

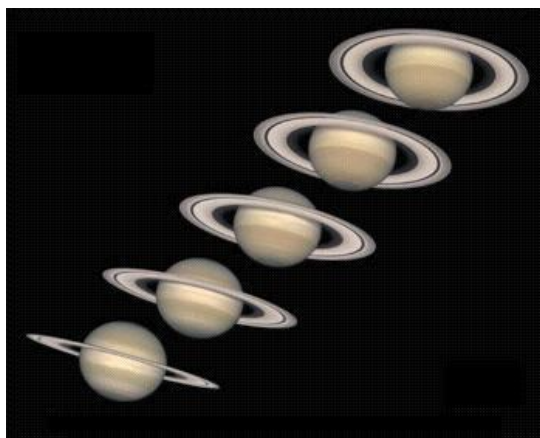


## Sześciokąt na biegunie Saturna

*Andrzej Odrzywołek*

*Instytut Fizyki UJ*

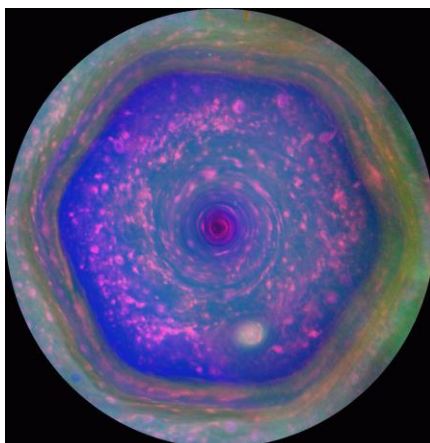
Trasę przelotu słynnych sond Voyager 1 i 2 zaplanowano tak, aby szczegółowo zbadać rejon równika Saturna oraz jego spektakularne pierścienie. Nie jest więc wielkim zaskoczeniem, że dopiero 8 lat później, w 1988 roku, udało się przeanalizować i opublikować dane zebrane w rejonie biegunowym. Po zastosowaniu projekcji korygującej zniekształcenie obrazu, okazało się, że chmury na **biegunie północnym** wyglądają jak... sześciokąt [1]. Regularny, geometryczny kształt na „powierzchni” planety, nie kojarzy się z procesami naturalnymi. W przypadku gazowych gigantów wydaje się to wręcz niemożliwe. Można zrozumieć sceptycyzm badaczy, którzy przez kolejne 8 lat kompletnie zignorowali pracę na ten temat. Najpotężniejsze teleskopy, w tym Kosmiczny Teleskop Hubble’a, były w rozwiązaniu zagadki bezużyteczne w latach 1996–2010, gdyż na północnym biegunie Saturna trwała wieloletnia zima i można było obserwować wyłącznie biegun przeciwległy (patrz fot. 1). Chmury nad biegunem południowym wyglądają zwyczajnie, a symetria obracającej się gazowej elipsoidy wydaje się sugerować, że oba rejonby polarne powinny zachowywać się identycznie.



Fot. 1. Widok pierścieni Saturna w poszczególnych latach (źródło: NASA)

W 1997 roku wystartowała sonda Cassini-Huyghens, której głównym celem było zbadanie Saturna i jego księżycy Tytana. To ostatnia tak spektakularna i zaplanowana z rozmachem misja międzyplanetarna [2]. W 2004 roku sonda

weszła na orbitę, a rok później wysłany z niej lądownik opadł na powierzchnię Tytana. Sonda Cassini kontynuuje badania do dziś. Dzięki nim, obecnie nie ma żadnych wątpliwości co do istnienia sześciokąta (fot. 2).



Fot. 2. Saturniański heksagon (źródło: NASA)

Sześciokąt jest stabilny, istnieje od przynajmniej 30 lat (pełny rok saturniański to 29,4 lat). Odporny jest również na zmiany pór roku, co oznacza, że promieniowanie słoneczne nie ma z nim bezpośredniego związku [3]. Jego okres obrotu wydaje się równy okresowi obrotu rdzenia planety, aczkolwiek pomiary tego ostatniego są trudne i niedokładne [4]. Sześciokąt to struktura głęboka, sięgająca obszarów o ciśnieniu przynajmniej od 2 do 4 atmosfer. Jego bok mierzy 13 800 km, czyli nieco więcej niż średnica Ziemi. Dane Voyagera pokazywały istnienie przynajmniej jednego wiru po zewnętrznej stronie boku sześciokąta [1]. Sugerowano, że każdy bok posiada powiązany wir, ale współczesne obserwacje nie potwierdzają ich stałej obecności [3]. Heksagon pojawia się na szerokości planetograficznej około  $75^\circ$ . W centrum znajduje się cyklon (wir) o promieniu około  $3^\circ$  z prędkością wiatru rzędu 135 m/s. Podobną wartość i zwrot ma wiatr w rejonie sześciokąta, podczas gdy w oku cyklonu i wewnątrz jest znacznie spokojniej. Prędkość wiatru zależy od wysokości, ale dokładna pionowa struktura nie została zbadana. Sam sześciokąt tworzą dwie linie chmur oddzielone pustym pasem o szerokości około  $3^\circ$ .

Porównanie obszaru bieguna północnego i południowego wykazuje daleko idące podobieństwa geometryczne i fizyczne. Nieliczne różnice są jednak bardzo rzucające się w oczy. I tak, oko cyklonu południowego jest czyste od chmur, tak jak w przypadku ziemskich huraganów. Północne oko jest zasłonięte. Wnętrze sześciokąta, którego nie ma na biegunie południowym, jest pełne punktowych chmur, będących analogiem naszych chmur burzowych typu cumulonimbus.

Powstało sporo teorii wyjaśniających istnienie sześciokąta. Jego odkrywca sądził, że ma on związek z polem magnetycznym planety. Inna hipoteza mówi, że jest to komórka konwekcyjna, która dosyć często przyjmuje heksagonalny kształt<sup>1</sup>. Najprostsze jest założenie o istnieniu na zewnątrz heksagonu stałego „wiru”, podobnego do Wielkiej Czerwonej Plamy na Jowiszu, który okresowo zaburza normalny, pasmowy układ chmur, z częstością sześciokrotnie mniejszą niż okres obrotu [5]. Obecnie uważa się, że wir to raczej uboczny efekt istnienia heksagonu niż przyczyna jego powstania. Na ostatnich zdjęciach takich wirów nie znaleziono. Sporym zaskoczeniem było odtworzenie wielokątnych struktur w bardzo prostych eksperymentach [6], wychodzących niewiele dalej niż obracające się wiadro z wodą. Powstawanie sześciokątnych (wielokątnych) stacjonarnych struktur zaobserwowano także w bardziej realistycznych badaniach teoretycznych i eksperymentalnych nad niestabilnością nieciągłości kontaktowej na granicy strumieni gazu o różnych prędkościach, w tym o przeciwnym zwrocie [4].

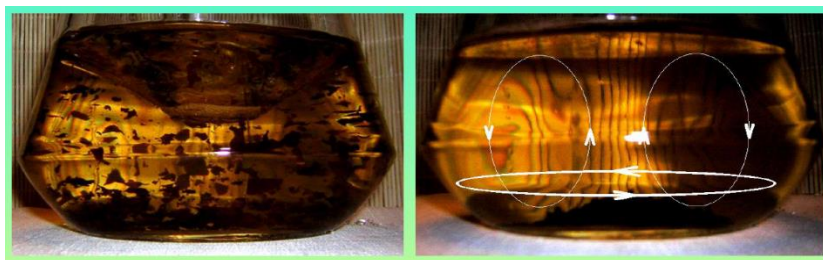
Przy okazji omawiania saturniańskiego heksagonu, trudno nie wspomnieć o napomkniętej wyżej serii interesujących prac nad ruchem płynu w cylindrycznych naczyniach. Już Newton posłużył się przykładem obracającego się wiadra z wodą w celu uzasadnienia istnienia wyróżnionych, z punktu widzenia obrotów, układów odniesienia. Jeżeli ciecz obraca się razem z wiadrem, to powierzchnia cieczy przyjmuje kształt paraboloidy obrotowej. Fakt ten wykorzystano w konstrukcji zwierciadeł teleskopów z płynnej rtęci. Jest to przykład tzw. rotacji sztywnej, gdyż płyn porusza się tak jak ciało stałe. W każdym innym przypadku, a jest ich w przyrodzie zdecydowana większość, mamy do czynienia z przepływami wirowymi. Dotyczy to zarówno mieszania herbaty w szklance, trąb powietrznych i huraganów na Ziemi jak i polarnego wiru na planetach Wenus czy Saturn. To, co rzuca się natychmiast w oczy, to lejkowata powierzchnia swobodna, często z dziurą w środku. To, czego na ogół nie widać gołym okiem, a wynika z równań ruchu płynu (równań Eulera), to cyrkulacja południkowa. Jest to przepływ, dla którego wektor prędkości mieści się w płaszczyźnie przechodzącej przez oś obrotu. Powoduje on m.in. zbieranie się cukru w mieszanej szklance herbaty w jej środku, wbrew intuicji (fot. 3). To ten sam przepływ, który powoduje, że tornado „zasysa” przedmioty w górę, a wir wodny w głąb rzeki. Przepływ bez cyrkulacji południkowej jest niemożliwy, gdy prędkość kątowa cieczy nie jest taka sama w całej objętości.

W każdym przypadku, powierzchnia swobodna i przepływ pozostają osiosymetryczne. Nawet gdy dochodzi do spontanicznego złamania symetrii, co jest możliwe przy dużych prędkościach obrotowych, spodziewamy się co naj-

---

<sup>1</sup> Być może ktoś zauważył sześciokątne wzory na dnie garnka przypalonego mleka – to właśnie utrwalone komórki konwekcyjne.

wyżej wydłużonych, elipsoidalnych deformacji lub zupełnie niestacjonarnego przepływu. Taka opinia istniała w fizyce przez dziesiątki lat.



Fot. 3. Cyrkulacja południkowa w obracającej się cieczy (źródło: autor)

Pogląd ten obaliły prace duńskich fizyków [6]. Podobne eksperymenty wykonał wcześniej G. Vatistas [7], ale jego wyniki zignorowano. Okazało się, że w pewnych sytuacjach powierzchnia swobodna rotującej cieczy przyjmuje kształt... **wielokąta foremnego!** Warto opisać ten niezwykle prosty eksperyment [6]. Otóż, na dnie cylindrycznego naczynia o promieniu kilkunastu centymetrów znajdowała się płyta w kształcie koła, której prędkość kątową precyzyjnie regulowano. Dla niewielkich okresów obrotu dna, poniżej 1 s, powierzchnia swobodna cieczy (wody lub glikolu etylenowego) była, zgodnie z oczekiwaniami, osiowosymetryczna. Już dla częstości powyżej 2 Hz środkowa część dna staje się wolna od płynu, a granica suchego obszaru zaczyna przyjmować zaskakujące kształty. Początkowo widoczna elipsa w miarę wzrostu prędkości kątowej staje się trójkątem równobocznym, następnie kwadratem, pięciokątem, a wreszcie sześciokątem foremnym. Dzieje się tak przy obrotach o częstości około 5 Hz [6]. Wielokąt obraca się z prędkością mniejszą niż rotor. Filmy i fotografie pokazujące niestabilność są nadal dostępne [8, 9].

Niektórzy naukowcy bagatelizują znaczenie odkrycia sześciokąta na Saturnie. Pojawiły się nawet niewybredne rysunkowe dowcipy na jego temat, których wyszukanie w Internecie pozostawiam czytelnikom. Odkrycie tego rodzaju przepływów, a także odtworzenie ich w prostych, szkolnych wręcz eksperymentach laboratoryjnych uważam jednak za ważne i ciekawe. Pokazuje to, że założenia, które wydają się oczywiste, nie zawsze są prawdziwe. Proste, geometryczne wzory pojawiają się w rotujących płynach [10]. Fizyka nie przestaje nas zaskakiwać i, jak widać na tym przykładzie, niekoniecznie musi to być związane z teorią kwantową lub relatywistyczną, egzotyczną materią czy ultranowoczesną aparaturą.

**Referencje**

- [1] D.A. Godfrey, *A hexagonal feature around Saturn's north pole*, *Icarus* **76**, 1988, 335–356; [http://dx.doi.org/10.1016/0019-1035\(88\)90075-9](http://dx.doi.org/10.1016/0019-1035(88)90075-9)
- [2] A. Odrzywółek, *Astronomia i astrofizyka na orbicie*, Prace Komisji Astrofizyki PAU (ISSN 1732-2677), Nr 15, s. 9–14, 2013; [http://ribes.if.uj.edu.pl/homepage/publications/PDF/AA\\_na\\_orbicie.pdf](http://ribes.if.uj.edu.pl/homepage/publications/PDF/AA_na_orbicie.pdf)
- [3] Kevin H. Baines, Thomas W. Momary, Leigh N. Fletcher, Adam P. Showman, Maarten Roos-Serote, Robert H. Brown, Bonnie J. Buratti, Roger N. Clark, Philip D. Nicholson, *Saturn's north polar cyclone and hexagon at depth revealed by Cassini/VIMS*, *Planetary and Space Science*, Volume 57, Issues 14–15, December 2009, Pages 1671–1681, ISSN 0032-0633, <http://dx.doi.org/10.1016/j.pss.2009.06.026>
- [4] Ana C. Barbosa Aguiar, Peter L. Read, Robin D. Wordsworth, Tara Salter, Y. Hiro Yamazaki, *A laboratory model of Saturn's North Polar Hexagon*, *Icarus*, Vol. 206, Issue 2, April 2010, Pages 755–763, ISSN 0019-1035, <http://dx.doi.org/10.1016/j.icarus.2009.10.022>
- [5] M. Allison, D.A. Godfrey, R.F. Beebe, *A Wave Dynamical Interpretation of Saturn's Polar Hexagon*, *Science* 2 March 1990: 247 (4946), 1061–1063 [DOI:10.1126/science.247.4946.1061]
- [6] Thomas R.N. Jansson, Martin P. Haspang, Kåre H. Jensen, Pascal Hersen, Tomas Bohr, *Polygons on a Rotating Fluid Surface*, *Phys. Rev. Lett.* 96, 174502 – Published 3 May 2006
- [7] G.H. Vatistas, *A note on liquid vortex sloshing and Kelvin's equilibria*, *J. Fluid Mech.* (1990) **217**, 241–248
- [8] <https://dcwww.fysik.dtu.dk/~tbohr/RotatingPentagon.mov>
- [9] <https://dcwww.fysik.dtu.dk/~tbohr/RotatingPolygon/index.html>
- [10] Philip Ball, *Geometric whirlpools revealed*, *Nature News*, Published online 19 May 2006 <http://www.nature.com/news/2006/060519/full/news060515-17.html>, doi:10.1038/news060515-17