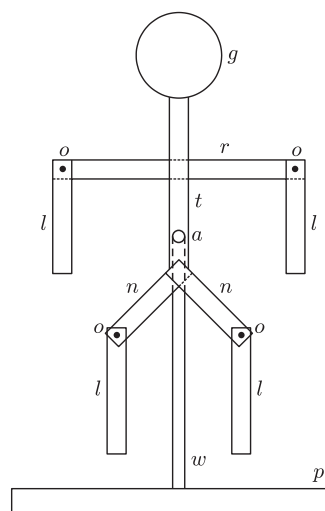


Rys. 1. Wahadło Toda; k , r , l – kawałki listewki, a , o – gwoździki, w – wspornik, p – podstawa.



Rys. 2. Wahadło chaotyczne w kształcie pajacyka; r , t , n , l – kawałki listewki, g – krążek, a , o – gwoździki, w – wspornik, p – podstawa.



Fot. 1. Wahadło chaotyczne w kształcie pajacyka w akcji.

Badamy ruch wahadeł chaotycznych

Stanisław BEDNAREK

Wyobraźmy sobie kawałek listewki zamocowany na poziomej osi, przechodzącej powyżej jej środka masy i odchylony od pionu. Nietrudno jest przewidzieć, co będzie się działo, gdy taką listewkę puścimy swobodnie. Będzie ona wykonywała wahania wokół położenia równowagi. Amplituda tych wahań będzie systematycznie malała aż do momentu, w którym wahania całkowicie zanikną. Krótko mówiąc, listewka taka stanowi wahadło fizyczne. Jego ruch jest całkowicie przewidywalny – wahania będą wykładniczo zanikać.

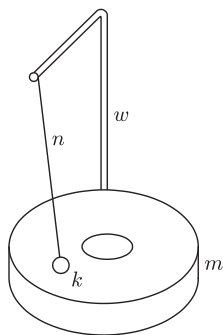
Spróbujmy teraz przewidzieć, jakie wahania będzie wykonywał układ złożony z czterech kawałków listewek przedstawiony na rysunku 1. Układ ten nazywany jest wahadłem Toda. Dwa kawałki listewek – pionowy k oraz poziomy r – połączone są sztywno i tworzą kształtkę w postaci litery T, która może obracać się na poziomej osi a . Na końcach poziomej listewki r znajdują się osie o , a na nich mogą się obracać dwa pionowe kawałki listewki l . Całość zamocowana jest na wsporniku w osadzonym w podstawie p .

W fizyce decydującym sprawdzianem przewidywań jest eksperyment, dlatego wykorzystajmy go w celu weryfikacji naszych przypuszczeń. Warto to zrobić, tym bardziej że wahadło Toda nietrudno jest zbudować samodzielnie z powszechnie dostępnych materiałów. Potrzebne nam będą dwa kawałki listewki k , r o grubości 1 cm, szerokości 3 cm i długości 15 cm oraz dwa kawałki l o długości 10 cm. Kawałek listewki lub pręta w o średnicy około 2 cm i długości 25 cm będzie spełniał rolę wspornika, a kwadratowa płytką p o boku około 15 cm posłuży za podstawkę.

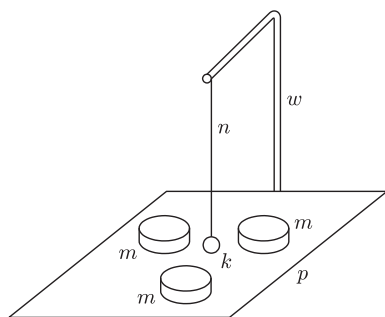
Listewki k , r o długości 15 cm łączymy gwoździkami, tak żeby utworzyły kształtkę w postaci litery T. W końce poziomych ramion tej litery wbijamy niewielkie gwoździki o , przeznaczone na osie obrotu listewek l o długości 10 cm. W końcach tych listewek wiercimy otworki o średnicy większej od średnicy gwoździków, takie żeby listewki mogły się na nich swobodnie wahać. Pręt w i płytkę p łączymy, tworząc wspornik z podstawą. We wspornik wbijamy gwoździk a służący jako oś całego wahadła, a w pionowym odcinku kształtki T wiercimy odpowiedni otworek.

W ten sposób zbudowaliśmy wahadło Toda, które na różne sposoby będziemy wprawiali w ruch. Na początek odchylny poziome ramię r i puścimy wahadło swobodnie. Obserwujemy, jakie ruchy wykonuje wahadło. Jak zachowują się listewki l ? Ponownie odchylny poziome ramię o taki sam kąt, jak poprzednio, i obserwujemy ruch wahadła. Czy wahadło wykonuje takie same ruchy? Okazuje się, że wahadło nieoczekiwanie zmienia swój ruch. Dla przykładu, w pewnym momencie listewka l wykonuje pełny obrót lub obraca się całe wahadło. Ruchy wahadła odchylonego dwukrotnie o taki sam kąt nie są powtarzalne. Ruchy te wykazują cechy chaosu, którym rządzą jednak pewne prawa, np. można obliczyć prawdopodobieństwo wykonania określonego ruchu, dlatego chaos ten nazywa się chaosem deterministycznym. Jego przyczyną jest wielość stopni swobody, czyli niezależnych ruchów, które mogą wykonywać poszczególne części wahadła.

Osobom mającym nieco więcej cierpliwości można zaproponować zbudowanie wahadła chaotycznego w kształcie pajacyka (rys. 2). Figurka pajacyka została wykonana z czterech kawałków listewki r , t , n o szerokości 3 cm i grubości 1 cm, połączonych na stałe gwoździkami. Orientacyjna wysokość figurki wynosi 15–25 cm. Głowę g stanowi krążek ze sklejki lub tektury o średnicy 4–5 cm. Na końcach ramion i nóg tej figurki wbite są gwoździki o , wokół których mogą obracać się cztery kawałki listewki l o długości około 10 cm. Również cała figurka może obracać się wokół gwoździka a , wbitego we wspornik w , przymocowany do podstawy p . Gotowe wahadło chaotyczne w postaci pajacyka przedstawia fotografia 1. Także ten pajacyk wychylony z położenia równowagi wykonuje wahania mające cechy chaosu deterministycznego, spowodowane wielością stopni swobody.



Rys. 3. Wahadło Van der Pola;
 m – magnes pierścieniowy, w – wspornik,
 n – nitka, k – kulka lub nakrętka stalowa.



Rys. 4. Inna wersja wahadła
 Van der Pola; m – magnes krążkowy,
 w – wspornik, n – nitka, k – stalowa
 kulka lub nakrętka, p – podstawa.

Dla Czytelników, którzy nie lubią prac w drewnie, przeznaczona jest propozycja wahadła Van der Pola, składającego się ze stalowej kulki lub nakrętki zawieszonych nad magnesem (rys. 3). W celu zbudowania tego wahadła wystarczy niewielka kulka stalowa z otworem lub nakrętka, pierścieniowy magnes ferrytowy o średnicy 5–6 cm lub większej, wymontowany np. z uszkodzonego głośnika, kawałek nitki, drut aluminiowy o grubości 2–4 mm i taśma klejąca. Drut aluminiowy dwukrotnie zaginamy pod kątem prostym, tworząc wspornik i za pomocą taśmy klejącej mocujemy go do magnesu. Nitkę przewlekamy przez otwór w kulce lub nakrętce i zawiązujemy. Drugi koniec nitki przywiązujemy do wspornika, tak żeby kulka mogła poruszać się na wysokości kilku milimetrów nad magnesem.

Spróbujmy teraz przewidzieć ruch kulki, wychylonej z położenia równowagi i puszczanej swobodnie nad magnesem. Mogłoby się wydawać, że kulka będzie poruszała się wzdłuż prostoliniowego odcinka tam i z powrotem z malejącym wychyleniem, podobnie jak kulka wahadła matematycznego. Okazuje się jednak, że takie przewidywania są całkowicie błędne, ponieważ kulka porusza się po skomplikowanej linii krzywej, niespodziewanie zmieniając swój kierunek ruchu i prędkość. Jeżeli dwukrotnie puścimy kulkę z tego samego wychylenia, to okaże się, że tory ruchu będą za każdym razem inne. Wynika stąd, że ruch stalowej kulki nad magnesem wykazuje cechy chaosu deterministycznego. Chaos ten spowodowany jest nieliniową zależnością siły oddziaływania magnetycznego od odległości między kulką i magnesem.

Jeżeli nie mamy magnesu w kształcie pierścienia, to również możemy zbudować wahadło magnetyczne. Wystarczy 3–4 magnesy krążkowe o średnicy około 1,5 cm, używane do przytrzymywania kartek na tablicy magnetycznej lub lodówce, albo prostokątne magnesy stosowane w zatrzaskach meblowych. Magnesy takie przyklejamy w różnych położeniach do drewnianej podstawki, nad którą będzie się poruszała stalowa kulka lub nakrętka (rys. 4).

Na zakończenie warto jeszcze zwrócić uwagę na pewną interesującą prawidłowość. Obserwując ruch kulki, zauważamy, że wraz z upływem czasu jej wychylenia stają się coraz mniejsze, przy czym w końcowym etapie odbywają się one w pobliżu pewnego łuku lub odcinka. Ten graniczny łuk lub odcinek, do którego dąży ruch kulki, nazywa się w teorii chaosu deterministycznego atraktorem.

motywy Logo

Język natury i architektury

Andrzej WALAT

Popularna książka Vratko Šrobára *Przygoda matematyczna* zaczyna się od zdania: *Wielki Galileusz napisał w jednej ze swoich rozpraw te pamiętne słowa: Przyroda mówi językiem matematyki: literami tego języka są koła, trójkąty i inne figury geometryczne.*

Autorzy dwutomowego dzieła *Granice chaosu. Fraktale* – Peitgen, Jürgens i Saupe (1995) już myśleli inaczej: *Elementami tradycyjnego języka – geometrii euklidesowej są podstawowe, dobrze znane figury takie jak proste, okręgi i sfery. Natomiast elementów naszego nowego języka nie można bezpośrednio obserwować. Są nimi algorytmy, które mogą być przekształcane na kształty i struktury jedynie przy użyciu komputerów. Co więcej, zasób tych algorytmicznych elementów jest niewyczerpalnie wielki. Mogą wyposażać nas one w opisowe narzędzia o ogromnych możliwościach. Kiedy opanujemy już ten nowy język, będziemy mogli opisać kształt chmury z taką łatwością i tak dokładnie, jak architekt potrafi opisać budynek w języku tradycyjnej geometrii.*

Krótko mówiąc, zdaniem Peitgena, Jürgensa oraz Saupego: **językiem natury jest geometria fraktalna – tradycyjna geometria jest językiem architekta.**

A co na ten temat sądzą architekci? Zajrzyjmy do elementarnej przewodnika po historii architektury Jeremy'ego Melvina (2006) będącego zbiorem krótkich opisów różnych kierunków. Każdy opis składa się z wprowadzenia, kilku nazwisk głównych twórców, zwięzłej definicji i słów kluczowych charakterystycznych dla danego „izmu”. Słowa kluczowe dla **metaracjonalizmu** to: **IT** (*Information*