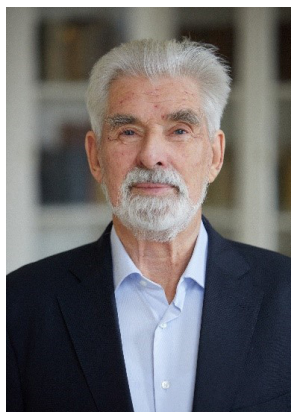


Nagroda Nobla 2021 z fizyki

Paweł Góra

Instytut Fizyki Teoretycznej UJ

Tegoroczną Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki przyznano za przełomowy wkład w zrozumienie układów złożonych. Otrzymali ją Syukuro Manabe i Klaus Hasselmann (po 1/4) za *fizyczne modelowanie klimatu Ziemi, ilościowe określanie jego zmienności i wiarygodne przewidywanie globalnego ocieplenia* oraz Giorgio Parisi (1/2) za *odkrycie wzajemnego wpływu nieporządku i fluktuacji w układach fizycznych od skali atomowej do planetarnej*. Część klimatyczna zapewne budzi większe zainteresowanie, ale ją komentowano już gdzie indziej i ja nie mam tu nic do dodania. Ale Giorgio Parisi, a, to co innego!



Fot. 1. Laureaci Nagrody Nobla 2021 z fizyki – od lewej: Syukoro Manabe (© Nobel Prize Outreach. Photo: Risdon Photography), Klaus Hasselmann (© Nobel Prize Outreach. Photo: Bernhard Ludewig), Giorgio Parisi (© Nobel Prize Outreach. Photo: Stefan Bladh)



Fot. 2. Dyplom Nagrody Nobla dla Giorgio Parisiego (Artist: Gunnel Moheim Calligrapher: Marianne Pettersson Soold Book binder: Leonard Gustafssons Bokbinderi AB Photo reproduction: Lovisa Engblom Copyright © The Nobel Foundation 2021)

Giorgio Parisi zajmuje się tak wieloma obszarami fizyki teoretycznej, że czuje się w miarę kompetentny do wypowiedzania się tylko o części z nich, zupełnie pomijając jego wkład w teorię cząstek elementarnych. Nagroda Nobla dla Giorgio Parisiego to wielka radość dla osób zaangażowanych we współczesną fizykę statystyczną.

Uważa się, że fizyka daje informację pewną: przy takich a takich warunkach stanie się to a to. Jednak w układach złożonych, obejmujących olbrzymie ilości składników, których nie sposób śledzić indywidualnie, fizyka musi ograniczyć się do przewidywania, jakie jest prawdopodobieństwo, że stanie się to a to. Trzeba bowiem uwzględniać szum, zaburzenia losowe, przypadkowe fluktuacje, czyli odchylenia od średniej, pochodzące od licznych nieobserwowalnych stopni swobody. Tradycyjnie uważało się, że zaburzenia losowe mają wyłącznie charakter destruktywny – niszczą powstające struktury, zniekształcają przekazywane sygnały. Okazuje się, że to nieprawda: w niektórych układach nieliniowych obecność szumu może prowadzić do jakościowo nowych zjawisk.

Jedna z wielkich prac Giorgio Parisiego w tym zakresie dotyczyła rezonansu stochastycznego [1]. Otóż ludzie próbowali zrozumieć, dlaczego zlodowacenia na półkuli północnej pojawiały się dość regularnie, co mniej więcej sto tysięcy lat. Okazało się, że na skutek naturalnych zjawisk astronomicznych, oś obrotu Ziemi zmienia swoje nachylenie – o niewielki kąt, ale z takim właśnie okresem, jak zlodowacenia. Jednak szczegółowe obliczenia pokazały, że nie prowadzi to do zmian nasłonecznienia Ziemi mogących wywołać zlodowacenia. Parisi i współpracownicy postanowili uwzględnić zjawiska losowe, takie jak wybuchy wulkanów, wpływające na zmianę albedo Ziemi. Udowodnili, że połączenie tych dwu zjawisk prowadzi do okresowego przerzucania klimatu Ziemi od stanu bez zlodowacenia do stanu ze zlodowaceniem. Co więcej, istnieje pewne optymalne natężenie zjawisk losowych (przypadkowych zmian albedo Ziemi), powodujące, że wpływ astronomicznego procesu okresowego (zmiana nachylenia osi Ziemi) jest najmocniej widoczny. Zjawisko to nazwano rezonansem stochastycznym. Dziś rezonans stochastyczny używany jest nie tylko do wyjaśniania zjawisk klimatycznych (oprócz epok lodowcowych, także zjawiska El Niño), lecz również do zrozumienia pewnych fundamentalnych reakcji biochemicznych, detekcji sygnałów podprogowych, a wreszcie w terapii pewnych schorzeń neurologicznych.

Inna słynna praca Parisiego [2] dotyczyła ewolucji powierzchni w obecności zaburzeń losowych. Nawet pod nieobecność zaburzeń losowych problem jest wysoce skomplikowany, opisywany przez układ nieliniowych równań różniczkowych, a autorom, dzięki zastosowaniu grupy renormalizacji, udało się znaleźć wykładniki krytyczne dla modelu stochastycznego. Ten model ma znaczenie i w mikrobiologii, można bowiem w ten sposób opisywać rozwój kolonii bakterii, i w fizyce nanomateriałów, gdzie kluczowe jest zrozumienie, jak powstają mikroskopowe powierzchnie, których chcielibyśmy użyć do budowy superczułych nano-detektorów, w opisie powstawania struktur fraktalnych, a sama klasa uniwersalności KPZ pojawia się, jak królik z kapelusza, w przeróżnych miejscach

stochastycznej teorii pola. Dzięki teorii skalowania i grupie renormalizacji wyjściowy model pozwala w spójnym języku opisać zjawiska zachodzące w wielu skalach, od rozmiarów mikroskopowych aż po astronomiczne.

Każda z tych prac z osobna przyniosła autorom wielką sławę, a Giorgio Parisi jest przecież także gigantem teorii szkieł spinowych! Szkła spinowe to pewne nieuporządkowane układy magnetyczne i, co ciekawe, są pojęciowym prekursorem sieci neuronowych, używanych dziś w uczeniu maszynowym – można więc powiedzieć, że Giorgio Parisi pośrednio wniósł wkład i do tej dyscypliny. Matematyczne modele szkieł spinowych są kluczowe w wielu działach fizyki teoretycznej. Wreszcie szkła spinowe, przez pewne podobieństwa formalne, są powiązane ze zwykłymi szklami, od których zresztą biorą nazwę, a zrozumienie natury przejścia szklistego do dziś jest dalekie od doskonałości. W największym artykule przeglądowym z tej dziedziny prace Parisiego są cytowane bodaj 50 razy.

Parisi zajmował się ponadto teorią obliczeń Monte Carlo, analizą i modelowaniem ruchu stad ptaków, a ostatnio analizowaniem przebiegu epidemii COVID-19 [3].

- [1] Stochastic Resonance in Climatic Change, R Benzi, G Parisi, A Sutera, A Vulpiani, *Tellus* 34, 10, 1982.
- [2] Dynamic scaling of growing interfaces, M Kardar, G Parisi, YC Zhang, *Physical Review Letters* 56, 889, 1986.
- [3] https://indico.cern.ch/event/913235/attachments/2030264/3397673/Giorgio_Parisi_final.pdf.