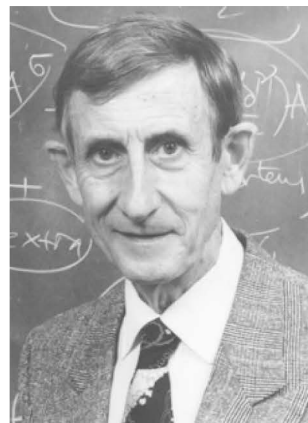




Freeman John Dyson – buntownik i heretyk (1923-2020)

Marek Wolf



Freeman John Dyson
fot. Randall Hagadom

Dwudziestego ósmego lutego 2020 roku zmarł Freeman J. Dyson, jeden z najbardziej oryginalnych uczonych naszych czasów. Przeżył ponad 96 lat, mimo że nie odżywiał się zdrowo: jego głównym posiłkiem był najczęściej hamburger popijany najślawniejszym amerykańskim napojem na literę C [4, str. 247, 250–251]. Mógł zginąć w 1969 roku – na skutek wybuchu bomby w domu, w którym mieszkał, ciężko ranny został wtedy dozorca, który zmarł dwa dni później w szpitalu [6, rozdz. 14]. Policja podejrzewała, że to właśnie Dyson stanowił cel zamachu [1]; sprawcy nigdy nie znaleziono.

Dyson był postacią renesansową: z zawodu matematyk wniósł znaczący wkład do wielu dziedzin nauki. Na przykład w biologii zajmował się początkami życia, a w szczególności problemem przejścia od materii zwykłej, „martwej”, do ożywionej [7]. By podać bardziej egzotyczny przykład: zatrudniono go jako konsultanta przy produkcji filmu „Rok 2001” [4, str. 308]. Przedstawiał się też: „Jestem teraz astrofizykiem” [4, str. 290]. Na wiele społecznych zagadnień miał wywrotowe poglądy, na przykład nie wierzył w globalne ocieplenie i podpisał manifest „There is no climate emergency” [3]. Wyrażał sceptycyzm wobec teorii strun i supersymetrii [8].

Jego ojciec, Sir George Dyson, był kompozytorem i dyrygentem Królewskiego Kolegium Muzycznego w Londynie. Młody Dyson wzrastał jako cudowne dziecko: w wieku 6 lat pasjonował się matematyką i astronomią. Na początku września 1941 roku rozpoczął studia matematyczne w Cambridge. Słuchał wykładów m.in. Hardy’ego o szeregach Fouriera, Littlewooda o funkcjach rzeczywistych i zespolonych oraz Besicovitcha o teorii całki i miary. W roku 1945 uzyskał tam stopień bakałarza (B.A.). Po drugim roku studiów, w lipcu 1943, został zatrudniony przez Dowództwo Bombowe RAF [4, str. 21–25] i zajmował się problemem przypadkowych zderzeń samolotów brytyjskich podczas nalotów. Chodziło o to, że zwarte i liczne formacje bombowców były bardziej odporne na ataki niemieckich myśliwców, ale za to w tłoku łatwiej dochodziło do kolizji między nimi. Pracował też nad zagadnieniami związanymi z wywoływaniem burz ogniowych podczas nalotów dywanowych.

Swój pierwszy artykuł naukowy poświęcił ułamkom łańcuchowym [9]. W pracy [10] uogólnił twierdzenie Manna o gęstości sumy zbiorów liczb całkowitych, zwane przypuszczeniem $\alpha - \beta$. Po tych sukcesach chciał udowodnić hipotezę Siegela o przybliżaniu liczb algebraicznych liczbami wymiernymi. Niepowodzenie w tym zakresie spowodowało, że zajął się fizyką teoretyczną. Wyjechał do USA i studiował fizykę na Cornell University pod kierunkiem Hansa Bethego (laureata Nagrody Nobla w roku 1967) i Richarda Feynmana (laureata Nagrody Nobla w 1965). Nie uzyskał nigdy formalnie stopnia doktora i był przeciwnikiem modelu kariery naukowej opartej na przyznawaniu doktoratów (zob. youtube),

ponieważ jednak otrzymał wiele wyróżnień, nagród i doktoratów honorowych zwracano się do niego per „dr Dyson”. Mimo braku ww. stopnia naukowego w 1951 został profesorem fizyki na Cornell, po tym jak w 1949 opublikował ważną pracę dotyczącą kwantowej teorii pola elektromagnetycznego.

Dyson jest jednym z twórców elektrodynamiki kwantowej – teorii, której przewidywania odnośnie do zachowania się elektronów i fotonów na bardzo małych odległościach (10^{-13}m) zgadzają się z doświadczeniem z dokładnością do kilkunastu cyfr po przecinku. Przedstawił w szczególności rozwiązanie równania ewolucji czasowej pól kwantowych w postaci szeregu (tzw. „szereg Dysona”) zawierającego operator uporządkowania chronologicznego, który był punktem wyjścia dla rachunku zaburzeń [23, §II.5]. Wyprowadził ponadto relacje między funkcjami Greena dla pól kwantowych, które później uogólnił J. Schwinger, i dlatego nazwane są równaniami Schwingera—Dysona [23, §II.9].

Mimo tych zasług nigdy nie został laureatem Nagrody Nobla: w roku 1965 za sformułowanie elektrodynamiki kwantowej nagrodę tę otrzymali R.P. Feynman, J. Schwinger i S. Tomonaga. Fakt jego pominięcia był pewną kontrowersją, ale wg testamentu Nobla w danym roku nagrodę z jednej dziedziny mogą dostać maksymalnie trzy osoby. Niejako na pocieszenie w tymże 1965 roku przyznano mu Dannie Heineman Prize – uważaną wówczas w dziedzinie fizyki za drugą w randze po Nagrodzie Nobla (dziesięć tysięcy USD). W roku 2000 otrzymał też Nagrodę Templetona, przyznawaną za „wyjątkowy wkład w afirmację duchowego wymiaru życia poprzez spostrzeżenie, odkrycie lub prace praktyczne”, której wartość wynosi ponad 1 milion GBP, a więc więcej niż Nagroda Nobla, której wartość to około 1 miliona USD.

Pod koniec lat pięćdziesiątych Dyson wziął roczny urlop (tzw. „sabbatical”) w Institute for Advanced Study w Princeton i pracował w „przemyśle”, w firmie General Atomics, biorąc udział w konstrukcji reaktora atomowego Triga, uchodzącego za bardzo bezpieczny, gdyż jego rdzeń nie może ulec stopieniu. W tej firmie brał też udział w projekcie Orion. Kilku zapaleńców w USA marzyło wówczas o tym, aby polecieć do gwiazdy α Centaura, odległej od Ziemi tylko o 4,3 roku świetlnego. Kosmolot Orion miał mieć napęd atomowy: w ognisku olbrzymiej czasy co ćwierć sekundy miały eksplodować niewielkie ładunki termojądrowe o małej mocy. Lot na odległość 10 lat świetlnych trwałby 67 lat. Do napędu zamierzano użyć wszystkich bomb wodorowych na Ziemi, dokonując w ten sposób rozbrowienia jądrowego — mimo prac na rzecz wojska w czasie II wojny światowej Dyson był zagorzałym pacyfistą.

Inny obszar jego zainteresowań to poszukiwanie życia we Wszechświecie i próby nawiązania kontaktu z obcymi cywilizacjami. W roku 1960 opublikował w *Science* jednostronicowy artykuł zatytułowany „Search for Artificial Stellar Sources of Infrared Radiation” [11]. Przedstawił w nim koncepcję znaną obecnie jako „sfera Dysona”. Według niej, wysoko rozwinięte cywilizacje – jeśli istnieją – potrzebują gigantycznych ilości energii, a jej naturalnym i praktycznie niewyčerpanym źródłem są gwiazdy. Trzeba tylko umieć zatrzymać ich promieniowanie przed ucieczką w otchłanie kosmosu. Dyson sugerował, że cywilizacje takie prawdopodobnie budują wokół swego słońca olbrzymie skorupy stworzone z materiału jednej z planet (np. rozmiarów Jowisza). Tak stworzona sfera byłaby niewidoczna na zewnątrz w świetle widzialnym, ale za to wypromieniowywałaby sporo energii w widmie podczerwonym. Postulował zatem poszukiwanie ciemnych obiektów o temperaturze pokojowej i rozmiarach zbliżonych do orbity Ziemi. W 1971 roku uczestniczył w pierwszej konferencji poświęconej kontaktom

z pozaziemskimi istotami rozumnymi (CETI), która odbywała się w Biurakanie w Armenii.

Jesienią 1978 roku na Uniwersytecie Nowojorskim Dyson wygłosił cztery odczyty z serii *Wykłady imienia Jamesa Arthura o czasie i jego tajemnicach*. Ukazały się one potem w prestiżowym czasopiśmie fizycznym *Reviews of Modern Physics*¹ [15] pod ogólnym tytułem: *Time without end: Physics and biology in an open universe*.² W pracy tej, zawierającej 137 wzorów, Dyson zajmuje się losem Wszechświata w bardzo dalekiej przyszłości – skala czasowa rozważanych problemów ma rząd 10^{1500} lat! Przypomnijmy, że zgodnie z istniejącymi obecnie poglądami, Wszechświat dąży albo do stanu tzw. śmierci cieplnej (jeśli będzie się rozszerzać w nieskończoność), albo zacznie się w pewnym momencie kurczyć i zapadnie do punktu o nieskończonej temperaturze. Dyson uważał, że tego typu kwestie nie należą tylko do domeny fizyki lub kosmologii, gdyż wysoko rozwinięta cywilizacja czerpiąc energię z całych galaktyk lub kwazarów może przebudować część Wszechświata i tak zmienić lokalnie topologię czasoprzestrzeni, by uniknąć zamrażnięcia lub usmażenia się.

Na początku lat sześćdziesiątych opublikował serię artykułów poświęconych statystycznej teorii poziomów energetycznych złożonych układów modelowanych za pomocą macierzy losowych [12, 13, 14, 17, 18]. Współautorem trzech ostatnich prac był Madan L. Mehta. By wyjaśnić znaczenie tego cyklu przypomnijmy, że w fizyce macierze losowe używane są do opisu własności ciężkich jąder atomowych. Widma lekkich atomów (np. wodoru – przypadek ściśle rozwiązywalny) są proste i regularne, natomiast widma ciężkich, takich jak na przykład uranu ^{238}U , są skomplikowane i rozłożone „chaotycznie”. Nie znamy hamiltonianów oddziaływań w jądrach takich ciężkich atomów, zresztą fizyka układów wielu ciał oparta jest na metodach przybliżonych.

Na początku lat pięćdziesiątych ubiegłego wieku przy niektórych reaktorach atomowych kilka grup badawczych rozpoczęło wyznaczanie poziomów energetycznych jąder uranu. W pewnych przypadkach udało się wyznaczyć od kilkuset do ponad tysiąca poziomów. Stwierdzono wtedy brak stanów o energiach leżących blisko siebie; zjawisko to nazwano odpychaniem poziomów. W mechanice kwantowej, jeśli nie ma degeneracji, wartości energii E_n układu kwantowego otrzymuje się jako wartości własne operatora samosprężonego³ $\hat{H}$ występującego w równaniu Schrödingera, to znaczy rozwiązując równanie

$$\hat{H}\psi_n = E_n\psi_n. \quad (1)$$

W przypadku skończenia wymiarowym (1) jest układem równań jednorodnych na współrzędne wektora ψ_n w jakiejś bazie i niezerowe wektory własne istnieją jeśli wyznacznik układu równań (1) znika, więc wartości własne λ_n są rzeczywistymi⁴ rozwiązaniami wielomianowego równania charakterystycznego $\det(\hat{H} - \lambda\mathbb{I}) = 0$, o stopniu równym rozmiarowi przestrzeni Hilberta, w której działa operator $\hat{H}$.

Ze względu na to, że nie znamy hamiltonianu dla jąder ciężkich atomów, w latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku Eugene Wigner zaproponował, aby

¹Wydawnictwo to ma IF równy 45; corocznie publikuje wykłady noblowskie z fizyki.

²Jest dostępne polskie tłumaczenie w „Postęпах Fizyki” (tutaj) zatytułowane *Czas bez końca: Fizyka i biologia w otwartym Wszechświecie*.

³Fizycy najczęściej nie odróżniają hermitowskości od samosprężoności – różnica między tymi pojęciami jest dla nich zbyt subtelna, zresztą w przestrzeniach skończenia wymiarowych hermitowskość to to samo co samosprężoność.

⁴Przypomnijmy, że operator hermitowski ma rzeczywiste wartości własne.

do ich opisu używać macierzy dużego wymiaru o losowych elementach wybranych z odpowiednim rozkładem prawdopodobieństwa. I właśnie Dyson (wraz z Mehtą) zbadał własności różnych zespołów macierzy losowych o rozkładach gaussowskich: macierzy unitarnych, ortogonalnych i symplektycznych. W szczególności w [14, Sect. III] podał postać dwupunktowej funkcji korelacyjnej dla losowych macierzy z unitarnego zespołu gaussowskiego (GUE). Formalna definicja jest dosyć skomplikowana i wymaga wprowadzenia wielu pomocniczych oznaczeń. Nieformalnie można powiedzieć, że funkcja korelacyjna podaje, dla dużych N , prawdopodobieństwo znalezienia dwóch wartości własnych (poziomów energetycznych) E_1 i E_2 dla macierzy rozmiaru $N \times N$ w małych przedziałach $E_1 \in [x_1, x_1 + dx_1]$, $E_2 \in [x_2, x_2 + dx_2]$ niezależne od tego jakie wartości przyjmują pozostałe wartości $E_3, E_4, \dots, E_N$.

Wiosną 1972 w Instytucie Studiów Zaawansowanych w Princeton doszło do krótkiej rozmowy Dysona z młodym matematykiem, H. L. Montgomery; ten drugi miał wtedy 28 lat. Opis ich spotkania można znaleźć w wielu książkach, np. [20, str. 134–136], [5, str. 316–318], [22, str. 263–264]. Rok wcześniej Montgomery, zakładając Hipotezę Riemanna, wyliczył własności statystyczne odstępów między zerami funkcji $\zeta(s)$. W szczególności wysunął przypuszczenie, że funkcja korelacyjna urojonych części zer dzety, to znaczy rzeczywistych liczb γ spełniających warunek $\zeta(\frac{1}{2} + i\gamma) = 0$, ma następującą własność:

$$\sum_{\substack{0 < \gamma, \gamma' \leq T \\ \frac{2\pi\alpha}{\log T} \leq \gamma - \gamma' \leq \frac{2\pi\beta}{\log T}}} 1 \rightarrow \left(\int_{\alpha}^{\beta} \left(1 - \left(\frac{\sin \pi u}{\pi u} \right)^2 \right) du + \delta(\alpha, \beta) \right) \frac{T \log(T)}{2\pi}, \quad \text{gdy } T \rightarrow \infty; \quad (2)$$

we wzorze tym $\delta(\alpha, \beta) = 1$, gdy $\alpha < 0 < \beta$ i $\delta(\alpha, \beta) = 0$, gdy $0 < \alpha < \beta$. Urodzony w Londynie hinduski matematyk Sarvadamana D.S. Chowla, od jakiegoś czasu namawiał nieśmiałego Montgomery'ego do przedstawienia powyższego rezultatu Dysonowi. Młodzieniec miał czuć respekt przed sławnym fizykiem, jednak Chowla podczas popołudniowej „herbatki” w Fuld Hall w IAS siłą zaciągnął go do niego. Gdy Montgomery powiedział czym się zajmuje i napisał wzór (2), Dyson natychmiast rozpoznał w nim postać otrzymanej przez siebie w latach sześćdziesiątych funkcji korelacyjnej wartości własnych losowych macierzy dla zespołu gaussowskiego macierzy hermitowskich. Następnego dnia [5, str. 318] przekazał mu przez A. Selberga kartkę z literaturą dotyczącą macierzy losowych.

Przez kilka lat odkryty w czasie krótkiej rozmowy Montgomery'ego z Dysonem związek nietrywialnych zer $\zeta(s)$ z wartościami własnymi macierzy GUE nie wzbudzał większego zainteresowania. W latach osiemdziesiątych A. Odlyzko rozpoczął jednak sprawdzanie przypuszczenia (2) za pomocą superkomputerów Cray-1 i Cray X-MP. Wyniki tych obliczeń ukazały się w 1987 roku w pracy [19] i z grubsza potwierdzały (2). Okazuje się mianowicie, że niewielkie różnice między występującymi w (2) wielkościami zanikają bardzo wolno gdy posuwamy się po prostej krytycznej; Odlyzko kontynuował obliczenia na coraz szybszych komputerach i coraz dalej na osi $\Re[s] = \frac{1}{2}$. Te empiryczne dane potwierdziły słuszność przypuszczenia, że odległości między urojonymi częściami kolejnych nietrywialnych zer $\zeta(s)$ zachowują się jak różnice między parami wartości własnych losowych macierzy z rozkładem GUE. Dopiero to doświadczenie potwierdzenie przypuszczenia Montgomery'ego (2) spowodowało gwałtowny

wzrost zainteresowania związkami między zerami dzety Riemanna a wartościami własnymi losowych macierzy. W [21, str.146] P. Sarnak napisał: „Na poziomie fenomenologicznym to jest chyba najbardziej zdumiewające odkrycie dotyczące dzety od czasów Riemanna.”

Dyson kiedyś powiedział, że jego życie zaczęło się gdy miał 55 lat, bo wtedy ukazała się jego pierwsza książka *Disturbing the Universe* [6]. Miała ona charakter autobiograficzny. Potem napisał jeszcze szereg innych, a ich atrakcyjne tytuły stanowiły dobrą reklamę; wymieńmy choćby „Imagined Worlds” i „Infinite in All Directions”. Wydaje mi się, że jego ostatnią publikacją, wspólną z Frankelem i Guttmanem, była praca [16]; tak jak swoje pierwsze artykuły poświęcił ją teorii liczb.

We wstępie do raportu [2] Dyson napisał „Science driven by rebels and heretics searching for truth has made great progress in the last three centuries”.⁵ On sam niewątpliwie był buntownikiem i heretykiem.

Literatura

- [1] Club bombing, <https://livinghistory.as.ucsb.edu/2019/12/04/faculty-club-bombing/>.
- [2] <http://www.thegwpf.org/content/uploads/2015/10/benefits1.pdf>
GWPF raport “Carbon Dioxide: The Good News”.
- [3] World climate declaration of CLINTEL: <https://clintel.org/freeman-dyson-one-of-the-most-prominent-signatories-of-the-climate-declaration-has-died-aged-96/>.
- [4] K. Brower, *Kosmolot i czótno*, Czytelnik, Warszawa, 1983.
- [5] J. Derbyshire, *Obsesja liczb pierwszych*, NAKOM, Poznań, 2009.
- [6] F. Dyson, *Disturbing the Universe*, Harper & Row, New York, NY, USA, 1979.
- [7] F. Dyson, *Początki życia*, Biblioteka Myśli Współczesnej, seria $\pm\infty$. PIW, Warszawa, 1993.
- [8] F. Dyson, *Birds and frogs*, Notices of the AMS 56 (2009), no. 2, 212–223.
- [9] F. J. Dyson, *On the order of magnitude of the partial quotients of a continued fraction*, J. London Math. Soc. s1-18 (1943), no. 1, 40–43.
- [10] F. J. Dyson, *A theorem on the densities of sets of integers*, J. London Math. Soc. s1-20 (1945), no. 1, 8–14.
- [11] F. J. Dyson, *Search for artificial stellar sources of infrared radiation*, Science 131 (1960), no. 3414, 1667–1668.
- [12] F. J. Dyson, *Statistical theory of the energy levels of complex systems. I*, J. Math. Phys. 3 (1962), 140–156.

⁵Nauka kierowana (napędzana) przez buntowników i heretyków szukających prawdy w ostatnich trzech stuleciach zrobiła duże postępy.



- [13] F. J. Dyson, *Statistical theory of the energy levels of complex systems. II*, J. Math. Phys. 3 (1962), 157–165.
- [14] F. J. Dyson, *Statistical theory of the energy levels of complex systems. III*, J. Math. Phys. 3 (1962), 166–175.
- [15] F. J. Dyson, *Time without end: Physics and biology in an open universe*, Rev. Mod. Phys. 51 (1979), 447–460.
- [16] F. J. Dyson, N. E. Frankel, and A. J. Guttmann, *SanD Primes and Numbers*. J. Integer Seq. 23 (2020), (Article 20.3.4).
- [17] M. L. Mehta and F. J. Dyson, *Statistical theory of the energy levels of complex systems. IV*, J. Math. Phys. 4 (1963), no. 5, 701–712.
- [18] M. L. Mehta and F. J. Dyson, *Statistical theory of the energy levels of complex systems. V*, J. Math. Phys. 4 (1963), no. 5, 713–719.
- [19] A. M. Odlyzko, *On the distribution of spacings between zeros of the zeta function*, Math. Comp. 48 (1987), 273–308.
- [20] K. Sabbagh, *The Riemann hypothesis: The greatest unsolved problem in mathematics*, Farrar, Straus, and Giroux, New York, 2002.
- [21] P. Sarnak, *Quantum Chaos, Symmetry, and Zeta functions, II: Zeta functions*. In R. Bott, A. Jaffe, D. Jerison, G. Lusztig, I. Singer, and S.-T. Yau, editors, *Current Developments in Mathematics*, International Press, 1997, 145–159.
- [22] M. Sautoy, *The music of the primes: Searching to solve the greatest mystery in mathematics*. HarperCollins, New York, 2003.
- [23] M. Wolf, *Wykłady z kwantowej teorii pola*, Wyd. Uniwersytetu Wrocławskiego, 1988.



Marek Wolf

Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Szkoła Nauk Ścisłych
Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego
m.wolf@uksw.edu.pl