

Astrobiologia: nowa nauka w nowym stuleciu

# Poszukiwania życia



**EWA SZUSZKIEWICZ**  
Komitety Astronomii  
Polska Akademia Nauk  
CASA\* i Instytut Fizyki  
Uniwersytet Szczeciński  
szusz@univ.szczecin.pl



**FRANCO FERRARI**  
CASA\* i Instytut Fizyki  
Uniwersytet Szczeciński  
ferrari@univ.szczecin.pl

**Ewa Szuskiewicz  
i Franco Ferrari  
prowadzą i koordynują  
interdyscyplinarne  
badania podstawowe  
w dziedzinie astrobiologii  
z myślą o zastosowaniach  
i wdrożeniach służących  
poprawie warunków  
życia na Ziemi**

**Cóż może być większym wyzwaniem dla nauki współczesnej, niż odkrycie jak powstało życie na Ziemi, i czy gdzieś jeszcze we Wszechświecie można znaleźć warunki odpowiednie dla jego powstania i rozwoju**

NASA uznała astrobiologię za jedną z kluczowych rozwijających się nauk XXI stulecia. Europejska Agencja Kosmiczna ESA ze swym fascynującym i innowacyjnym programem astrobiologii ugruntowała już swoją pozycję jako wiodąca światowa organizacja. Wielki sukces misji Mars Express, spektakularne lądowanie sondy Huyghens na Tytanie w styczniu 2005 roku i pasmo sukcesów misji Cassini-Huyghens ku układowi Saturna zademonstrowały potencjał innowacyjny ludzkości w dziedzinie technologii kosmicznych. O rozległości i nowatorstwie programu społeczności naukowej świadczą takie przedsięwzięcia jak rozpoczęcie misji Rosetta, której celem jest badanie i lądowanie na komecie, poważna inwestycja Europy w ESO – Europejskie Obserwatorium Południowe pozwalająca na wykorzystanie wielkiego teleskopu VLT, zbliżające się rozpoczęcie badań przy użyciu ALMA – wielkiego radioteleskopu milimetrowego na płaskowyżu Atacama, planowana budowa układu teleskopów kosmicznych Darwin dla poszukiwania planet pozasłonecznych, na których mogłoby istnieć życie. Misja ExoMars, której celem jest wysłanie pojazdu na Marsa w roku 2011 w poszukiwa-

niu śladów aktywności biologicznej, program European Aurora Science – to projekty, które otwierają przed młodymi ludźmi perspektywy kariery w nauce i technologii. Polska włącza się w światowy nurt zaangażowania w badania astrobiologiczne, tworząc CASA\* – Centre for Advanced Studies in Astrobiology and Related Topics, z bazą w Szczecinie.

## Enigmatyczny uśmiech astrobiologii

Więzi między astrobiologią i naukami biologicznymi może symbolizować diagram na s. 18, przedstawiający dwa podstawowe wykresy: diagram H-R, Hertzsprunga–Russella, podstawowy dla badania ewolucji gwiazd, oraz drzewo filogenetyczne, zbudowane na podstawie informacji genetycznej uzyskanej z rybosomalnego RNA i porównań między różnymi organizmami. To tylko dwa elementy złożonego obrazu całości, jednakże ich znaczenie dla astrobiologii jest podobne do roli uśmiechu Mory Lisy w malarstwie Leonarda Da Vinci.

Ewolucja gwiazd dokonuje się w czasie znacznie dłuższym niż życie ludzkie, a nawet niż cała historia cywilizacji. Nie możemy obserwować pojedynczej gwiazdy i liczyć na to, że poznamy jej ewolucję, ale możemy skorzystać z tego, że na niebie jest wiele gwiazd, na bardzo różnych tej ewolucji etapach. W połączeniu z prawami fizyki diagram H-R pozwala nam zrozumieć, jak gwiazdy ewoluują w czasie.

Drugi diagram na s. 18 odgrywa podobną jak diagram H-R rolę w śledzeniu ewolucyjnej historii życia na Ziemi. Nie ma sposobu, by dowiedzieć się z bezpośredniej obserwacji, jak wyglądały pierwsze organizmy. Ślady pojawienia się życia na Ziemi i wczesne fazy jego ewolucji powinny zachować się w najstarszych skałach, lecz niestety nie ma skał z pierwszych 500 milionów lat ziemskiej historii, ponieważ uległy one zniszczeniu przez ruchy tektoniczne i inne procesy termiczne. Istnieją jednak na Ziemi organizmy żywe, które znajdują się w różnych etapach ewolucji – tak jak gwiazdy na niebie. Drzewo filogenetyczne pokazuje związek między różnymi





Gdzie w kosmosie możemy znaleźć życie? Zanim rozpoczniemy badanie planet krążących wokół innych gwiazd, nowe misje kosmiczne będą próbowały szukać warunków sprzyjających istnieniu życia na księżycach dwóch największych planet Układu Słonecznego: Jowisza i Saturna

NASA

organizmami. Gatunki najbliższe środka drzewa powinny być najbliższe naszemu ostatniemu wspólnemu przodkowi. W połączeniu z prawami fizyki i chemii, drzewo filogenetyczne powinno dostarczyć nam wskazówek dotyczących najwcześniejszych etapów ewolucji, po tym jak około 3,85 miliardów lat temu pojawiło się życie. Po raz pierwszy w dziejach ludzkości mamy szansę zmierzyć się z tym zagadnieniem.

Przyjrzyjmy się teraz, jak przebiegają badania astrobiologiczne w polskim ośrodku CASA\* kierowanym przez autorów niniejszego artykułu, jednym z centrów koordynowanych przez EANA (European Astrobiology Network Association). W poprzednich numerach *Academii* zostały już opisane poszukiwania pierwotnych form życia i wody w Układzie Słonecznym, więc skoncentrujemy się teraz na przeglądzie fizycznych i astrofizycznych aspektów tych badań, w której to dziedzinie czujemy się ekspertami.

### Polimery

Życie rozumieć można jako system chemiczny, w którym główną rolę odgrywają biopolimery takie jak białka i węglowodany, a także DNA i RNA. Dlatego właśnie jeden z autorów, Franco Ferrari, od dziesięciu lat badający fizykę polimerów, zainteresował się astrobiologią. Polimery przejawiają fascynujące właściwości. Jest na przykład pewna zabawka, zbudowana z polimerów, która wygląda jak ciało stałe. Jednakże wkładając ją do szklanki i czekając około pół godziny przekonamy

się, że dopasowała ona swój kształt do konturu szklanki, wypełniając ją tak, jakby to była woda. W rzeczy samej – ta zabawka jest cieczą. Jej niezwykle duża lepkość, która powoduje że jej cząsteczki poruszają się znacznie wolniej niż woda, spowodowana jest tym, że polimery zbudowane są z długich łańcuchów cząsteczkowych. Zwykle łańcuchy te są wzajemnie splecione w skomplikowany sposób tak, że ich ruchy są z konieczności powolne i lepkość materiału – ogromna. Dotychczas najważniejszy postęp w zrozumieniu zjawisk związa-

**Życie można traktować jako układ chemiczny.**

**Główną rolę odgrywają w nim polimery**

nych ze splecaniem osiągnięty został dla pierścieni polimerowych. Konfiguracja pierścieniowa często występuje w naturze; wiele wirusów i bakterii tworzy pierścienie DNA. Układ splecionych pierścieni polimerowych nie może się rozplątać tak jak zwykłe łańcuchy, więc ich konfiguracja topologiczna pozostaje stała w czasie. Wygodnie jest wyobrazić sobie pierścienie polimerowe jako małe obwody, w których krążą prądy- duchy i wytwarzają pola magnetyczne- duchy. Z tych pól magnetycznych można zbudować nieskończenie wiele obiektów matematycznych (funkcje, wektory, tensory itp.), ale tylko niewiele spośród nich pozostanie stałe, jeżeli zdeformujemy w sposób dowolny obwody, nie rozrywając ich połączeń. Obiekty takie nazywamy niezmiennikami topologicznymi; nadają się one właśnie do opisu topologii systemu pierścieni polimerowych.



## Astrobiologia: nowa nauka w nowym stuleciu

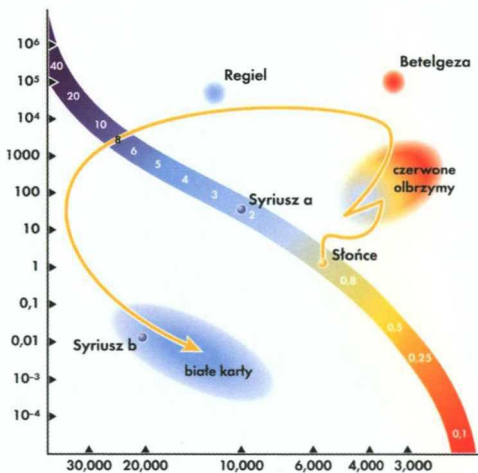
Istnieje na szczęście teoria, zwana teorią pola Cherna-Simonsa, która pozwala nam budować, bez wysiłku, niezmienniki topologiczne. Zbudowany w roku 1998 przez Franco Ferrari i współpracowników pierwszy model układów polimerowych oparty o teorię Cherna-Simonsa do dziś pozostaje najbardziej wyrafinowanym modelem opisującym mechanikę statystyczną pierścieni polimerowych. Co najważniejsze - model ten dostarcza sprawdzalnych przewidywań. Przewiduje on na przykład, że dwa pierścienie polimerowe przyciągają się wzajemnie dlatego, że są splecione. Takie przyciąganie zaobserwowano w DNA bakterii w słynnym doświadczeniu Levene'a i współpracowników w 1995 roku. Istnieją jednak symulacje numeryczne, które wskazują, że jeżeli pierścienie polimerowe są słabo splecione - będą się wzajemnie odpychać. Dlatego też gdy model Cherna-Simonsa przedstawiono na seminarium w MIT w Bostonie w roku 2000, jeden z głównych specjalistów w tej dziedzinie, M. Kardar, twierdził, że w modelu musi

być jakiś błąd, ponieważ przewiduje jedynie przyciąganie a nie odpychanie. Dyskusja zakończyła się pozytywnie, ale dopiero trzy lata pracy i zastosowanie wyrafinowanego narzędzia matematycznego, tak zwanej transformacji Bogomol'nyi, doprowadziły do zgodności modelu z symulacjami numerycznymi. Nie sposób opisać tu dokładnie związków tych zagadnień z astrobiologią i ewolucją gatunków. Wspomnijmy tylko, że wiedza o tym, iż DNA i białka to polimery tworzące pierścienie i pętle, i podlegają prawom fizyki, zainspirowała śmiałą hipotezę dotyczącą DNA organizmów pierwotnych, sformułowaną przez E. Trifonowa. Tę właśnie hipotezę sprawdzamy teraz przy użyciu technik kalorymetrycznych.

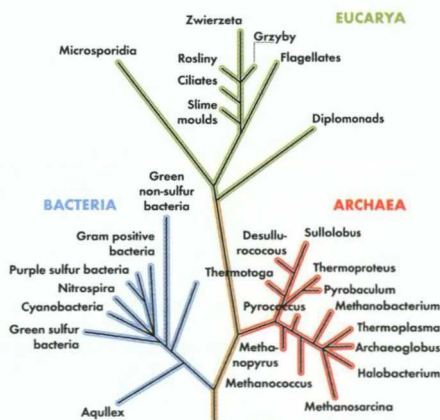
### W poszukiwaniu środowiska dla życia

Jednym z najbardziej ekscytujących odkryć współczesnej astronomii jest potwierdzenie istnienia planet pozasłonecznych krążących wokół gwiazd innych od Słońca. Wciąż jeszcze nie wiemy, czy skaliste planety występują często wokół gwiazd podobnych do Słońca, czy też jest to zjawisko rzadkie. Nie wiemy zatem czy i jak wiele jest planet sprzyjających powstaniu życia. Wkrótce wiedza nasza powinna się znacznie rozszerzyć. Pod koniec 2006 lub na początku przyszłego roku wysłana zostanie misja COROT, która uzupełni listę licznych znanych obecnie planet podobnych do Jowisza o planety o małych masach - jeżeli takowe występują wokół innych gwiazd. Technika mikrosoczewkowania grawitacyjnego, wprowadzona przez Bohdana Paczyńskiego, i stosowana w obserwacjach naziemnych, może też w każdej chwili ujawnić istnienie skalistych planet o masie podobnej do masy Ziemi, na których również mogłyby istnieć warunki sprzyjające powstaniu życia. Aby zbadać jak tworzą się planety możliwe do zamieszkania, trzeba dobrze zrozumieć architekturę układów planetarnych (masy planet i ich odległości od gwiazd, wokół których krążą). Oprócz obserwacji ważna jest też metodologia polegająca na modelowaniu ewolucji układów planetarnych przy pomocy zaawansowanych obliczeń numerycznych. Tę właśnie metodę stosuje współautorka artykułu (E. Szuszkiewicz). Tworzenie się planet wiąże się ściśle z formowaniem się gwiazd i gwiazdną ewolucją. Możemy zrozumieć jak ewoluują układy planetarne, stosując podobne podejście jak

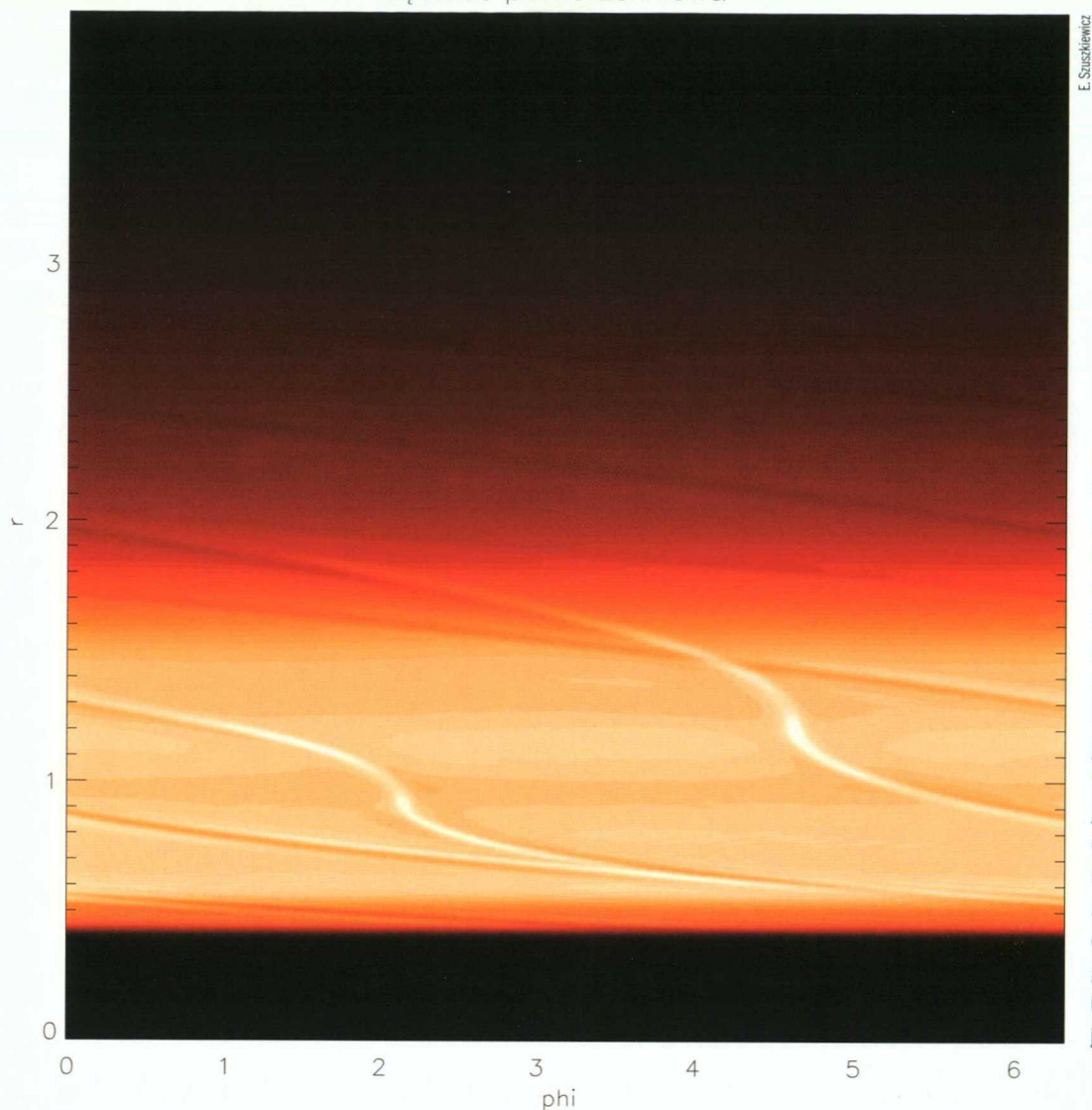
Dwa diagramy fundamentalne dla astrobiologii. Powyżej: wykres H-R pokazuje gwiazdy na różnych etapach ewolucji; krzywa ilustruje drogę ewolucyjną Słońca. Poniżej: drzewo filogenetyczne ilustruje podobieństwa genetyczne pomiędzy różnymi gatunkami, dostarczając informacji o możliwym przebiegu ich ewolucji. Im dłuższa jest gałąź pomiędzy dwoma organizmami, tym większa różnica między sekwencjami ich rybosomalnego RNA



Wawrzyniec Świąteczki







E. Szuszkiewicz

Dwie planety o największej masie obiegające pulsar PSR B1257+12, zanurzone w dysku gazowym utworzonym z materiału pozostałego po wybuchu supernowej. Stosunek okresów ich orbit jest bliski wartości 3:2. Planety widzimy jako jasne plamki, od których rozchodzą się charakterystyczne zaburzenia. Skala barw odpowiada konturom gęstości: im jaśniejszy kolor tym gęstszy jest obszar w dysku

przy badaniu ewolucji gwiazd. Wykryliśmy już wiele planet wokół gwiazd ciągu głównego, kilka planet obiegających czerwone olbrzymy i jedną krążącą wokół białego karła. Wynika stąd, że planety mogą występować wokół gwiazd typu słonecznego w ciągu całej sekwencji ewolucyjnej. To dobra wiadomość dla Układu Słonecznego, ponieważ stwarza mu szansę przetrwania w czasie dalszej ewolucji naszego Słońca. Znamy również dwa układy planetarne wokół gwiazd neutronowych, stanowiących końcowy etap ewolucji masywnych gwiazd. Gwiazdy neutronowe powstają po wybuchu supernowych. Czy znaczy to, że układ planetarny może też przeżyć tę największą katastrofę w cyklu życiowym gwiazdy? Nie jesteśmy jeszcze pewni odpowiedzi. W najbardziej prawdopodobnym scenariuszu planety takie tworzą się z materii rozrzuconej wokół po wybuchu supernowej. Przy założeniu takiego scenariusza i wykorzystując zaawansowane symulacje numeryczne, E. Szuszkiewicz wraz z Johnem Papaloizou udało się wyjaśnić, dlaczego dwie najbardziej masywne planety orbitują

ce wokół milisekundowego radiowego pulsara PSR B1257+12 (jest to układ odkryty przez Aleksandra Wolszczana) są blisko orbitalnego rezonansu 3:2. Podobne badania mogą się okazać potężnym narzędziem przy poszukiwaniu planet podobnych do Ziemi w innych układach. Zasadnicza idea diagramu H-R pomaga też w zrozumieniu wczesnych etapów formacji planet, poprzez obserwowanie i modelowanie dysków wokółgwiazdnych, protoplanetarnych i resztkowych, w celu odtworzenia ewolucyjnej sekwencji zdarzeń przed powstaniem planet.

Badania astrobiologii trwają. Staramy się lepiej zrozumieć i ocenić nasze własne miejsce we Wszechświecie. Saga trwa. ■

#### Chcesz wiedzieć więcej?

Ferrari F., Szuszkiewicz E. (red.) (2006). *Astrobiologia: poprzez pył kosmiczny do DNA*. Szczecin: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego.

Papaloizou J.C.B., Szuszkiewicz E. (2005). On the migration-induced resonances in a system of two planets with masses in the Earth mass range. *MNRAS*, 363, 153-176.