Scripta Neophilologica Posnaniensia. Tom XII, strony: 39–46
Wydział Neofilologii, UAM, Poznań 2012

PIĘKNO SYMETRII I PIĘKNO STRUKTUR FUNKCJONALNYCH

ZBIGNIEW JACYNA-ONYSZKIEWICZ

1. Piękno symetrii

Piękno stanowi zasadnicza kategorię szeroko rozumianej kultury. Nie może ono być zredukowane tylko do kategorii sztuki. Piękno, wąsko rozumiane, to właściwość elementów rzeczywistości i ludzkich wytworów, w tym sztuki, budząca subiektywne uczucia przyjemności czy zachwytu.

Tak rozumiane piękno często odczuwane jest z powodu istnienia symetrii. Symetria to właściwość obiektu materialnego lub obiektu matematycznego polegająca na istnieniu zbioru transformacji (przekształceń) niebędących identycznością, które odwzorowują dany obiekt na niego samego. Zbiór takich transformacji matematycy nazywają grupą symetrii. Zatem, matematycznym opisem i badaniem symetrii zajmuje się specjalny dział matematyki zwany teorią grup[1].

Przyjrzyjmy się dwóm prostym przykładom układów symetrycznych, wziętych z bardzo wąskiej klasy symetrii geometrycznych.

Przykład 1. Obrócenie okręgu wokół jego osi o dowolny kąt pozostawia okrąg niezmieniony i jest wobec tego symetrią. Ponieważ obracanie okręgu o każdy dowolny kąt jest transformacją symetrii, okrąg ma nieskończoną grupę symetrii rotacyjnych (obrotowych).

Przykład 2. Linia prosta posiada najprostszy rodzaj symetrii zwany symetrią przesunięcia lub symetrią translacyjną. Jeśli weźmiemy linię prostą i przesuniemy ją o pewien odcinek wzdłuż jej długości, to linia ta nie zmieni się. Poszcze-

---

[1] Q. Ho-Kin, N. Kumar, C.S. Lam, *Zaproszenie do fizyki współczesnej*, przeł. Chi-Sing Lam, N. Kumar, Stowarzyszenie Symetria i Własności Strukturalne, Poznań 1995, s. 111–160.

gólne punkty tej linii istotnie przesuną się w przestrzeni, lecz sama linia pozostanie taka sama jak przedtem. Tak więc, przesunięcie linii prostej o pewien odcinek wzdłuż jej długości jest transformacją symetrii tej linii. Ponieważ linia może być przesunięta o dowolny odcinek, to linia ta ma nieskończoną grupę symetrii translacyjnej.

Symetria nie zawsze jest widoczna w tak oczywisty sposób jak w powyższych dwóch prostych przykładach. W ogólności, wykrycie określonej symetrii wymaga wykonania pewnych operacji matematycznych.

Na przykładzie wybranego przedmiotu powszechnie uznanego za bardzo piękny, przedstawmy bardzo ważną, lecz rzadko zauważaną i dyskutowaną cechę świata fizycznego. Zajmiemy się mianowicie brylantem. Jak wiadomo, brylant to piękny, odpowiednio oszlifowany kryształ diamentu, jednej z alotropowych odmian węgla. Podstawą szlifu brylantowego jest ośmiościan – najczęstsza forma krystalicznej postaci diamentu. Taka forma diamentu wynika ze wzoru, w który układają się atomy węgla wewnątrz kryształu. Taki wzór nazywa się siecią krystaliczną. W naturze spotykamy wiele rodzajów sieci krystalicznych. Każdy rodzaj sieci krystalicznej posiada specyficzną grupę symetrii[2]. Wyspecjalizowana gałąź matematyki zajmuje się badaniem krystalograficznych grup symetrii. Idealna sieć krystaliczna diamentu posiada 48 transformacji symetrii. Zbiór tych transformacji nazywany jest przez matematyków grupą heksaoktahedralną i oznaczany jest symbolem O_h.

Możliwość powstania symetrycznej sieci diamentu wynika z faktu, że:
- wszystkie atomy węgla są identyczne
- pole elektromagnetyczne rządzące oddziaływaniami pomiędzy atomami węgla ma symetrię rotacyjną (sferyczną)
- przestrzeń, w której umieszczone są atomy węgla tworzące diament, jest izotropowa (ma tę samą właściwość w każdym kierunku) i jednorodna (ma te same właściwości w każdym punkcie).

Zatem, u podstaw 48 transformacji symetrii idealnej sieci krystalograficznej diamentu leży ogromna liczba transformacji permutacyjnych (przestawiających kolejno atomy węgla) oraz nieskończona liczba rotacyjnych transformacji symetrii: oddziaływań elektromagnetycznych i przestrzeni.

Można powiedzieć, że w idealnej i pięknej strukturze diamentu zawiera się tylko niewielka część transformacji symetrii występującej na poziomie atomowym. Na tym nie koniec. Powstaje bowiem pytanie: dlaczego wszystkie atomy węgla są identyczne?

Wszystkie atomy węgla są dokładnie takie same, ponieważ są zbudowane z identycznych elektronów i kwarków. Elektrony są identyczne, bo są wzbudze-

[2] H. Ibach, H.Lüth, *Fizyka ciała stałego*, przeł. A. Babiński, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1996, s. 33–49.

niami elementarnymi kwantowego pola Diraca, identycznego w każdym punkcie przestrzeni, sprzężonego z kwantowym polem elektromagnetycznym. Sprzężenie elektromagnetyczne jest generowane przez symetrię pola Diraca względem tzw. lokalnej transformacji cechowania.

Wyjaśnijmy to nieco dokładniej. Swobodne pole Diraca jest symetryczne (niezmiennicze) względem globalnej transformacji cechowania (takiej samej w każdym punkcie przestrzeni). Nie jest natomiast symetryczne względem lokalnej transformacji cechowania (zmieniającej się od punktu do punktu przestrzeni). Symetria zostaje przywrócona, gdy pole Diraca sprzęga się z polem kompensującym, którym jest polem elektromagnetyczne. Podobnie tłumaczy się identyczność kwarków, opisywanych przez teorię pola nazywaną chromodynamiką kwantową. Stąd wypływają dwa ważne wnioski:

Wniosek 1. Źródłem piękna brylantu jest symetria diamentu. Symetria diamentu wynika z większej ilości symetrii na poziomie atomowym. Te z kolei symetrie wynikają z jeszcze bardziej wyrafinowanej symetrii na poziomie subatomowym (na poziomie pól kwantowych).

Powyższy przykład stanowi dobrą ilustrację ogólnej właściwości świata fizycznego, którą można sformułować jako:

Wniosek 2. Symetrie i prawa fizyki wykryte na jednym poziomie są przejawem większej ilości symetrii i ogólniejszych praw fizyki ukrytych na głębszych poziomach.

Inaczej mówiąc, porządek na danym poziomie jest pokłosiem większego porządku na głębszym poziomie organizacji materii. Dotychczasowa historia fizyki pokazuje, że jednym z podstawowych wyznaczników rozwoju fizyki jest znajdowanie coraz bogatszych symetrii tkwiących w materii, a zatem, coraz większego piękna ukrytego w równaniach opisujących materię na coraz głębszych poziomach rzeczywistości. Obecnie potrafimy penetrować doświadczalnie materię do odległości bilion razy mniejszych, niż te, które potrafimy dostrzec gołym okiem. Na tych właśnie niezmiernie małych odległościach odkryto bardzo bogate symetrie[3].

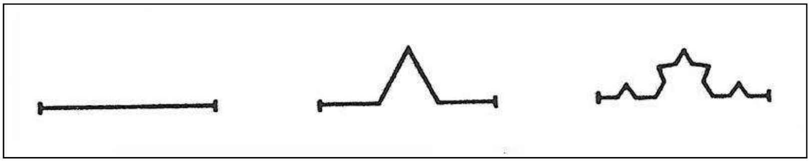
2. Piękno symetrii samopodobieństwa – fraktale

Specyficznym rodzajem symetrii jest symetria samopodobieństwa. Symetria samopodobieństwa figur polega na zastąpieniu danej figury nową figurą, zbudowaną z pomniejszonych kopii figury wyjściowej. Taką transformację powta-

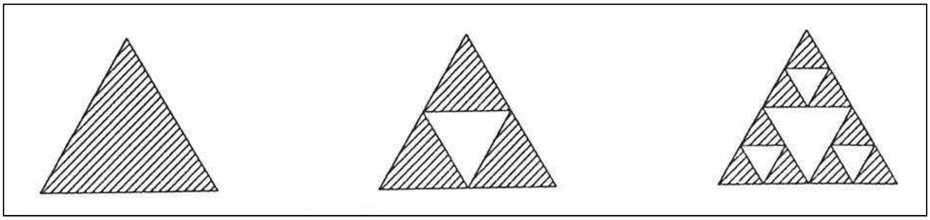
[3] Z. Jacyna-Onyszkiewicz, *Piętnaście wykładów z kwantowej teorii pola*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 2009, s. 97–113; B. Greene, *Piękno wszechświata*, przeł. E.L. Łokas, B. Bieniok, Prószyński i S-ka, Warszawa 2001.

rza się teoretycznie w nieskończoność, uzyskując nowe figury geometryczne zwane fraktalami[4]. Najprostsze rodzaje transformacji samopodobieństwa figur geometrycznych przedstawione zostały na rysunkach 1–3[5].

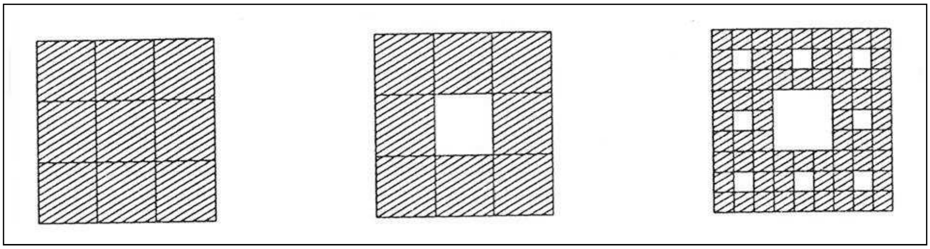
Przykłady generowania prostych fraktali:



Rys. 1. Krzywa Kocha



Rys. 2. Trójkąt Sierpińskiego



Rys. 3. Dywan Sierpińskiego

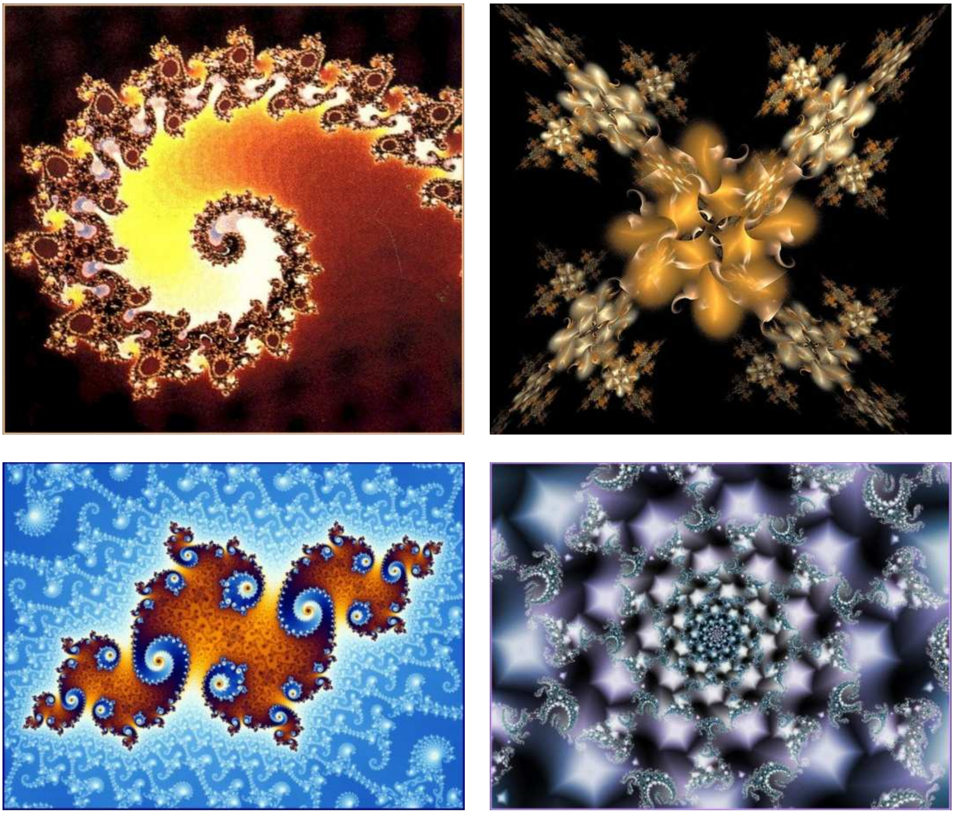
Fraktal (łac. fractus ‘złamany, cząstkowy’) oznacza po prostu obiekt samopodobny, którego części są podobne do całości. Fraktal ma względnie prostą matematyczną definicję rekurencyjną, dlatego posiada symetrię samopodobieństwa w dowolnej skali. Pojęcie fraktala zostało wprowadzone do matematyki

[4] J. Kudrewicz, *Fraktale i chaos*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2007.

[5] Rysunki zostały zaczerpnięte z pozycji: I.N. Bronsztejn, K.A. Siemiendiajew, G. Musiol, H. Mühlig, *Nowoczesne kompendium matematyki*, przeł. A. Szczech, M. Gorzecki, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007, s. 898.

w latach siedemdziesiątych XX wieku przez francuskiego informatyka i matematyka Benoita Maldebrota (1924–2010), urodzonego w Warszawie w rodzinie żydowskiej pochodzącej z Litwy. Struktury fraktalne tworzą nowy typ geometrii, nie mieszczącej się w ramach tradycyjnej geometrii euklidesowej. Przy pomocy geometrii fraktalnej można opisać takie realne obiekty jak płatki śniegu, liść paproci, konary drzew, brzeg morski, dendryty itp.

Geometria fraktalna znalazła swoje zastosowanie w urządzeniach technicznych powszechnego użytku, jakimi są niewątpliwie telefony komórkowe. W telefonach komórkowych, ze względu na ich małe rozmiary, stosuje się bowiem mikropaskowe anteny fraktalne, zajmujące mało miejsca. Kształt anteny fraktalnej oparty jest na geometrii fraktalnej. Dzięki temu, że skomplikowane krzywe fraktalne wypełniające przestrzeń, powodują wydłużenie drogi prądów elektrycznych w mikropaskach, antena fraktalna, mimo małych wymiarów, ma właściwości techniczne takie jak o wiele większe anteny o tradycyjnej konstrukcji. Dodatkową i istotną zaletą anten fraktalnych jest ich szerokopasmowość.



Rys. 4. Przykłady pięknych fraktali (zdjęcia z internetu)

Dla nas istotny jest fakt, że wykorzystując technikę grafiki komputerowej można, dzięki prostym matematycznym wzorom rekurencyjnym, na ekranach monitorów generować bardzo piękne struktury fraktalne. Przykłady pięknych fraktali przedstawiono na rys. 4.

3. Piękno struktur funkcjonalnych

Konstruując urządzenia techniczne często nie kierujemy się kryterium piękna, lecz tylko ich przydatnością do pełnienia potrzebnych nam funkcji. Niejednokrotnie okazuje się, że te stworzone wyłącznie dla celów praktycznych struktury funkcyjne, jakby mimochodem, są bardzo piękne. Piękno to jest pochodną głębokich symetrii praw przyrody. Fakt ten zilustrujemy na przykładzie piękna wygenerowanego przez prawa aerodynamiki, działu fizyki technicznej badającego przepływy gazów i sił występujące podczas ruchu ciał stałych w powietrzu. Prawa aerodynamiki są natomiast pochodną praw mechaniki i termodynamiki ośrodków ciągłych.

Niewątpliwie bardzo piękną strukturą funkcjonalną jest wyczynowy szybowiec (rys. 5), czyli statek powietrzny cięższy od powietrza (aerodyna) i nieposiadający własnego napędu. Taki szybowiec zaprojektowany jest głównie w celu posiadania jak najmniejszej prędkości opadania w możliwie szerokim przedziale prędkości (do około 250 km na godzinę). Dlatego posiada wysmukły kadłub o bardzo gładkiej i białej powierzchni oraz bardzo długie i wysmukłe (o dużym wydłużeniu) skrzydła wykonane z kompozytu węglowego, zakończone rozpraszaczami wirów, w celu zmniejszenia oporu powietrza. Dzięki temu szybowiec wyczynowy umożliwia przelot, w spokojnym powietrzu, z wysokości jednego kilometra na odległość ponad 50 kilometrów (najlepszy na świecie niemiecki szybowiec ASW 22 – aż 62 km). Piękny kształt wyczynowego szybowca wynika więc z funkcji, jakie ma spełniać oraz z praw aerodynamiki.

Rys. 5. Wyczynowy dwuosobowy szybowiec w locie – przykład pięknej struktury funkcjonalnej (zdjęcie z internetu)

Zupełnie inaczej wygląda szybowiec budowany obecnie przez NASA, który ma za zadanie bezpieczne sprowadzenie na Ziemię czterech astronautów z głębokiej przestrzeni kosmicznej, na przykład z okolic Księżyca czy Marsa. Szybowiec ten, czyli aerodyna bez własnego napędu (posiada on tylko rakietowe silniki sterujące, umożliwiające odpowiednie jego ustawienie w stosunku do kierunku ruchu), po wtargnięciu do atmosfery ziemskiej, na wysokości około 120 km, z prędkością bliską drugiej prędkości kosmicznej, czyli w granicach 40 000 km/h, przez kilka tysięcy kilometrów będzie szybować w atmosferze, stopniowo obniżając swoją wysokość i prędkość, by w końcu wodować przy pomocy spadochronów w oceanie. Takie długie szybowanie w atmosferze ziemskiej jest konieczne. W przeciwnym przypadku bowiem astronauci doznawaliby przyspieszeń nie do zniesienia przez ich organizmy. W celu spełnienia tak skrajnej i złożonej funkcji szybowiec ten, będący lądownikiem statku kosmicznego noszącego nazwę MPCV (ang. Multi Purpose Crew Vehicle ‘wielozadaniowy pojazd załogowy’), ma kształt kapsuły w formie ściętego stożka o wysokości 3,3 m oraz sferycznej podstawie o średnicy 5,0 m. Kąt rozwarcia tego stożka wynosi 60 stopni, a jego środek masy, w celu nadania mu możliwości szybowania przy dużych prędkościach, nie pokrywa się z jego środkiem symetrii. Kształt lądownika MPCV wynika z praw aerodynamiki obowiązujących przy prędkościach hipersonicznych (wielokrotnie przewyższających prędkość dźwięku w powietrzu.

Powracając z głębokiej przestrzeni kosmicznej lądownik ten uderza w atmosferę ziemską sferyczną podstawą stożka, która nagrzewa się przez tarcie powietrza do około 2800 stopni Celsjusza. Fazę wejścia w atmosferę można

Rys. 6. Lądownik pojazdu załogowego szybujący w atmosferze z prędkością hipersoniczną (obraz pochodzi z pozycji reklamowej firmy North American Rockwell Corporation)

więc porównać do szesnastominutowego przebywania lądownika MPCV w piecu hutniczym, a wtedy sam statek kosmiczny przypomina pędzącą kulę ognistą czy bolid (rys. 6). Astronauci chronieni są przed tak wysoką temperaturą przez główną osłonę termiczną znajdującą się u podstawy stożka. Osłona ta wykonana jest z materiału ablacyjnego o nazwie avcoat, który topiąc się odbiera ciepło z pojazdu. Cały pojazd, w celu ochrony załogi przed wysoką temperaturą, ma budowę podobną do zwykłego termosu.

Omówione dwa rodzaje szybowców to dwa przykłady struktur funkcjonalnych, których swoiste piękno wynika z praw aerodynamiki. Ich piękne kształty są jednak zdecydowanie różne, ponieważ zaprojektowane są do funkcjonowania w skrajnie różnych zakresach prędkości oraz przeznaczone są do zupełnie różnych zadań. Przytoczone przykłady pokazują, że piękno ukryte w prawach fizyki przejawia się także w funkcjonalnych strukturach wytwarzanych przez ludzkość. Piękno funkcjonalnych struktur występuje oczywiście w materii ożywionej i to w ogromnej obfitości.