

SZKOŁA LETNIA
„LIVING WITH A STAR: BASICS IN SPACE LIFE SCIENCES”Centrum Fizyki w Bad Honnef (Niemcy)
23-28 sierpnia 2009 roku

Zajęcia szkoły letniej „Living with a star: Basics in Space Life Sciences” odbywały się w dniach 23-28 sierpnia 2009 r. w Centrum Fizyki w Bad Honnef w Niemczech. Przedmiotem zainteresowania, jak sugeruje sama nazwa, były podstawy nauk o życiu w przestrzeni kosmicznej, tj. nauk badających prawa, cechy oraz własności żywej materii (na różnym poziomie jej organizacji, np. komórka, tkanka, organy, cały organizm) w specyficznych warunkach. Program szkoły obejmował zagadnienia z zakresu astrobiologii, medycyny kosmicznej, radiobiologii oraz biologii grawitacyjnej. Organizatorami szkoły byli: German Aerospace Center (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt – DLR), Institute of Aerospace Medicine Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Experimentelle und Angewandte Physik (IEAP). Grupę prelegentów tworzyli wybitni uczeni, profesorowie, jak i studenci-doktoranci skupieni wokół DLR, prezentujący najnowsze wyniki realizowanych przez siebie projektów badawczych. W dalszej części niniejszego sprawozdania zaprezentowano najważniejsze zagadnienia poruszane w poszczególnych sekcjach tematycznych.

W sesji poświęconej ASTROBIOLOGII brali udział: Dr. Gerda Horneck, Dr. Petra Rettberg, Dr. Harald Huber, Dr. Corinna Panitz, Dr. Elke Rabbow, Dr. Ralf Möller, Kristina Beblo¹. Rozważania dotyczyły charakterystyki życia – powstania i ewolucji we Wszechświecie. Ogólnie można powiedzieć, że powstanie życia na Ziemi czy poza nią wymaga wielu etapów i złożonych procesów. Źródłami prekursorów żywej materii są biogenne pierwiastki, molekuły, które podlegały później procesom prebiotycznej syntezy. Biogennymi pierwiastkami są: węgiel (C), wodór (H), tlen (O), azot (N), siarka (S), fosfor (P) oraz wiele innych cięższych pierwiastków. Powstawanie wymienionych pierwiastków ma związek z Wielkim Wybuchem (mode-

¹ Tytuły naukowe zostały podane z zachowaniem niemieckiej nomenklatury.

lem powstania Wszechświata) 13,7 mld lat temu. Po szeregu przemian – od ewolucji fizycznej poprzez chemiczną, a na biologicznej skończywszy – można stwierdzić, że ‘życie’ jest złożone z ‘popiołów’ poprzednich gwiazd. Kilka pokoleń gwiazd jest potrzebnych do otrzymania wszystkich biogennych pierwiastków. Ślady molekuł biogennych znajdziemy z pewnością w materii w przestrzeni międzygwiazdowej i około-gwiazdowej, tj. cyjanowodor (HCN), kwas mrówkowy (HCOOH), formaldehyd (H₂CO), amoniak (NH₃), związki złożone węgla (np. wielopierścieniowy węglowodór aromaticzny PAH); kometach, znajdujących się w zewnętrznych zimnych strefach układu słonecznego, (np. HCN); meteorytach pochodzących z pasa planetoid (asteroid), np. chondryty węglowe – z Murchison znaleziony w 1969 r. w Australii, zawierający aminokwasy, alkohole, zasady kwasu nukleinowego (puryny, pirymidyny); oraz mikro-meteority ($\sigma < 0,1$ mm), pochodzące z asteroid lub komet, spadające ok. 20 000 t/rok.

Innym poruszonym zagadnieniem była charakterystyka LUCA (*Last Universal Common Ancestor*) – ostatniego, uniwersalnego, wspólnego przodka, od którego pochodzą wszystkie żyjące obecnie organizmy na Ziemi. LUCA, jak niektórzy uważają, był dosyć złożonym organizmem. Na jego złożoność składały się: posiadanie kodu genetycznego, mechanizmu translacji (rybosomy, tRNA), białkowych enzymów, a to z kolei wymagałoby obecności procesu biosyntezy aminokwasów oraz kwasów nukleinowych, mechanizmów metabolicznych i katabolitycznych, błon komórkowych etc.

Wiele zagadek związanych z pochodzeniem i dystrybucją życia może zostać rozwiązanych za pomocą danych pochodzących z zapisów geologicznych, skamieniałości oraz biologii molekularnej. Ze skamieniałościami wiążą się stromatolity – warstwowo narastające struktury powstałe w płytkiej wodzie poprzez łączenie sedymentacyjnych drobin w błony biologiczne mikroorganizmów. Były one obecne na Ziemi w pre-kambrze – najstarsze datowane są na 3,4 mld lat. Prawdopodobnie resztki skamieniałości archean zostały uformowane przez jednokomórkowe sinice, a młodsze skamieniałości (proterozoiczne) mogą być pierwotnymi formami eukariotycznych zielenic. Badania oparte na 16S RNA i analizy białkowe sugerują, że LUCA był przodkiem *Bacteria* i *Archaea-Eukarya*, zbieżnie przystosowanym do wysokich temperatur, później jego termotolerancja zmniejszyła się.

Inne pytania naukowe postawione przez DLR były następujące: jak na życie oddziałują ekstremalne biotyczne i abiotyczne czynniki? Gdzie znajdują się potencjalne ekostrefy (habitaty) w naszym układzie słonecznym i poza nim? Czy ziemskie organizmy mogą przetrwać np. na Marsie? Jak możemy uniknąć zanieczyszczeń ‘ziemską’ biologią innych ciał układu słonecznego?

Sesję z MEDYCYNY KOSMICZNEJ tworzyły wykłady Prof. Dr. Rupert Gerzer, PD Dr. Jochen Zange, Prof. Jörn Rittweger, Dr. Volker Damann, Prof. Fengyuan Zhuang, Prof. Dr. Hanns-Christian Gunga, Prof. Dr. Bernd Heber. Pionierami medycyny kosmicznej byli Hubertus Strughold (założyciel, dyrektor, pierwszego ogólnoswiatowego instytutu medycyny kosmicznej Brook Airforce Base,

San Antonio, TX, USA) oraz Oleg G. G a z e n k o (założyciel, dyrektor Instytutu Problemów Biomedycznych Rosyjskiej Akademii Nauk [Институт медико-биологических проблем РАН], Moskwa, Rosja). Skąd rozwój takiej nauki? Rys historyczny lotów kosmicznych nasuwa odpowiedź; na przykład: członkowie symulacyjnego lotu astronauty G. Grissom, E. White i R. Chaffee zmarli w wyniku pożaru na pokładzie Apollo 1 (27.01.1967, Cape Canaveral); śmierć W. Kamarowa podczas lądowania Sojuz 1 w wyniku problemów ze spadochronem (23.04.1967); astronauty G. Dobrowolsky, W. Pacejew i W. Wołkow zmarli w wyniku dekompresji po 24 dniach na Salyut 1 (29.06.1971); katastrofy wahadłowców *Challenger* (28.01.1986) oraz *Columbia* (01.02.2003). Ogólnie ujmując, zagrożenia życia pojawiają się na różnych płaszczyznach związanych z bezpieczeństwem (wypadki, pożary, promieniowanie), atmosferą (jej skład, ciśnienie, temperatura, wilgotność, zanieczyszczenie), wodą (gospodarka wodna), żywieniem (smak, ilość, skład), oraz odpadami (gromadzenie, usuwanie, odzyskiwanie).

Na ISS (*International Space Station*) obowiązuje załogowy system ochrony zdrowia (*ISS Crew Health Care System – CHeCS*), obejmujący system pielęgnacji oraz utrzymania zdrowia, m.in. defibrylator, urządzenie regulacji składu powietrza, umożliwiające przebywanie ludzi w zamkniętym pomieszczeniu przez dłuższy czas, w kabinie statku kosmicznego; system urządzeń sportowych (bieżnia, ergometr). Na uwagę zasługuje tzw. apteczka telemedyczna, umożliwiająca prywatną wideokomunikację z lekarzem na Ziemi w celu konsultacji lub diagnostyki stanu zdrowia; stałego monitoringu stanów fizjologicznych; przetwarzanie informacji wideo o stanie narządów: oko, ucho, nos, gardło, skóra; monitoring biomedyczny (EKG, pulsoksymetr, ciśnienie krwi), stetoskop elektroniczny.

Ponadto każdy astronauta posiada szereg elementów wyposażenia, które umożliwiają poruszanie się w przestrzeni kosmicznej pod wpływem działania specyficznych warunków, tj. redukcji ciśnienia oraz występowania promieniowania. Istnieją dwa typy kombinezonów używanych do aktywności kosmonautów w przestrzeni poza statkiem kosmicznym (*extra-vehicular activity – EVA*): EMU (model amerykański) oraz Orlan (model rosyjski), mające następujące charakterystyki: ciśnienie – 4,3 psi, 5,8 psi² (odpowiednio EMU, Orlan); okres EVA – 7 godz., 6 godz.; atmosfera w obu przypadkach 100% O₂; ruchliwość – 4 pkt i 2 pkt; chłodzenie – 2 pkt, 4 pkt; zakładanie – trudne, łatwe; konstrukcja – modułowa (części), kostium.

Elementy wyposażenia oraz aparatura techniczna nieodzownie pomagają utrzymać i zachować właściwy stan zdrowia astronautów, lecz istnieją pewne istotne konsekwencje działania mikrograwitacji (μg) dla organizmu ludzkiego, np. spadek masy ciała (tkanki kostnej, mięśni) na skutek mechanizmów adaptacji organizmu w przestrzeni ($1\text{G} \rightarrow \mu\text{g}$) oraz adaptacji po powrocie ($\mu\text{g} \rightarrow 1\text{G}$). Symptomy funkcjonowania wspomnianych adaptacji są różne: zaburzenia ruchu, nudności, zawroty głowy, de-

² 1 psi = $6,80459582401954 \times 10^{-2}$ atm

zorientacja (górną-dół, w ciemności), zaburzona koordynacja ruchowa, zaburzenia optyczne ruchu ciała i otoczenia, różna zawartość płynów w tkankach na skutek μg (*puffy face*, występująca już po trzech dniach, na skutek zmiany filtracji płynów poprzez śródbłonek), obrzęk tkanek – podskórnej lub podśluzówkowej skóry, mięśni, języka; silna dehydratacja tkanek kończyn dolnych.

Utrata masy kostnej u astronautów została udokumentowana po raz pierwszy podczas wczesnych lotów w 1960 r. Badania dowodzą utratę masy kostnej 0,8-1,5% na miesiąc w kręgosłupie i szyjce kości udowej. Utrata ta zaczyna się w kręgosłupie, a następnie ma miejsce w kościach dolnych. Masa kostna jest łatwo tracona w wyniku unieruchomienia. Można temu zapobiec poprzez odpowiednie treningi mięśni. Dlatego medycyna kosmiczna opracowała zestaw ćwiczeń celem zniwelowania wspomnianych skutków: unoszenie pięty, palców w kończynie dolnej, „wykopy” z 10-sekundowymi przerwami oraz ćwiczenia na platformach wibracyjnych, przy czym same wibracje nie zapobiegają atrofii mięśniowej.

Inne problemy medyczne, które mogą mieć miejsce, to np. uszkodzenie oka (obce ciało), zatrucia zanieczyszczeniami (CO po pożarze, etylen-glikol, CO₂, HCN), problemy stomatologiczne, zaburzenia układu płciowo-moczowego (kamica nerkowa), infekcje dermatologiczne, hipotermia. Bardzo ważne jest również zdrowie psychiczne – stres, depresja, zmęczenie.

RADIOBIOLOGIA (biologia radiacyjna) była tematem przewodnim trzeciego dnia szkoły letniej. Swoje referaty zaprezentowali: Prof. Dr. Bernd Heber, Klaudia Herbst, Daniel Matthiae, Dr. Günther Reitz, Dr. Thomas Berger, Johannes Labrenz, Dr. Christa Baumstark-Khan, Dr. Klaus Scherer, Dr. Andreas Kopp, Dr. Christine Hellweg, Dr. Patrick Lau.

Promieniowanie kosmiczne wzbudzało duże zainteresowanie w przeszłości. W 1912 r. Victor F. Hess przeprowadził lot balonem w celu badania radioaktywności (w 1936 r. Nagroda Nobla z fizyki) i to jego właśnie uważa się za odkrywcę promieniowania kosmicznego. Źródłem wysokoenergetycznych cząstek promieniowania kosmicznego są: przestrzeń międzygwiazdowa, Słońce, wewnętrzne i zewnętrzne pasy radiacji, warstwa plazmy magnetosferycznej, którym towarzyszy szeroki zakres emitowanej energii od keV do TeV. Ich interakcje z materią oraz wpływ na atmosferę są zróżnicowane i złożone. Oczywiście wykrycie tak złożonego promieniowania kosmicznego i form jego oddziaływania wiąże się z szeregiem różnych instrumentów pomiarowych, tj. radiometr R16, dozometr, licznik proporcjonalny równoważny tkance (TEPC), spektrometr; jak i specjalnych projektów: MATROSHKA – fantom ludzkiego torsu wyposażony w czujniki pomiarowe promieniowania podczas EVA oraz na ISS, złożony z 33 segmentów ‘tkankowych’, wykonanych z tworzywa sztucznego o różnej masie, nad ‘głową’ znajduje się DOSTEL (*DOSimetry TELscopes*). W eksperymencie wykorzystuje się ponadto dwa typy czujników: płaskie detektory krzemowe (PIPS) oraz diody PIN.

Pytanie generowane przez biologów radiacyjnych to pytanie m.in. o zagrożenie radiologiczne dla astronautów podczas długich lotów kosmicznych: jak możemy scharakteryzować takie ryzyko? Mamy do czynienia z kaskadą efektów promieniowania: faza fizyczna (pochłanianie energii, jonizacja, wzbudzenie molekuł, ciepło), faza fizyczno-chemiczna (pośrednie lub bezpośrednie efekty, radioliza wody), faza biochemiczna (zmiany biomolekuł, przemieszczenie rodników, zniszczenie DNA), faza biologiczna (zniekształcenie funkcji życiowych, śmierć komórki, mutageneza, wywołanie i rozwój nowotworów). Według dawek promieniowania (Gy)³ biologiczne efekty napromieniowania na poziomie organizmalnym mogą być zdefiniowane jako: stochastyczne (mogą powodować skutek na pojedynczą komórkę – rak; efekty genetyczne, kancerogenne; nie ma poziomu granicznego, są prawdopodobieństwa, przypuszczenia, stan utajony); oraz deterministyczne /intensywność efektów wzrasta ze wzrostem dawki, choroba popromienna po napromieniowaniu całego ciała (ARS)/. Ludzkie ciało jest celem dla promieniowania – 30-100 trylionów komórek (10^{18}) różnych typów i w różnym cyklu. Dawka letalna (LD/50)⁴ wynosi 4,5 Gy, przy czym wskazuje się wczesne biologiczne efekty promieniowania: choroba popromienna (pojawia się w ciągu kilku godzin), nudności, wymioty, dawki >1 Gy > niż 1 dzień; po 3 dniach do 4 tygodni – supresja szpiku kostnego po dawce 1,5-2 Gy, dawka letalna całego ciała przy 90% 4 Gy; efekty skórne – rumień przy 6 Gy, łuszczenie się skóry przy 15-20 Gy, utrata włosów przy dawkach ~6 Gy lub większej.

Jak bardzo narażeni są astronauty? Istniejące ryzyko napromieniowania związane jest z wieloma czynnikami: fizycznymi (dawka promieniowania, moc dawki), chemicznymi (czynniki środowiskowe, zawartość tlenu, składniki pokarmowe, akceptory wolnych rodników), biologicznymi (chemocytoasty, różnicujące się komórki, indywidualna wrażliwość na promieniowanie, system naprawczy komórek), prowadzące do różnych schorzeń: zaćmy czy zmian nowotworowych.

Ostatni blok tematyczny stanowiły referaty z BIOLOGII GRAWITACYJNEJ, które wygłosili: PD Dr. Ruth Hemmersbach, Dr. Krassimira Ivanova, Nicole Greuel, Prof. Dr. Ralf Anken, Prof. Dr. Günter Ruyters. Zagadnienia biologii grawitacyjnej dotyczą mechanizmów percepcji oddziaływania grawitacyjnego, odpowiedzi na jego działanie w postaci geotaksji i grawitropizmu (geotaksje komórek – w szczególności *Protozoa* – jednokomórkowców *Paramecium*, *Euglena*; grawitropizm roślin; biosensory kręgowców), adaptacji do zmiennych warunków grawitacyjnych, metod badania wpływu grawitacji na Ziemi, warunków mikrogravitacji, hipergravitacji oraz stanu nieważkości. Wszystkie organizmy wykształciły się pod wpły-

³ Grej (Gy) – jednostka dawki pochłoniętej w układzie SI (jednostka pochodna układu SI). Jest to ilość energii promieniowania (w dżulach J) pochłoniętej przez kilogram materii; $1 \text{ Gy} = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ lub $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$

⁴ LD50 (*Lethal Dose, 50%*) – termin w toksykologii określający dawkę substancji toksycznej, obliczany w miligramach na kilogram masy ciała, potrzebnej do uśmiercenia 50% badanej populacji.

wem działania trwałego, niezmiennego parametru środowiskowego – grawitacji, w ciągu 3,8 mln lat biologicznej ewolucji. Organizmy żywe dążyły na drodze ewolucji do wykształcenia systemów percepcji ziemskiej grawitacji.

Odpowiedzi organizmów na bodźce środowiskowe mogą być różne: fotowrażliwość (taksja, kineza), chemowrażliwość (taksja, kineza), termowrażliwość (taksja), elektrowrażliwość (taksja, kineza), sensacja na działanie pola magnetycznego (kineza), oraz grawitacji (taksja, kineza).

Czy istnieją więc ‘geosensory’? Istnienie takich sensorów wiąże się z funkcjonowaniem mechanoreceptorów (Ca, K) w błonach biologicznych (kanały jonowe jako georeceptory) oraz z wieloma morfologicznymi, anatomicznymi różnicami organizmów roślinnych i zwierzęcych.

Grawipercepcja u heterotroficznych, jednokomórkowych organizmów może dotyczyć powłok całego ciała (błony), np. u *Paramecium*, lub organelli, np. u *Loxodes*⁵. Zaobserwowano, że próg graniczny grawipercepcji poprzez bipolarnie rozmieszczone kanały jonowe u *Paramecium* wynosi 0, 32g; w drugim przypadku – u *Loxodes* – 0, 16g.

Grawipercepcja u zwierząt dotyczy całego ciała, ale nie jest to tak proste, jakby się wydawało. Uproszczona systematyka królestwa zwierząt, z przyjętym kryterium: grawireceptory: – brak, + obecne, (–) w kilku grupach taksonomicznych, przedstawia się następująco: *Placozoa* –, *Porifera* –, *Ctenophora* +, *Cnidaria* +, *Plathelminthes* +/-, *Mollusca* +, *Annelida* (–), *Nematoda* –, *Arthropoda* +, *Echinodermata* (–), *Chordata* +⁶.

a) *Ctenophora*. Prawdopodobnie tripoblastyczne (trójwarstwowe z mezoderma), biradialne, osiem rzędów grzebieni, dwa czułki, statocysta znajdująca się zawsze na biegunie przeciwbiegunowym, czyli aboralnym. *Ctenophora* są pierwszymi zwierzętami, które rozwinęły statocystę z pęcherzyków. Geotropizm odbywał się bez systemu nerwowego. Taki grawireceptor składał się ze statolitu (CaCO_3), komórek sensorycznych (zwykle z rzęskami), oraz prymitywnego unerwienia.

b) *Cnidaria*. Dwublastyczne, symetria promienista, ropalium ze statocystą (statolit CaSO_4), która nie znajduje się u nich nigdy na biegunie przeciwbiegunowym. Są pierwszymi zwierzętami z neuronalną integracją sygnałów grawitacyjnych. Grawireceptory nie są jeszcze umiejscowione z pobliżu zwojów (rozproszony układ nerwowy).

c) *Bilateria/Protostomia* – *Lophotrochozoa*/ze statocystami: *Plathelminthes* (kilka grup: *Turbellaria* (*Acoela*), *Monogenea*, *Trematoda*, *Cestoda*), *Mollusca* (*Monoplacophora*, *Gastropoda*, *Scaphopoda*, *Bivalvia*, *Cephalopoda*), *Annelida* (kilka gatunków: *Polychaeta*, *Clitellata*, niektóre *Oligochaeta*)/. Tripoblastyczne, morfologicznie po-

⁵ Na przykład pęcherzyk Mullera jest charakterystycznym organellem orzęsków *Loxodes*, składającym się z błony pokrytej ciałkami mineralnymi (statolity BaSO_4), wakuoli oraz struktur pochodzących z kinetosomu. Istnieją dowody na to, że pęcherzyki pełnią funkcję sensorów grawitacyjnych ze względu na ich strukturę oraz wielkość (jak statocysty).

⁶ Kolejno podane: płaskowce, gąbki, żebroplawy, parzydełkowce, płazińce, mięczaki, pierścienice, nicienie, stawonogi, szkarłupnie, strunowce.

dobne statocysty z integracją ośrodka nerwowego z informacją grawitacyjną. Płazińce (wirki) są pierwszymi zwierzętami ze statocystą położoną w pobliżu aparatu nerwowego, składającego się z parzystego zwoju nerwowego i pni. Statocysta (zwykle jedna) wyłącznie pojawia się u wolnożyjących gatunków, nie zawierają statolitów. Mięczaki są pierwszymi zwierzętami zawierającymi statolity działające jak grawireceptory (statocysty występują u większości gatunków, działają na nabłonku zmysłowym, są połączone z nielicznymi węzłami nerwowymi; statolity złożone zwykle z CaCO_3). Transdukcja sygnałów jest dobrze poznana. Funkcjonowanie statocyst u mięczaków jest bardzo podobne do tego samego mechanizmu u kręgowców. U większości pierścienic nie występują statocysty. W kilku rodzinach występują podwójne, z rzęskami lub bez; statolity złożone zwykle z CaCO_3 , ale mechanizm transdukcji sygnałów nie jest dobrze znany. Statocysty podobne do tych u mięczaków.

d) *Bilateria/Protostomia – Ecdysozoa*/statoreceptory posiadają: *Arthropoda (Chelicerata, Crustacea, Insecta)*. Obecne od 570 mln lat, triploblastyczne, statoreceptory charakteryzuje duża różnorodność morfologiczna, funkcjonalna. Skorupiaki są jedynymi stawonogami z typową statocystą, która pojawia się u większości gatunków, różniąc się lokalizacją, działającą na nabłonku zmysłowym; proste uorganizowanie u równonogów (*Isopoda*). Skorupiaki używają statocyst, chociaż posiadają proprioceptory. Większość stawonogów, nie-skorupiaków wykorzystuje właśnie proprioceptory do uzyskania informacji o pozycji ciała w przestrzeni. Większość owadów postrzega grawitację poprzez proprioceptory umieszczone na ich odnóżach, u błonkówek (*Hymenoptera*) głowa (przedtułów) zachowuje się jak ‘wahadło’, a wodne owady używają pływakowych (hydrostatycznych) receptorów.

e) *Bilateria/Deuterostomia – Chordata* (posiadające statocysty: *Tunicata, Vertebrata*). Triploblastyczne, prosta lub złożona statocysta. Wolno żyjące, dorosłe osobniki i larwalne osłonice (*Tunicates*) używają typowej statocysty, ale nie ich pary. Nie są homologiczne do tych u kręgowców. Ucho wewnętrzne kręgowców jest organem homologicznym, ale statolity różnicują swoją budowę i zawartość w zależności od stylów życia zwierząt. Po ogólnej charakterystyce można wyróżnić kilka trendów ewolucyjnych zwierzęcych grawireceptorów: pojedynczy statolit bez wewnętrznego unerwienia, wiele unerwionych statolitów, para unerwionych statolitów, złożone statolity z wewnętrznym unerwieniem. Niewątpliwie występowanie, morfologia oraz skuteczność grawireceptorów zależą od stylu życia zwierząt. Jednakże, brak jest filogenetycznych śladów. Prawdopodobnie geny PAX odgrywają dużą rolę, obecne są u *Trichoplax* (gatunek płaskowców) – podobne do sensorów światła.

*

Badanie różnych aspektów życia we Wszechświecie oraz osiągnięte wyniki, w kontekście powyższych nauk, pozwalają na sformułowanie kilku uwag. Po pierwsze, jedną z zauważalnych tendencji jest umieszczanie przez naukowców różnej aparatury w przestrzeni kosmicznej, aby obserwować poszczególne procesy, których nie można przeprowadzić, zaobserwować w ‘ziemskich’ warunkach. Takie podejście jest często

nazywane *science from space*. Drugą tendencją jest uprawianie *science in space* za pomocą umieszczonych i bardzo dobrze wyposażonych laboratoriów, chociażby na międzynarodowej stacji kosmicznej (ISS), tworząc tym samym w przestrzeni kosmicznej swoiste laboratorium.

Nauki o życiu w przestrzeni kosmicznej generują pytania dla szeregu odbiorców, w tym dla filozofa przyrody. Multidyscyplinarność każdej z nauk rodzi pytanie o ich autonomiczność, specyficzne metody, którymi się posługują, przedmioty i zakresy badań. Ciekawym przykładem jest astrobiologia, która jako jedna z nielicznych pod koniec ubiegłego wieku musiała udowodnić przedmiot swoich badań – powstanie i ewolucję życia na Ziemi i poza nią. Jak zdefiniować życie w kontekście wymienionych nauk z uwzględnieniem wyników badań ekstremofili, które znacznie zmieniły naszą wiedzę na zakres przeżywalności form biologicznych na Ziemi? Czy możemy wyznaczyć tzw. granice życia oraz granice ludzkich eksploracji kosmosu? Kolejnym pytaniem jest to, jaką teorię genezy życia należy przyjąć, która z nich jest najbardziej prawdopodobna w świetle prezentowanej wiedzy dostarczanej przez nauki o życiu. Możemy przecież wskazać źródła biogennych pierwiastków, molekuł, a także 'ścieżki' ich prebiotycznych syntez w przestrzeni kosmicznej. Jaki był, więc kierunek tych przemian? Powyższe pytania są tylko kilkoma z wielu stawianymi przez wymienione nauki, na które być może już wkrótce znajdziemy odpowiedzi*.

*Urszula Czyżewska
Katedra Filozofii Biologii
w Instytucie Filozofii Przyrody
i Nauk Przyrodniczych KUL*

Summer school

"Living with a star: Basics in Space Life Sciences"

August, 23 – 28, 2009, at the Physikzentrum in Bad Honnef



* Praca sfinansowana ze środków MNiSW na naukę w latach 2010/12 jako projekt badawczy nr NN101253239.