Poświęciwszy całe swoje życie fizyce, Włodek nie zasklepił się wyłącznie w badaniach naukowych. Miał wiele innych zainteresowań.



Fizyk teoretyk radzi sobie bez drogich urządzeń. Czasami wystarczą widły... (fot. Jerzy Zawadzki)

Pasjonował go sport, uprawiał judo i grał w tenisa. Był miłośnikiem literatury, w tym również poezji. Nie ograniczał się do biernego korzystania z twórczości innych autorów, ale wniósł i do tej dziedziny własny dorobek twórczy. Kochał muzykę i był częstym bywalcem Opery i Filharmonii Narodowej.

Odszedł człowiek wartościowy, o wszechstronnych zainteresowaniach. W dziedzinie fizyki ciała stałego pozostawił bogaty dorobek, który z pewnością będzie dalej owocował.

## Andrzej Marcinkowski (1933–2021)

Marian Jaskóła, Dorota Śliwińska



Profesor Andrzej Marcinkowski (fot. Danuta Marcinkowska)

Andrzej Marcinkowski urodził się 11 listopada 1933 roku w Poznaniu na Dolnej Wildzie, w domu należącej do rodziny Marcinkowskich. Zmarł 29 maja 2021 w Warszawie, został pochowany w kwaterze katolickiej Wolskiego Cmentarza Prawosławnego. Po ukończeniu liceum ogólnokształcącego im. I. Paderewskiego w Poznaniu, w 1951 rozpoczął studia na Uniwersytecie Poznańskim im. A. Mickiewicza na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii. Po ukończeniu studiów w dziedzinie fizyki, w katedrze prof. Arkadiusza Piekary, w 1955 roku rozpoczął pracę w nowo powstałym Instytucie Badań Jądrowych (IBJ) w Warszawie, w zakładzie kierowanym przez profesorów Andrzeja Sołtana i Zdzisława Wilhelmięgo. Andrzej Marcinkowski należał do grupy absolwentów uniwersytetów w Warszawie, Krakowie, Lublinie, Wrocławiu, Poznaniu i Toruniu skierowanych nakazem pracy do IBJ. Większość osób z tej grupy uzyskała stopień naukowy doktora, wielu habilitowało się, a znaczna liczba uzyskała tytuł naukowy profesora nauk fizycznych, chemicznych lub technicznych.

W latach 1956–1962 Andrzej Marcinkowski pracował przy projektowaniu i budowie elektrostatycznego akceleratora typu Van de Graaffa, który uruchomiono w 1962 roku nadając mu imię LECH dla uczczenia pamięci głównego projektanta tego akceleratora Lecha Bobrowskiego (zginął w wypadku motocyklowym w 1958 roku). Za to osiągnięcie zespół otrzymał nagrodę II stopnia Państwowej Rady ds. Pokojowego Wykorzystania Energii Atomowej. LECH był przez ponad 50 lat głównym narzę-

dziem badawczym tzw. Ośrodka Warszawskiego (UW, IBJ). Dzięki eksperymentom przeprowadzonym za pomocą tego akceleratora powstało wiele prac naukowych, magisterskich, doktorskich i habilitacyjnych. Można mówić o całym pokoleniu fizyków jądrowych, którzy korzystali z tego urządzenia i zawdzięczają mu swoje kariery naukowe w kraju i zagranicą.

Wykorzystując ten akcelerator Andrzej Marcinkowski rozpoczął badanie mechanizmu reakcji jądrowych wywołanych głównie przez szybkie neutrony. Reakcje te były tematem jego pracy doktorskiej *Badanie stosunków przekrojów czynnych na utworzenie pary izomerów  $^{58g}\text{Co}$  i  $^{58m}\text{Co}$  w reakcjach wywołanych przez neutrony prędkie* (promotor prof. Z. Wilhelmi), obronionej w 1967, oraz pracy habilitacyjnej (1974), poświęconej również reakcjom jądrowym wywołanym przez szybkie neutrony. Obrona pracy doktorskiej i rozprawa habilitacyjna odbyły się przed Radą Naukową IBJ. W 1975 Andrzej Marcinkowski został powołany na stanowisko docenta w Zakładzie Reakcji Jądrowych IBJ, następnie Instytutu Problemów Jądrowych; tytuł naukowy profesora nauk fizycznych otrzymał w roku 1990.

Profesor Marcinkowski współpracował z wieloma ośrodkami naukowymi w kraju i za granicą, między innymi: Uniwersytetem w Lund (1967–1968), Uniwersytetem w Athens (1980–1982, 1990–1991), Uniwersytetem w Oxfordzie (1988–1996), Centrum Badań Jądrowych w Bolonii (1988–1994), Laboratorium Los Alamos (1996–2006), a także Międzynarodową Agencją Energii Atomowej w Wiedniu (MAEA) i innymi. Dla MAEA, jako jej ekspert, przez wiele lat zbierał, opracowywał i katalogował dane jądrowe (zwłaszcza neutronowe, ważne dla przyszłościowych reaktorów termojądrowych) pochodzące z różnych krajowych i światowych laboratoriów. W ramach MAEA szkolił licznych stypendystów i doktorantów z Egiptu, Wietnamu, Korei i Węgier. Przez cały okres swej pracy zawodowej współpracował z krajowymi ośrodkami naukowymi takimi jak Instytut Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego oraz Instytut Fizyki Uniwersytetu Łódzkiego.

Andrzej Marcinkowski pozostawił po sobie ponad 120 prac naukowych (w znacznej liczbie zbiorowych) opublikowanych w międzynarodowych pismach o światowym zasięgu: *Nuclear Physics*, *Physical Review*, *Nuclear*

*Instruments and Methods, Acta Physical Polonica, Journal of Physics* i innych. Prace te do dzisiaj są licznie cytowane w literaturze fachowej. Jest współautorem dużego programu komputerowego [M. Herman, A. Marcinkowski, K. Stankiewicz; *Computer Physics Communication* 33, 373 (1984)] służącego do obliczania przekrojów czynnych i widm energetycznych produktów reakcji jądrowych wywołanych przez szybkie neutrony. Program ten jest nadal używany w wielu ośrodkach jądrowych na świecie. Jest również autorem wielu haseł z dziedziny fizyki i techniki jądrowej w krajowych publikacjach encyklopedycznych.

Profesor Marcinkowski był promotorem wielu prac doktorskich, recenzentem licznych prac doktorskich, habilitacyjnych i wystąpień o tytuł profesora. Recenzował także prace naukowe publikowane w pismach międzynarodowych, wnioski grantowe Komitetu Badań Naukowych i MAEA. Był członkiem wielu Rad Naukowych, m.in. Instytutu Badań Jądrowych (po transformacji w 1983 Instytutu Problemów Jądrowych), Instytutu Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego, Środowiskowego Laboratorium Ciężkich Jonów Uniwersytetu Warszawskiego. Zasiadał w radach programowych i organizacyjnych międzynarodowych szkół i konferencji naukowych, działał przez wiele lat w komisji ds. fizyki Rady Doradczej Komitetu Badań Naukowych.

W okresie swej pracy zawodowej był uhonorowany wieloma nagrodami i wyróżnieniami. Między innymi nagrodą Państwowej Rady ds. Pokojowego Wykorzystania Energii Atomowej II stopnia za udział w budowie

akceleratora Van de Graaffa i za wkład w poznanie mechanizmu reakcji jądrowych (lata 70. XX w.). Otrzymał również medal za wkład w rozwój IBJ, a w roku 1990 odznaczony został Złotym Krzyżem Zasługi.

Andrzej Marcinkowski był człowiekiem wszechstronnie uzdolnionym, o szerokich zainteresowaniach. Był miłośnikiem nie tylko nauk ścisłych, ale także literatury i sztuki, zwłaszcza architektury. Był ciekawy świata w wielu jego aspektach, posiadał bogate zbiory filatelistyczne (głównie kwiatów i ptaków). Miejsca, które zwiedzał podczas swoich podróży turystycznych, dokładnie katalogował i opisywał, hobbystycznie obserwował ptaki, interesował się fauną świata.

Profesor był człowiekiem skromnym, jak gdyby nie świadom swojej wartości. Wniósł wybitny wkład w poznanie reakcji jądrowych pośrednich (*precompound*) – wolniejszych niż oddziaływanie wprost (*direct*), ale szybszych niż powstawanie jądra złożonego. Zlokalizowany w Warszawie przy ulicy Hożej 69 Zakład Reakcji Jądrowych Instytutu Badań Jądrowych a następnie Instytutu Problemów Jądrowych (w latach 1992-1995 także nim kierował), był miejscem nie tylko jego pracy zawodowej, ale i grupą ludzi, których lubił, cenił i chętnie spędzał wśród nich czas również po przejściu na emeryturę w roku 2003, pozostając dalej w bliskim kontakcie z Zakładem.

Prywatnie Andrzej Marcinkowski był troskliwym mężem, ojcem, dziadkiem i pradziadkiem pomimo chorób, z którymi wytrwale walczył przez znaczną część swojego życia.

# Kronika Polskiego Towarzystwa Fizycznego

LIPIEC 2021

**Białystok.** 13.07.2021 rozpoczął się montaż teleskopu zwierciadlanego ASA 600 w nowo wybudowanym Obserwatorium Uniwersytetu w Białymstoku. To unikatowy i jeden z największych teleskopów dydaktycznych w Polsce, mający kwarcowe zwierciadło główne o średnicy 60 cm oraz układ optyczny Ritchey-Chrétien. Nowoczesna konstrukcja teleskopu pozwoli na wiele profesjonalnych zastosowań – od konwencjonalnych obserwacji wzrokowych, po specjalistyczne badania spektrograficzne. Poczynając od najbliższego roku akademickiego teleskop będzie wykorzystywany przez naukowców i studentów Uniwersytetu w Białymstoku do celów dydaktycznych i naukowych; zyskają oni w ten sposób więcej zajęć praktycznych. Po wakacjach w Obserwatorium dostępne będzie również Planetarium dla szerszej publiczności. Budowa tego obiektu kosztowała ponad 8,4 mln zł i finansowana była ze środków Ministerstwa Edukacji i Nauki oraz UwB. Zakup wyposażenia wsparł Samorząd Województwa Podlaskiego, przekazując na ten cel 1,3 mln zł (sam teleskop ASA 600 to koszt ok. 670 tys. zł).

SIERPIEŃ 1021

Rankiem 03.08.2021 żaglowiec STS Pogoria odszedł od nabrzeża szczecińskiej Łasztowni rozpoczynając nietypowy rejs. Nietypowy wobec głównej misji statku, tj. morskiego wychowania młodzieży. Tym razem średnia wieku załogi wynosiła ok. 50 lat a zakres wieku – od 15 do 80 lat. Byli to fizycy i astronomowie, pracownicy nauki i nauczyciele, a także osoby rodzinnie związane z fizyką. Celem rejsu było uczczenie setnej rocznicy powstania Polskiego Towarzystwa Fizycznego. Pierwotnie taki rejs został zaplanowany na rok jubileuszu (2020), ale pandemia zmusiła organizatorów do zmiany planów. W 2020 roku odbył się Rejs Fizyków w wersji nieco okrojonej, na żaglowcu STS Fryderyk Chopin, niemniej jednak był bardzo udany, co opisał Romuald Kotowski w *Postęпах Fizyki* 2/2021. W 2021 roku udało się zorganizować Rejs Stulecia PTF zgodnie z oryginalnym pomysłem kolegi Jana Grabskiego.

Załoga fizyków reprezentowała bardzo niejednorodny poziom doświadczenia żeglarskiego, a zdecydowana większość nigdy nie pływała na tak dużym statku żaglowym. Przed kapitanem Maciejem Leśnym, oficerami i załogą stała złożona z bosmana, mechanika i kucharza stała zatem niełatwe wyzwanie szybkiego przeszkolenia żeglarskiego zaokrętowanych i zaznajomienia ich z obowiązkami załogi żaglowca; podjęli je z zapałem i, jak powiedział przesympatyczny mechanik Mi-rek, „z całym szacunkiem dla [...] stanowisk i tytułów

[szkolonych].” Spotkali się z entuzjazmem załogantów – chętnych nie brakowało nawet do wchodzenia na reje.

Życie na pokładzie przebiegało oczywiście zgodnie z uświęconymi tradycją zasadami, z wachtami odmierzonymi wybijanymi dzwonem „szklankami”, z radosną pobudką o 7 godzinie („Hej, załoga, dosyć spania. Jest pokład do szorowania!”) oraz apelem z podniesieniem bandery o 8. Pierwszy apel dopełniło odczytanie listu Prezesa PTF prof. Leszka Sirki do uczestników rejsu, z życzeniami wspaniałych przeżyć i udanej wyprawy. Prezes podzielił się z nami radością z tego, że nie wynaleziono jeszcze hybrydowego sposobu organizacji rejsów, a przeniesienie Rejsu Stulecia PTF na rok 2021 przedłużyło obchody jubileuszu PTF. Wiedzę załogi o tradycjach żeglarskich i nawigacyjnych ciekawostkach uzupełnili nasi oficerowie także podczas wieczornego spotkania, w ramach którego my zrewanżowaliśmy się prezentacją stu-letniej tradycji i dzisiejszej aktywności PTF.

Trasa rejsu prowadziła ze Szczecina do Rønne na Bornholmie, następnie przez Kanał Kiloński na Morze Północne, na wyspę Helgoland, na której Werner Heisenberg tworzył podstawy swojej mechaniki macierzowej, a potem do Bremerhaven. Tam uczestniczyliśmy w zlocie żaglowców i zadawaliśmy szyku paradując w naszych okolicznościowych koszulkach z logo rejsu i sylwetką Pogorii (kolejna zasługa Janka Grabskiego).

Rejs, jak zawsze, skończył się zbyt szybko, trwał jednak dostatecznie długo byśmy doświadczyli atmosfery zaufania, koleżeństwa i gotowości do współpracy, o której tak ładnie napisał Romuald w relacji z ubiegłorocznego rejsu. A sprawowaliśmy się, jako załoganci, chyba nie-



Czwarta wachta w okolicznościowych koszulkach na pokładzie Pogorii zacumowanej w Bremerhaven

źle, skoro załoga stała i kadra oficerska rejsu rozstały się z nami tworząc pożegnalny szpaler. Nie jest zatem nie spodzianką, że plany organizacji kolejnego rejsu fizyków w 2022 roku nabierają realnych kształtów.

Za to wszystko ogromne podziękowania należą się organizatorowi rejsu Janowi Grabskiemu. Dzięki jego wytrwałości, kontaktom w środowisku żeglarskim oraz talentom organizacyjnym mieliśmy szansę przeżyć tę żeglarską przygodę na pokładzie STS Pogoria.

Opisy obu rejsów (w 2020 i 2021) są dostępne na stronie internetowej PTF <https://www.ptf.net.pl/pl/rejsy/rejsy-fizykw/>.

**Białystok.** W dniach 27-29.08.2021 odbyła się konferencja ESOP (European Symposium on Occultation Project), czyli coroczne spotkanie obserwatorów tzw. zjawisk zakryciowych (m.in. zaćmienia Słońca, Księżycy, zakrycia gwiazd przez Księżyc lub asteroidy). Konferencja ESOP to spotkanie astronomów zawodowych oraz miłośników astronomii, którzy swoim zaangażowaniem obserwacyjnym przyczyniają się między innymi do poprawiania parametrów orbit asteroid, wyznaczania ich kształtów i rozmiarów, odkrywania nowych gwiazd podwójnych itp.

Tegoroczne spotkanie było już piątą edycją zorganizowaną w Polsce i pierwszą współorganizowaną przez Wydział Fizyki Uniwersytetu w Białymstoku. Zgromadziło ponad 60 osób z takich państw jak: Algieria, Belgia, Brazylia, Czechy, Francja, Grecja, Hiszpania, Holandia, Indie, Niemcy, Portugalia, Turcja, USA, Szwajcaria, Włochy, czy Wielka Brytania. Ponad 20 osób uczestniczyło w spotkaniu stacjonarnie, a blisko 40 online. Uczestnicy konferencji wzięli również udział w warsztatach składania teleskopu oraz aparatury specjalistycznej, które były transmitowane na cały świat.

#### WRZESIEŃ 2021

**Białystok.** 25.09.2021 na Wydziale Fizyki Uniwersytetu w Białymstoku odbyła się V Konferencja Nauczycieli Fizyki. Było to kolejne spotkanie zorganizowane przez Wydział Fizyki UwB we współpracy z Oddziałem Białostockim Polskiego Towarzystwa Fizycznego oraz Polską Akademią Nauk Oddział w Olsztynie i w Białymstoku z siedzibą w Olsztynie. Patronem tegorocznej edycji był J. M. Rektor UwB prof. dr hab. Robert W. Ciborowski. Konferencja miała na celu integrację i poszerzenie kompetencji środowiska akademickiego oraz nauczycieli przedmiotów przyrodniczych, a także prezentację nowości na rynku wydawniczym i pomocy naukowych. W tegorocznej konferencji udział wzięło 58 nauczycieli, w tym 17 spoza granic województwa podlaskiego. Uczestnicy mogli wysłuchać między innymi wykładów na temat „nowej szkoły” i koniecznych zmian oświatowych, a także znaczenia aktywności fizycznej dla rozwoju kompetencji poznawczych. Część wykładów poświęcona była

skutecznej asymilacji osób z różnie nasilonymi wadami słuchu poprzez rozwój polskiego programu implantów ślimakowych. Spotkanie było również okazją do podzielenia się wiedzą i doświadczeniem z zakresu innowacyjnych metod zdalnego nauczania oraz blasków i cieni tego sposobu przekazywania wiedzy. Jesteśmy przekonani, że uczestnicy V Konferencji Nauczycieli Fizyki zdobyli nowe doświadczenia, wiadomości i umiejętności pozwalające poszerzyć warsztat nauczyciela fizyki.

Kolejna, VI edycja odbędzie się w ostatnią sobotę września przyszłego roku (24.09.2022). Szczegółowe informacje na ten temat znaleźć można na stronie <https://physics.uwb.edu.pl/wf/knf2021/>



Uczestnicy V Konferencji Nauczycieli Fizyki, Białystok 2021 (fot. Marek Brancewicz)

#### PAŹDZIERNIK 2021

**Poznań.** Podczas inauguracji nowego roku akademickiego 2021/2022 w Auli Uniwersyteckiej UAM wręczono Medal Palmae Universitatis Studiorum Posnaniensis prof. Małgorzacie Śliwińskiej-Bartkowiak za wybitne osiągnięcia naukowe w dziedzinie fizyki. Jest to najwyższe wyróżnienie naukowe przyznawane przez Uniwersytet w Poznaniu. Profesor Śliwińska-Bartkowiak jest członkiem Zarządu OP PTF.

Wykład inauguracyjny *Krótką historią fal grawitacyjnych* wygłosiła prof. Agnieszka Kryszczyńska, dyrektor Instytutu-Observatorium Astronomicznego w Poznaniu.

**Poznań.** 20.10.2021 na Wydziale Fizyki UAM w Auditorium Maximum im. prof. Franciszka Kaczmarka otwarto Instytut Spintroniki i Informatyki Kwantowej. Dyrektorem nowo powołanego Instytutu został prof. Ireneusz Weymann, aktywny członek OP PTF. Podczas uroczystości wykład inauguracyjny wygłosił prof. Franco Nori (RIKEN, Tokio). W dniach 21-23.10.2021 odbyło się Symposium on Spintronics and Quantum Information, podczas którego 30 zaproszonych gości wygłosiło referaty. Więcej informacji o Sympozjum znaleźć można na stronie: <http://isik.amu.edu.pl/symposium/>

# MICHAŁ HELLER



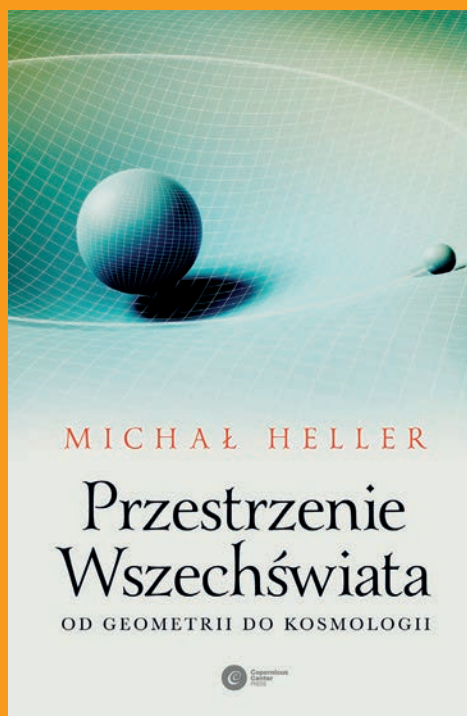
## Nieskończenie wiele wszechświatów

- Co kryje się pod pojęciem wieloświata?
- Czy nasz Wszechświat jest tylko jednym z nieskończenie wielu?
- Gdzie kończy się nauka, a zaczyna twórcza fantazja?

Profesor Michał Heller bada najnowsze teorie i osiągnięcia kosmologii, skupiając się na zagadnieniu istnienia wielu wszechświatów, naukowcy bowiem wysuwają coraz to nowe koncepcje, kreując obraz rzeczywistości, w którym, oprócz naszego uniwersum, istnieją także inne, równie realne wszechświaty. Czy jednak hipoteza wieloświata mieści się jeszcze w granicach nauk empirycznych? Łącząc wiedzę z dziedziny fizyki, filozofii, matematyki i logiki, Autor przygląda się kontrowersyjnemu, ale metafizycznie prowokującemu pojęciu, a właściwie różnym odmianom pojęcia wieloświata. Wybitny teolog i kosmolog zauważa, że pytanie o realność innych wszechświatów, balansujące na krawędzi metody naukowej, jest jednocześnie pytaniem o tożsamość fizyki. Ta niezwykle intrygująca publikacja stanowi doskonały przegląd ostatnich dokonań kosmologii w tej dziedzinie.

## Przestrzenie Wszechświata

Książka *Przestrzenie Wszechświata* jest kontynuacją jednej z poprzednich publikacji Michała Hellera – *Bóg i geometria* i prezentuje historię geometrii od czasów Newtona do czasów obecnych. Profesor Heller z łatwością przeprowadza Czytelnika przez labirynty historii matematyki, filozofii, fizyki i kosmologii, łącząc wiedzę z tych dziedzin z intrygującymi niuansami wyjętymi z oryginalnych zapisków Newtona czy Eulera. Wybitny teolog i kosmolog, przedstawiając rozwój geometrii od starożytnych Greków do geometrii nieprzemiennej i syntetycznej geometrii różniczkowej, wskazuje na niezwykłą skuteczność racjonalnej myśli. Zauważa, że badając Wszechświat, stawiamy czoła Wielkiej Racjonalności.



## Bóg i geometria

Wybitny kosmolog i teolog, profesor Michał Heller zastanawia się nad tym, co to znaczy, że Bóg uprawia matematykę. Zabierając Czytelnika w podróż przez stulecia nauki, od starożytności do czasów Newtona, ukazuje jak teologia znacząco wpłynęła na kształtowanie abstrakcyjnego pojęcia przestrzeni. Przedstawia oddziaływania płynące ze strony teologii do geometrii, mające charakter inspiracji i motywacji oraz oddziaływania geometrii na teologię przybierające postać dostarczenia pewnego rodzaju materiału wyobrażeniowego, który służył teologii w kształtowaniu obrazu Boga i jego stosunku do świata.





Inżynier astronautyki, prezes **Pioneer Astronautics** i prezydent **The Mars Society** – **Robert Zubrin** w ciekawej, narracyjnej formie opisuje obecną rewolucję w lotach kosmicznych. Przedstawia potencjał ostatnich osiągnięć astronautyki, przewiduje innowacje i nowe kierunki badań. Coś, co kilkanaście lat temu wydawało się *science fiction*, dzisiaj dzieje się na naszych oczach, przy czym we współczesnym „wyścigu kosmicznym” rywalami nie są supermocarstwa, ale konkurujący ze sobą przedsiębiorcy. Autor ujawnia smaczki dotyczące budowy rakiet, ekonomiczne i osobowe kulisy prac nad pierwszymi komercyjnymi lotami w kosmos, przewiduje przyszłość astronautyki pod kątem technologicznym, wskazując co naprawdę jest możliwe, a co nie.

Z opinii redaktorów Forbes'a: *W książce możemy podziwiać rzadko spotykaną wiedzę autora obejmującą astronomię, inżynierię, ekonomię i politykę. Zubrin zagłębia się bezpośrednio w kwestie wydobycia zasobów księżycowych, wytwarzania energii, produkcji i transportu, które będą napędzać szybkie zasiedlenie „ósmego kontynentu Ziemi”.*



Nasi przodkowie od zarania dziejów prowadzili obserwacje nieba, nie do końca rozumiejąc mechanizmy i czynniki stojące za tym, czego byli świadkami. Mimo że w czasach nowożytnych możemy wyjaśnić wiele zjawisk astronomicznych, są one wciąż stosunkowo rzadkie i nadal wprawiają Ziemiaków w zdumienie. **Jonathan Powell** wprowadza Czytelników w rzadkie i ulotne wydarzenia nad naszymi głowami – zjawiska zarówno bardzo dawne i odległe, jak i te stosunkowo nowe i bliskie. Oferuje szybki kurs historii astronomii, wskazując sposoby obserwacji i wynalazki różnych kultur na przestrzeni czasu.