

BOLESŁAW GOMÓLKA

ASTROBOTANIKA

Astrobotanika jest jedną z wielu nowo powstałych dziedzin współczesnego przyrodoznawstwa, łączącą w swej treści problemy astronomiczne i biologiczne w jedną nierozzerwalną całość, dającą nowe ujęcie wspólnych dla obu tych nauk zagadnień. Termin «astrobotanika» po raz pierwszy został użyty przez radzieckiego astronoma G. A. Tichowa na określenie nauki o roślinności innych planet. Zakres tej nauki obejmuje problematykę związaną z poszukiwaniem dowodów istnienia na innych planetach organizmów żywych, podobnych z funkcji fizjologicznych do roślin ziemskich. Filozoficzne podstawy dla tego rodzaju poszukiwań mają swe źródło w idei materialnej jedności wszechświata i jedności rządzących nim praw natury. Idea ta uzyskała szerokie uzasadnienie w całej dotychczasowej nauce i stanowi ona jedno z podstawowych założeń współczesnego przyrodoznawstwa. Astrobotanika, w celu rozwiązania zagadnień wchodzących w jej zakres, posługuje się dwoma zasadniczo odmiennymi metodami badawczymi, bowiem jako nauka powstała na gruncie astronomii i biologii, dysponuje technikami badawczymi obu tych nauk macierzystych. Stosowane przez astrobotaników metody badań można pod tym względem podzielić na dwie podstawowe grupy. Pierwsza z nich to rozważania teoretyczne oraz doświadczalne badania laboratoryjne oparte na zasadzie analogii, jakie mogą zachodzić między organizmami ziemskimi i hipotetyczną «roślinnością» innych planet. Metody te mają swe źródło w technice badań biologicznych. Druga natomiast grupa, oparta jest o metody i technikę obserwacji astronomicznych, a stosowana w odniesieniu do poszczególnych planet, ma za zadanie dostarczenie dowodów faktycznego istnienia ożywionych form materii na tychże planetach. Do tego celu jako obiekt poszukiwań najlepiej nadają się organizmy morfologicznie, fizjologicznie i ekologicznie zbliżone do roślinności ziemskiej, ponieważ mogłyby one tworzyć duże skupienia na powierzchni danej planety. Mogą one również wywoływać trwałe zmiany bądź to w wyglądzie powierzchni planety, np. okresowe zmiany barwy pewnych obszarów, lub zmiany w składzie chemicznym atmosfery planetarnej, np. obecność tlenu w atmosferze ziemskiej. Zmiany te dadzą się zaobserwować przy pomocy metod astronomicznych, toteż poszukiwania tego rodzaju zjawisk stanowią jedną z najowocniejszych metod astrobotaniki. Należy podkreślić, że wyniki badań astrobotanicznych, uzyskiwane tymi tak różno-

rodnymi metodami, nie przeczą sobie, lecz wprost przeciwnie wzajemnie doskonale się uzupełniają. Współczesne osiągnięcia naukowo-techniczne z zakresu techniki raketowej pozwalają na loty człowieka w przestrzeń kosmiczną, co powoduje, że do obecnie stosowanych w astrobotanice metod badawczych dołączają się wkrótce bezpośrednie obserwacje i badania prowadzone, zarówno w przestrzeni międzyplanetarnej jak i na powierzchni Księżyca i sąsiednich planet układu słonecznego. W przyszłości astrobotanika stanie się w pełni nauką obserwacyjno-eksperymentalną, podobnie jak inne nauki ziemskie. Wziąwszy pod uwagę te ostatnie perspektywy można by dokonać podsumowania osiągnięć naukowych z dziedziny astrobotaniki, uzyskanych przy pomocy dotychczas stosowanych metod badawczych. Na tej podstawie można również oprzeć próbę oceny stanu naszej wiedzy w zakresie astrobotaniki.

Historyczne korzenie astrobotaniki sięgają starożytności, gdzie została sformułowana idea wielości zamieszkałych światów we wszechświecie. Najwybitniejszymi wyznawcami tej idei byli Demokryt, Metrodor i Lukrecjusz, którzy utrzymywali, że we wszechświecie istnieje życie podobne do ziemskiego. Idea ta odżywa w dobie Odrodzenia w związku z przekształcaniem się ogółu nauk przyrodniczych z ich geocentrycznego spojrzenia na wszechświat, na współczesny uniwersalny sposób jego pojmowania. Zasadnicze znaczenie dla tego przekształcenia miała heliocentryczna teoria M. Kopernika. Spowodowała ona przełom w ówczesnych pojęciach o wszechświecie i stworzyła podstawy do naukowego badania otaczającej człowieka rzeczywistości. Pod jej wpływem Giordano Bruno głosił swą naukę o niezliczonych światach podobnych do Ziemi, na których istnieje życie. Jednakże dopiero w drugiej połowie XIX wieku, wraz z rozwojem metod badawczych, pojawiły się nowe prądy naukowe, sprzyjające rozważaniom na temat życia we wszechświecie. Szczególnie dogodna atmosfera do tego rodzaju badań panowała w biologii, w której rozgorzała wielka dyskusja wokół teorii ewolucji, ogłoszonej 1859 roku przez Darwina i Wallace'a, oraz teorii kosmozoów opracowanej przez Richtera (1865) i głoszącej, że życie istnieje wiecznie we wszechświecie, a zarodki jego przenoszą się z planety na planetę za pomocą meteorów. W astronomii jako osiągnięcia należy odnotować odkrycie «kanałów» na Marsie, dokonane przez Schiaparellego w 1877 r. i ogłoszoną w rok później przez Liaisa i Crulsa hipotezę wegetacyjną zakładającą roślinne pochodzenie «kanałów» i «mórz» marsjańskich. Należą tutaj również interesujące prace Lovella, Flammariona, Proctora, Antoniadiego oraz hipoteza panspermii przedstawiona przez Arrheniusa. Stanowią one pierwsze próby naukowego rozwiązania problemu istnienia życia we wszechświecie. Warto tutaj nadmienić, że zagadnieniem życia w kosmosie zajmował się również polski uczony, krakowski astronom J. K. Steczkowski, którego praca pt. *Co sądzić należy o zamieszkałości niezliczonych światów* ukazała się w Krakowie w 1876 r. Obecny rozwój astrobotaniki jest wynikiem znacznych postępów ogółu nauk przyrodniczych, a w szczególności zaś astronomii i biologii. Współczesny stan wiedzy oraz nowoczesne precyzyjne metody badań, jakimi rozporządzają uczeni dopiero teraz, w pełni pozwalają na opracowanie i postawienie na gruncie naukowym pro-

blemu poszukiwania dowodów istnienia na innych planetach ożywionych form materii podobnych do roślin ziemskich. Teoretyczne rozważania, oparte na analizie statystycznej i wnioskach płynących ze współczesnych teorii kosmogonicznych, a także z podstawowych praw biologicznych, pozwalają na przypuszczenie, iż ożywione formy materii podobne do organizmów ziemskich powinny występować na wielu planetach krążących wokół gwiazd naszej Galaktyki. Badania w tym zakresie są prowadzone w licznych ośrodkach naukowych; w Polsce przez J. Gądomskiego, B. Gomółkę, R. Woynarskiego i A. Wróblewskiego, za granicą zaś zagadnieniami astrobiologii zajmują się uczeni tej miary, co np. Lederberg, Shapley, Struve, Urey oraz Fiesenkow, Oparin i Tichow. Jednakże dane obserwacyjne, jakimi dysponuje współczesna nauka, pozwalają na zaatakowanie problemu istnienia życia na innych planetach wyłącznie w obrębie układu planetarnego Słońca i dlatego jedynie do tego obszaru przestrzeni wszechświata zostaną ograniczone niniejsze dalsze rozważania.

Przestrzeń kosmiczna jest środowiskiem nie sprzyjającym dla życia ze względu na warunki fizyczne, jakie tam panują. Temperatura jest bliska zera absolutnego ($-273,15^{\circ}\text{C}$), próżnia, jaką stwierdzamy w kosmosie, jest tak doskonała, że dotychczas nie udało się jeszcze uzyskać podobnej w najlepszych laboratoriach świata, brak jest ciężenia grawitacyjnego, a wreszcie występują różnorodne promieniowania jonizujące, zabójcze dla żywej materii. Jednakże istnieją w przestrzeni kosmicznej pewne wyróżnione miejsca, gdzie życie może powstawać i rozwijać się, a miejscami tymi są powierzchnie niektórych planet. Współczesne teorie kosmogoniczne zakładają, że powstawanie układów planetarnych jest prawidłowością w ewolucji gwiazd, a zatem prawie wszystkie gwiazdy, począwszy od typu widmowego F5, powinny posiadać układy planetarne, co stwierdzono istotnie u niektórych gwiazd. Układ planetarny Słońca nie jest zatem jakimś wyjątkowym tworem we wszechświecie, jak dawniej sądzono, lecz jest tylko jednym z bardzo wielu podobnych jemu układów planetarnych naszej Galaktyki. Jednakże sam fakt stwierdzenia istnienia innych układów planetarnych nie rozwiązuje jeszcze zagadnienia istnienia życia w kosmosie, bowiem nie wszystkie planety mogą być nosicielkami życia. Spośród tych, które krążą wokół swych gwiazd macierzystych, tylko niektóre, spełniające ściśle określone warunki, mogą stanowić dogodne dla życia środowisko. Wokół każdej gwiazdy istnieje ograniczona strefa przestrzeni, w której spełnione są warunki fizyczne (głównie termiczne) dogodne dla istnienia ożywionych form materii i mogą one powstać tylko na tych planetach, których orbity znajdują się wewnątrz tej strefy. Ponadto sama planeta musi spełniać pewne niezbędne warunki. Oto one:

1. Odległość planety od gwiazdy macierzystej musi być niezbyt duża, tak aby temperatura na powierzchni planety była zachowana w granicach $+80^{\circ}\text{C}$ do -70°C , gwarantuje to dopływ odpowiedniej ilości energii promienistej dla procesów życiowych.

2. Orbita planety powinna być zbliżona do kołowej tak, aby nie było zbyt dużych zmian w napromieniowaniu planety, a zatem i dużych skoków temperatury.

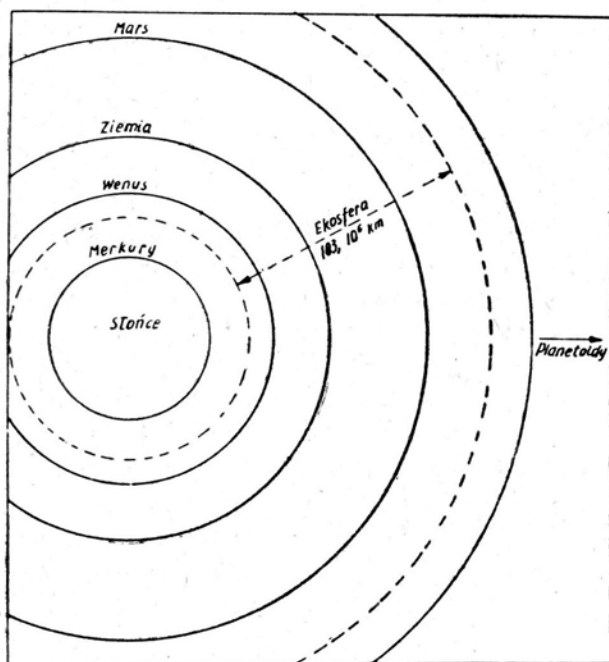
3. Planeta musi mieć dostatecznie dużą masę, aby mogła w swym polu grawitacyjnym utrzymać drobiny gazów atmosfery, której obecność jest niezbędnym czynnikiem warunkującym możliwość zachodzenia wielu zjawisk chemicznych na powierzchni planety (w tym również zjawisk życiowych).

4. Planeta musi się znajdować w szybkim ruchu wirowym, gdyż wtedy następuje równomierne pobieranie energii promienistej przez całą powierzchnię planety.

5. W składzie chemicznym substancji tworzącej planetę muszą występować wszystkie pierwiastki organogeniczne jak węgiel, tlen, wodór, azot, a także i inne niezbędne pierwiastki, np. mikroelementy.

6. Na powierzchni planety musi się znajdować woda w stanie ciekłym, atmosfera zaś musi mieć odpowiedni skład chemiczny, a więc zawierać pewien określony procent tlenu, pary wodnej, CO_2 itp.

Wymienione wyżej warunki, jakie musi spełniać planeta, aby mogła być siedliskiem życia, są bardzo rygorystyczne, toteż niewiele może być planet spełniających



Ryc. 1. Ekosfera Słońca. Strzałka wskazuje zasięg ekosfery słonecznej wynoszącej ok. $183 \cdot 10^6$ km i obejmującej orbity Wenus, Ziemi z Księżycem i Marsa.

ych te wszystkie warunki równocześnie. Warunki te mogą spełnić tylko planety krążące wewnątrz ekosfery gwiazdowej i posiadające strukturę fizyczno-chemiczną zbliżoną do struktury globu ziemskiego. Nie znaczy to jednak, że planety owe muszą być zupełnie podobne do Ziemi, gdyż zajęcie takiego stanowiska byłoby po prostu geocentryzmem biologicznym. Jeśliby przyjąć, że układ słoneczny jest typowym

układem planetarnym, niczym szczególnym nie wyróżniającym się spośród wielu innych układów, a do zajmowania takiego stanowiska mamy wszelkie po temu dane, to na jego przykładzie można by rozróżnić trzy zasadnicze typy planet. Są to: a) planety typu ziemskiego, lecz o małej masie nie posiadające atmosfery, b) planety typu ziemskiego o masie i gęstości średniej zbliżonej do gęstości Ziemi, otoczone atmosferami, oraz c) planety wodorowe o dużej masie i małej gęstości średniej zbliżonej do gęstości wody. Z biologicznego punktu widzenia wszystkie te planety można podzielić na dwie grupy: a) biogeniczne, tj. takie, na powierzchni których życie może powstać lub już istnieje i b) abiogeniczne czyli te, na powierzchni których życie nie może istnieć. W porównaniu z uprzednio przeprowadzonym podziałem, planety biogeniczne występowały wśród planet typu drugiego, planety zaś abiogeniczne należałyby do typu pierwszego i trzeciego.

W 1956 roku Strughold wprowadził pojęcie «ekosfery» systemu planetarnego Słońca na określenie tej części przestrzeni okołosłonecznej, w której spełnione są warunki termiczne i ekologiczne sprzyjające powstaniu i rozwojowi żywych organizmów opartych na strukturze białkowej. Zagadnienie ekosfer szczegółowo rozpracował J. Gadoński obliczając dane liczbowe dla ekosfery Słońca. Z obliczeń tych wynika, że ekosfera w układzie słonecznym zaczyna się w odległości 92 mln km od Słońca, a kończy się w odległości 275 mln km. Zatem w strefie ekosfery Słońca znajdują się tylko Wenus, układ podwójny Ziemia—Księżyc i Mars. Planety te spełniają również i inne warunki wymagane dla istnienia ożywionych form materii, toteż w układzie słonecznym tylko one mogą być brane pod uwagę, jako obiekty dla poszukiwań astrobotaniki. Słońce wypromieniowuje w przestrzeń kosmiczną olbrzymie ilości energii promienistej obliczone na $3,7 \cdot 10^{33}$ ergów/sek. Taka ilość energii promienistej co sekundę przepływa przez ekosferę Słońca, lecz ekosferyczne planety szybko wirujące są w stanie pobrać tylko niewielki ułamek tej energii, obliczony szacunkowo na $1/800000000$ jej część. Wartość liczbową jednostki, zwanej stałą słoneczną, która przedstawia ilość energii słonecznej padającej na jednostkę powierzchni danej planety, przedstawia się następująco: dla Wenus 3,75, dla Ziemi 1,90, dla Marsa 0,84/cal/cm² min. Jest to wystarczająca ilość energii dla ogrzania ciała doskonale czarnego (a za takie uważamy planety) do temperatury znajdującej się w granicach wymagań życiowych żywych organizmów. Tak więc warunki termiczne na wyżej wspomnianych planetach są spełnione, jak również wszystkie one należą do typu planet zbliżonych swą strukturą fizyczno-chemiczną do Ziemi i są otoczone gęstymi atmosferami. Wziąwszy te wszystkie czynniki pod uwagę, możemy przypuszczać z dużym prawdopodobieństwem, że planety te są nosicielkami życia.

Do poszukiwań ożywionych form materii na innych planetach układu słonecznego niezbędne jest zdefiniowanie stosowanego tutaj pojęcia «ożywione formy materii». Podanie jednoznacznej definicji «życia» jest utrudnione z wielu powodów. Jednym z nich jest zacieranie się granicy między materią ożywioną a nieożywioną. Poza tym materia ożywiona powstała przecież drogą przemian ewolucyjnych z materii nieożywionej i fakt ten sam przez się utrudnia opracowanie poprawnej definicji «życia». Natomiast łatwiej jest określić cechy charakterystyczne dla istot ży-

wych. Lederberg proponuje, aby przyjąć za podstawę dla określania żywych form materii, występujących w układzie słonecznym, następujące kryterium fizyko-chemiczne. Organizmy żywe, jego zdaniem, muszą spełniać dwa podstawowe warunki, a to: korzystać z wody jako uniwersalnego rozpuszczalnika umożliwiającego zachodzenie różnorodnych reakcji biochemicznych oraz mieć strukturę opartą na związkach węglowych. W 1953 roku Pringle zestawił najważniejsze podstawowe cechy charakterystyczne dla istot żywych. Odnoszą się one oczywiście do organizmów ziemskich. Jednakże wiele spośród cech organizmów ziemskich może być wspólnymi dla wszystkich żywych organizmów w układzie słonecznym, bowiem powstały one pod życiodajnymi promieniami tej samej gwiazdy — Słońca. Według propozycji Pringlego organizm żywy powinien posiadać następujące cechy: a) koherentność żywego organizmu, tzn. że całość procesów życiowych organizmu odbywa się wewnątrz określonej przestrzeni, którą stanowi protoplazma komórki lub środowisko wewnętrzne żywego organizmu, b) żywy organizm posiada stałą postać i stałą organizację. Stałość ta jest natury dynamicznej i polega na ciągłej przemianie drobin wchodzących w skład żywej substancji, cały zaś organizm znajduje się w stanie metastabilnej pseudorównowagi w stosunku do otoczenia, c) procesy anaboliczne i kataboliczne, wiążące się ze sobą w łańcuch reakcji fizyko-chemicznych i stanowiące dostatecznie labilny układ otwarty składników żywego ustroju, nie znajdują się względem siebie w równowadze. W pewnym okresie istnieje tendencja dla przewagi procesów syntezy i wtedy zachodzi zjawisko wzrostu i rozwoju, gdy zaś organizm żywy osiągnie swój określony krytyczny wymiar lub stan, to następuje zjawisko rozmnażania się. Gdy natomiast przeważają procesy degradacji i rozpadu, to mogą one doprowadzić do przekroczenia pewnego poziomu krytycznego w strukturze danego organizmu i następuje wtedy śmierć.

Organizmy ziemskie mają strukturę opartą na substancjach białkowych, tzn. podstawowymi cegiełkami budulcowymi są białka zbudowane z atomów węgla, wodoru, tlenu i azotu, a niekiedy i innych pierwiastków, np. fosforu i siarki. Atomy tych pierwiastków są połączone ze sobą w specyficzny sposób w długie, częstokroć rozgałęzione łańcuchy i tworzą olbrzymie makromolekuły białkowe. Decydującą rolę w ich metabolizmie odgrywają kwasy nukleinowe, dezoksyrybonukleinowy (KDN) i rybonukleinowy (KRN) znajdujące się w jądrach komórkowych, bowiem podstawową jednostką strukturalną budowy ziemskich organizmów żywych jest komórka, której jądro stanowi ośrodek dyspozycyjny. Kwasy te są odpowiedzialne w organizmie żywym za sterowanie procesami metabolicznymi i dziedziczenie cech przy reprodukcji. Schrödinger zwrócił uwagę na pewien niezwykły aspekt, dotyczący procesów życiowych żywej protoplazmy. Ciekawym zjawiskiem jest to, że procesy te, polegające na zdolności żywej protoplazmy do dokonywania różnorodnych reakcji chemicznych, są możliwe do przeprowadzenia w temperaturze niezbyt odległej od zera absolutnego (0°K), tj. w temperaturach od 203°K do 353°K (-70 do $+80^{\circ}\text{C}$). Dzieje się to wskutek obecności w protoplazmie enzymów katalitycznych, umożliwiających zachodzenie reakcji w tych temperaturach, a wymagających w innych warunkach (bez obecności enzymów) znacznie wyższych temperatur.

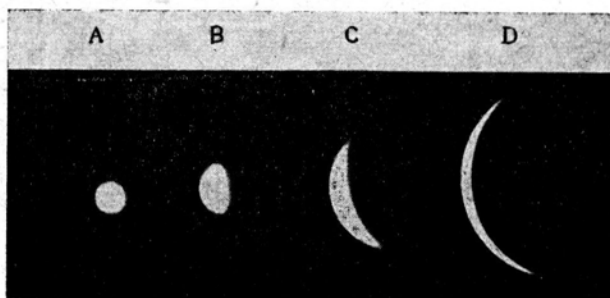
Ta stosunkowo niska temperatura pozwala utrzymywać protoplazmie jak gdyby «stan przechłodzenia» warunkujący jej zwartość niezależnie od specyficznej struktury, wynikającej z budowy składowej jej białek. Powstanie tych struktur białkowych w sposób prawdopodobny tłumaczy teoria Oparina. Zakłada ona przy tym, że powstanie życia na Ziemi nie jest wynikiem przypadkowej kombinacji związków organicznych, lecz konsekwencją ewolucyjnego rozwoju tych związków w warunkach sprzyjających dla tego rodzaju procesów. Związki organiczne, powstałe na drodze abiogenicznej syntezy, w miarę swej ewolucji osiągają stan, w którym pojawiają się pierwsze układy biologiczne mające zdolność do samoreprodukcji. Prawdopodobnie na ich zrębie powstały prymitywne organizmy żywe, które drogą ewolucji doprowadziły do takiego rozkwitu form, jaki obecnie obserwujemy. Powstanie i rozwój istot żywych jest więc możliwe wszędzie tam, gdzie tylko zaistnieją odpowiednie ku temu warunki. Niestety, współczesna biologia nie jest w stanie dać odpowiedzi, jaką drogą może postępować ewolucja układów biologicznych powstałych na innych planetach układu słonecznego. Zbyt mało posiadamy jeszcze wiadomości odnośnie do czynników, tempa rozwoju i prawidłowości ewolucji żywych organizmów. Nawet w stosunku do ewolucji istot ziemskich nie zawsze jesteśmy w stanie określić przyczyny i skutki obserwowanego stanu rzeczy, nie wiemy gdzie są prawidłowości, a gdzie rządzi tylko przypadek. Z tego powodu jest niezwykle trudno określić naturę pozaziemskich organizmów i dlatego bardziej celowe będzie użycie terminu «biostrefa» dla określenia skupień swoistych dla danej planety form żywej materii, będących przedmiotem poszukiwań astrobotaniki. Termin «biostrefa» lokalizuje skupienia ożywionych form materii na powierzchni planety nie określając ich specyficznego charakteru, np. roślinności, a jednocześnie zawiera pojęcie występowania w tym obszarze organizmów żywych. Dalsze poniższe rozważania będą się odnosiły do biostref jako całości i rozpatrywane będą poszukiwania biostref na Księżycu, Wenus i Marsie. Szczególnie na Marsie pojęcie biostref będzie przydatne, bowiem pojęcie to będzie się odnosiło do ciemnych obszarów, zwanych przez astronomów «morzami» i «kanałami». Przy badaniu tych obszarów możemy się tylko posługiwać analogiami, tj. doszukiwać się takich form podobnych do organizmów ziemskich, które by mogły kontynuować swe czynności fizjologiczne w warunkach podobnych do warunków istniejących na sąsiednich planetach i starać się uzyskać pewne dowody ich istnienia tamże, przy zastosowaniu założeń opartych na tych analogiach. Ewolucja ziemskich organizmów poszła drogą różnicowania na rośliny i zwierzęta, przy czym świat roślin zawsze wyprzedza ewolucyjnie świat zwierząt, gdyż stanowi dla niego bazę żywnościową. Podobne stosunki mogą powstać również na innych planetach i może wystąpić owo różnicowanie na organizmy podobne do roślin i zwierząt. Pod pojęciem «roślinność» rozumiemy całość zbiorowisk roślinnych pokrywających planetę lub część jej powierzchni. Warunki klimatyczne, przeszłość geologiczna oraz inne specyficzne czynniki, wynikające z odrębności dróg rozwojowych, mogą powodować różnorodność form organizmów żywych, lecz niektóre cechy morfologiczne oraz procesy fizjologiczne u nich zachodzące mogą być podobne do procesów spotykanych u ziemskich organizmów.

Za najbardziej charakterystyczną cechę roślin ziemskich, wynikającą z ich metabolizmu, uważamy autotrofizm. Podstawą jego jest proces fotosyntezy, podczas którego z prostych związków mineralnych i energii promienistej powstają wysokoenergetyczne związki organiczne. Wiązanie energii promienistej Słońca odbywa się w obecności barwnika zwanego chlorofilem. Stąd też należy przypuszczać, że organizmy z innych planet, podobne roślinom ziemskim, powinny również zawierać jakieś związki barwne spełniające w nich funkcje chlorofilów. Następną powszechnie występującą cechą jest tworzenie się zarodników i nasion jako form reprodukcji. Toteż u organizmów pozaziemskich, zbliżonych budową do roślin ziemskich, mogą wystąpić podobne sposoby reprodukcji. Oczywiście, do określenia organizmu jako rośliny stosuje się jeszcze wiele innych cech, lecz nie są one tak powszechnie występujące jak powyżej wymienione, toteż nie będziemy się ich doszukiwać u organizmów pozaziemskich. Należą tutaj głównie cechy morfologiczne i cytologiczne, lecz odmiennosc warunków fizyko-klimatycznych, a w konsekwencji odmiennosc dróg ewolucji wytworzyła organizmy tak dalece różniące się od ziemskich, że można się tu spodziewać tylko podobieństw bardzo dalekich i powierzchownych. Byłoby to rzeczą niezwykłą, aby na różnych planetach powstały organizmy żywe bardzo podobne do siebie.

Księżyc jest najbliższym sąsiadem Ziemi, bowiem oddalony od niej o blisko 400 tys. km tworzy wraz z nią tzw. układ podwójny Ziemia—Księżyc. Z astronomicznego punktu widzenia można Księżyc uważać za planetę, gdyż stanowisko jego w układzie planetarnym jest pod pewnym względem wyjątkowe. Wzajemne stosunki wielkości Ziemi i Księżyca są inne niż dla pozostałych planet i ich księżyców. Średnica Księżyca stanowi 27% średnicy Ziemi, a masa jego 1/81 część masy Ziemi. Z tych względów układ Ziemia—Księżyc można uważać za planetę podwójną. Jedną z najbardziej interesujących zagadek Księżyca jest kwestia możliwości istnienia na jego powierzchni ożywionych form materii. Zagadnienie to jest przedmiotem interesujących prac C. Sagana, który przeprowadził rozważania na temat możliwości występowania na powierzchni Księżyca protozwiązków substancji organicznych oraz ożywionych form materii i procesów fizyko-chemicznych prowadzących do ich powstania. Zdaniem tego badacza promieniowanie ultrafioletowe wchodzące w skład promieniowania słonecznego może być źródłem energii dla powstania protozwiązków substancji organicznych. W sprzyjających warunkach mogą one stać się podstawą dla powstania na Księżycu żywej materii. Związki takie mogłyby powstać we wczesnych stadiach ewolucji globu księżycowego w jego pierwotnej atmosferze, a następnie przeniknęłyby w głąb powierzchni pod wpływem ciężenia grawitacyjnego, tworząc pewną warstwę o dużym stężeniu. Po ucieczce gazów atmosfery Księżyca, wskutek pochłaniania promieniowania słonecznego oraz innych procesów prowadzących do wzrostu temperatury środowiska, np. gromadzenie się pierwiastków radioaktywnych lub częstego spadku meteorytów, mogłaby nastąpić ewolucja tych protozwiązków do bardziej skomplikowanych drobin, np. cięższych węglowodorów, kwasów organicznych, pyroli itp. Sagan rozważa również możliwości dostania się organizmów obcych do środowiska pyłu księżycowego. Możliwości

utrzymania się ich przy życiu i wytworzenia biostref na Księżycu, jakkolwiek są bardzo małe, to jednak prawdopodobieństwo ich występowania istnieje. Są brane pod uwagę cztery możliwe rodzaje takiego «skażenia biologicznego» pyłu tworzącego glebę na powierzchni Księżyca: a) biomiksy: nie występują żadne organizmy żywe pochodzenia księżycowego lub ziemskiego, lecz są obecne związki mogące stanowić relikt, zarówno organizmów księżycowych jak i ziemskich tam przeniesionych. Przy szczegółowym badaniu ich można będzie zidentyfikować ich pochodzenie. b) sapromiksy: nie występują organizmy żywe pochodzenia księżycowego lub ziemskiego, natomiast są obecne protozwiązki w stanie nieodróżnionym, które mogą być pochodzenia, zarówno biologicznego jak i abiologicznego. c) fagomiksy: nie występują organizmy żywe pochodzenia księżycowego, lecz mogą to być organizmy pochodzenia ziemskiego, które korzystają z protozwiązków, wilgoci i ciepła zawartego w glebie księżycowej. Mogą one w krótkim czasie zniszczyć protozwiązki powstałe w drodze chemicznej ewolucji substancji organicznych. d) ekomiksy, czyli organizmy żywe będące produktem ewolucji związków organicznych na Księżycu. Organizmy pochodzące spoza Księżyca mogą z nimi współżyć w swoistej symbiozie lub też jako formy pasożytnicze na organizmach księżycowych. Lederberg i Cowie przeprowadzili rozważania na temat biologicznych aspektów lotów na Księżyc. Rozważania te dotyczyły głównie korzyści, jakich dla nauki mogą dostarczyć te badania z punktu widzenia biopoezy. Stwierdzone warunki fizyczne, jakie panują na powierzchni Księżyca są niezwykle surowe, jednakże żywe organizmy odznaczają się prawie nieograniczonymi zdolnościami przystosowawczymi. Księżyc prawdopodobnie przechodził początkowo te same fazy rozwoju co Ziemia, lecz mała masa globu księżycowego zdecydowała o szybszym tempie rozwoju, a w późniejszych stadiach o nieco innym kierunku. W okresie późniejszego stadium ewolucji jego skorupy mogły w lokalnych ogniskach powstać takie warunki środowiskowe, że mogły one doprowadzić do powstania protozwiązków, z których mogła się wykształcić materia ożywiona. Związki te mogłyby rzucić nowe światło na proces powstania podobnych im związków na Ziemi. Także obecność ewentualnych żywych organizmów, podobnych do bakterii beztlenowych, miałyby ogromne znaczenie przede wszystkim dla genetyki oraz dla poznania dróg ich ewolucji. Badania te dostarczą również odpowiedzi na pytanie, czy jest możliwe przeniesienie się zarodników życia z jednych planet na drugie. Istnieją także pewne dane obserwacyjne, które pozwalają przypuszczać, że na Księżycu zachowały się jeszcze resztki jego biosfery. Zdają się na to wskazywać zielonawe obszary na dnie niektórych głębokich kraterów, np. *Platona* lub *Alfonsa*, gdzie mogłyby pozostać resztki pierwotnej atmosfery Księżyca, a działalność wulkaniczna tych kraterów mogła stworzyć warunki dla powstania lokalnego mikroklimatu dogodnego dla istnienia i rozwoju żywych organizmów. Byłyby to biostrefy księżycowe, których naturę mogliby dokładnie stwierdzić dopiero biologowie-astronaucci. Powyżej omawiane badania byłyby poważnie utrudnione lub wręcz niemożliwe, gdyby nastąpiło zaburzenie naturalnych warunków przez niezbyt przemyślaną działalność człowieka. Dotyczy to przede wszystkim wywoływania wybuchów jądrowych na powierzchni

Księżyca. Wybuchy takie zniszczyłyby ewentualne organizmy żywe oraz zmieniłyby skład izotopowy i naturalny porządek ułożenia się warstw pyłu księżycowego. Innym problemem jest możliwość przeniesienia na Księżyc mikroorganizmów ziemskich we wnętrzu rakiet lunarnych, co oczywiście zmieniłoby zupełnie, z punktu widzenia biopoezy, stosunki tam panujące. Aby uniknąć tych nieprzewidzianych skutków stosuje się obecnie dokładną sterylizację ostatnich członów rakiet tak, aby zasobniki, które dostaną się na Księżyc, były całkowicie pozbawione mikroorganizmów. Problem ten wystąpi także przy organizacji wypraw księżycowych, gdzie trudności wyeliminowania mikroorganizmów ziemskich będą daleko większe. Jest to jednak konieczne, gdyż, zarówno z teoretycznych rozważań przeprowadzonych przez Firsoffa, Kuipera i Sagana jak i z doświadczalnych badań wykonanych przez Zamenhofa i współpracowników wynika, iż ziemskie mikroorganizmy, np. szczególnie wytrzymałe anaeroby mogłyby istnieć i rozwijać się w warunkach środowiska księżycowego. Zagadnienie istnienia ożywionych form materii na Księżycu zostanie ostatecznie rozwiązane przez ekspedycję kosmonautów, których wysłanie, jak wskazuje na to rozwój techniki raketowej, nastąpi już wkrótce.



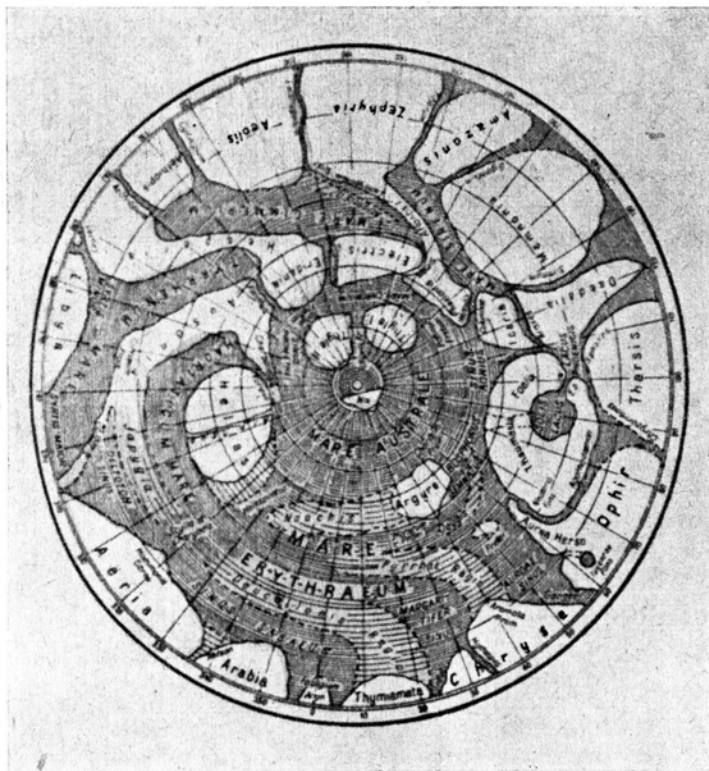
Ryc. 2. Fazy Wenus. A; Wenus w punkcie najbardziej oddalonym od Ziemi, widoczna cała tarcza planety B, C i D: w miarę zbliżania się Wenus do orbity Ziemi faza zmienia się.

Wenus jest drugą z kolei planetą w układzie planetarnym Słońca a pierwszą spośród krążących w strefie ekosfery. Mimo niezbyt dużej odległości od Ziemi wiedza nasza o tej planecie zawiera mnóstwo luk i niejasności. Powodem tego stanu rzeczy jest gruba warstwa chmur otaczająca stale powierzchnię Wenus. Z tego też powodu rozważania na temat biosfery Wenus są wysoce hipotetyczne i oparte jedynie na danych, uzyskanych drogą pośrednią. Ze względu na rozmiary globu i inne warunki fizyczno-klimatyczne Wenus można uważać za siostrzycę Ziemi. Spośród wielkości charakteryzujących warunki fizyczno-klimatyczne, poważnie różniących się od stosunków ziemskich, najważniejszą jest temperatura na powierzchni planety. Jak wykazały pomiary, wykonane przy pomocy metod astrofizycznych, średnia temperatura Wenus jest wyższa od ziemskiej. Podwyższenie temperatury na Wenus jest wynikiem, zarówno zwiększonej ilości otrzymywanej energii słonecznej (stała słoneczna $3,75/\text{cal}/\text{cm}^2 \text{ min}$) oraz dużej zawartości CO_2 w atmosferze, która powoduje tworzenie się warunków cieplarnianych. Średnia

temperatura na Wenus wynosi $+55^{\circ}\text{C}$, jednakże wskutek pochylenia osi obrotu planety, występują strefy klimatyczne podobnie jak na Ziemi, a zatem występują tam duże różnice temperatur między strefą równikową i strefami polarnymi. Atmosferę Wenus tworzy głównie azot i CO_2 , oraz w małych ilościach CO , N_2O , CH_4 , NH_3 , i inne domieszki, obecność zaś pary wodnej i tlenu molekularnego jest kwestią sporną. W 1955 roku D. H. Menzel i F. L. Whipple, badając polaryzację światła odbitego od obłoków Wenus, stwierdzili podobieństwo ich do obłoków utworzonych z kropelek wody, ostatnie zaś badania Kozyrewa wskazują na obecność wolnego tlenu w atmosferze Wenus. Warto tutaj nadmienić, że nasza znajomość atmosfery wenusjańskiej jest ograniczona tylko do warstwy znajdującej się ponad obłokami. Położenie orbity Wenus w ekosferze Słońca i warunki fizyczno-klimatyczne oraz skład chemiczny planety stwarzają dogodne warunki dla powstania i rozwoju życia na tej planecie. Obecność grubej warstwy chmur ma pierwszorzędne znaczenie dla procesu powstawania życia, gdyż mogą one odgrywać rolę płaszcza ochronnego przed zbyt przenikliwym promieniowaniem kosmicznym i ultrafioletowym, osłabiając poważnie ich zdolności destrukcyjne. Natomiast promieniowanie w zakresie widma widzialnego jest tylko rozpraszane przez te warstwy chmur. Zgodnie z hipotezą Bernala promieniowanie ultrafioletowe stanowiłoby źródło energii dla powstawania związków organicznych, będących prekursorami żywej materii. Jest wysoce prawdopodobne, że tę szczególną rolę donatora energii w procesie biopoezy na Wenus odegrała elektryczność atmosferyczna. Zaobserwowano bowiem w atmosferze Wenus olbrzymie zorze polarne oraz niezwykle potężne wyładowania elektryczne, które mogą być źródłem energii dla procesu powstawania życia. Doświadczalnym potwierdzeniem tej tezy mogą być znane doświadczenia Millera, gdzie źródłem energii dla syntezy związków organicznych były właśnie wyładowania elektryczne w mieszaninie gazów. Dla powstałych już żywych organizmów heterotroficznych źródłem energii mogą być związki organiczne, powstałe drogą abiogenicznej syntezy, lub dla autotrofów rozproszone przez obłoki światło słoneczne. Jednym z pośrednich dowodów istnienia biosfery na Wenus jest duża zawartość CO_2 w atmosferze. Dwutlenek węgla jest zarówno produktem intensywnych procesów biologicznych, jak i procesów nieorganicznych, np. wulkanicznych. Biologicznym procesem produkującym CO_2 na tak dużą skalę mogą być procesy fermentacyjne, zachodzące w organizmach żywych o heterotroficznym typie odżywiania. Jest to bardzo prymitywny sposób zdobywania energii życiowej, charakteryzujący prymitywne organizmy i prowadzi on do gromadzenia się olbrzymich ilości CO_2 . W historii życia na Ziemi istniał podobny okres w początkowych stadiach jego rozwoju. Dwutlenek węgla wyprodukowany wówczas został później zużyty w procesie fotosyntezy w okresie paleozoicznym. Wenus znajdowałaby się obecnie w tym stadium ewolucji planetarnej, w jakim była Ziemia w okresie paleozoicznym. Wskazują na to, zarówno stwierdzone warunki fizyczno-klimatyczne oraz teoretyczne rozważania oparte na pojęciu ekosfery Słońca. Wenus obecnie znajduje się na początku strefy ekosferycznej, a więc jest planetą ewolucyjnie młodą. Obecnie powszechnie uznawany jest pogląd, iż Wenus jest planetą życia dopiero się rodzą-

cego. Wziąwszy pod uwagę hipotezę Menzela i Whipple'a przyjmującą, że cała powierzchnia Wenus jest pokryta wodą, organizmy żywe tam egzystujące byłyby wyłącznie organizmami wodnymi. Pogląd ten podziela m. in., Urey, lecz możliwe jest również, że ponad powierzchnię wody wynurzone są jakieś niezbyt wielkie obszary lądów, np. wyspy, na powierzchni których mogłyby rozwijać się prymitywne organizmy podobne do ziemskich roślin niższych. Wśród badaczy Wenus są również zwolennicy poglądu, że na jej powierzchni znajdują się także organizmy stojące na dość wysokim szczeblu ewolucji, odpowiadające naszej roślinności z wcześniejszych epok geologicznych. Pierwszym uczonym, który postawił tezę o «roślinności» na Wenus był Housden, który przedstawił ją w swej książce poświęconej Wenus, wydanej w 1915 r. Również Svante Arrhenius uważa Wenus za planetę o wilgotnej parnej atmosferze oraz powierzchni obdarzonej bogatą roślinnością. Procesy wegetacyjne są silnie przyspieszone ze względu na dużą ilość wilgoci i wysoką temperaturę, okres zaś wegetacji jest bardzo krótki, co może przyspieszyć ewolucję organiczną. W ostatnich latach zwolennikiem istnienia na Wenus organizmów żywych, podobnych do ziemskich roślin, był znany radziecki astronom G. Tichow. Wysunął on hipotezę, w myśl której na Wenus istniałaby roślinność podobna do ziemskiej roślinności z okresu paleozoicznego. Argumentami przemawiającymi na korzyść tej hipotezy są następujące fakty: znaczne podobieństwo fizyczne globu Wenus do Ziemi, duża zawartość CO_2 w atmosferze, temperatura $+55^\circ\text{C}$ oraz inne dane, świadczące o wczesnym stadium ewolucji planety jako całości. Obserwacyjne potwierdzenie hipotezy Tichowa stanowią badania Barabaszewa nad rozkładem jasności chmur otaczających Wenus. Stwierdził on w niektórych miejscach przewagę promieni żółtych i czerwonych, która może być powodowana m. in. odbijaniem ich przez biostrefy Wenus. Stwierdzono również fakt zmiany barwy Wenus w zależności od fazy, w jakiej się ona znajduje. Owe zmiany barwy mogą być zależne od zmian obszarów, od których następowałoby odbijanie się promieni żółto-czerwonych, zmiany zaś fazy prowadziłyby do zmian w intensywności barwy, będących wynikiem zmniejszania się lub zwiększania powierzchni odbijającej. Biostrefy te mogą być skupieniem organizmów żywych, podobnych do roślin ziemskich ze strefy tropikalnej i posiadającej własności optyczne pozwalające im na odbijanie promieni żółto-czerwonych. Niemalą rolę odgrywałaby tutaj wysoka temperatura, która zmuszałaby organizmy żywe do pozbywania się nadmiaru energii cieplnej i w tym celu odbijałyby one «ciepłe» promienie żółto-czerwone. Odbijanie to mogłoby nastąpić przy pomocy barwników podobnych do ziemskich karotenów i ksantofili lub innych substancji spełniających podobne funkcje. W tych warunkach życie organiczne oparte na strukturze węglowej musiałyby się chronić do strefy umiarkowanej lub nawet subarktycznej, aby tam znaleźć dogodniejsze warunki egzystencji. Kutyrewa wykonała porównawcze badania we Wschodnim Pamirze w okolicy Djelanda, gdzie w gorących źródłach o temperaturze ok. $+70^\circ\text{C}$ obserwowała występowanie roślin o zabarwieniu żółto-pomarańczowym i tylko niewielką liczbę glonów o barwach fioletowo-zielonych. Obecność żółto-pomarańczowej barwy u tych roślin była wyraźnie uwarunkowana wysoką temperaturą środowiska.

Również wśród roślin ze strefy tropikalnej można obserwować występowanie żółto-pomarańczowego i czerwonego zabarwienia liści i łodyg. Szczególnie zjawisko to występuje wśród przedstawicieli rodzin: *Acanthaceae*, *Araceae*, *Bromeliaceae*, *Piperaceae* oraz wielu innych, a powodem tego zjawiska jest ochrona przed niepożądanym wzrostem temperatury na ich powierzchni. Podobnych analogii fizjologicznych można by się również spodziewać u organizmów wenusjańskich. Oprócz ewentualnych organizmów podobnych do ziemskich roślin wydaje się nie ulegać wątpliwości obecność ożywionych form materii zbliżonych do ziem-



Ryc. 3. Południowa półkula Marsa. Ciemne obszary to «morza», jasne zaś są «ładami». Mapa sporządzona przez Schiaparellego.

skich bakterii i wirusów. Organizmy tego rodzaju odznaczają się niebywałą wprost plastycznością i zdolnościami przystosowawczymi do najbardziej niezwykłych środowisk, toteż mogą one występować na Wenus. Powyższy przegląd danych, uzyskanych zarówno drogą obserwacji i badań porównawczych jak i rozważań teoretycznych, wskazuje na wysokie prawdopodobieństwo występowania ożywionych form materii na planecie Wenus.

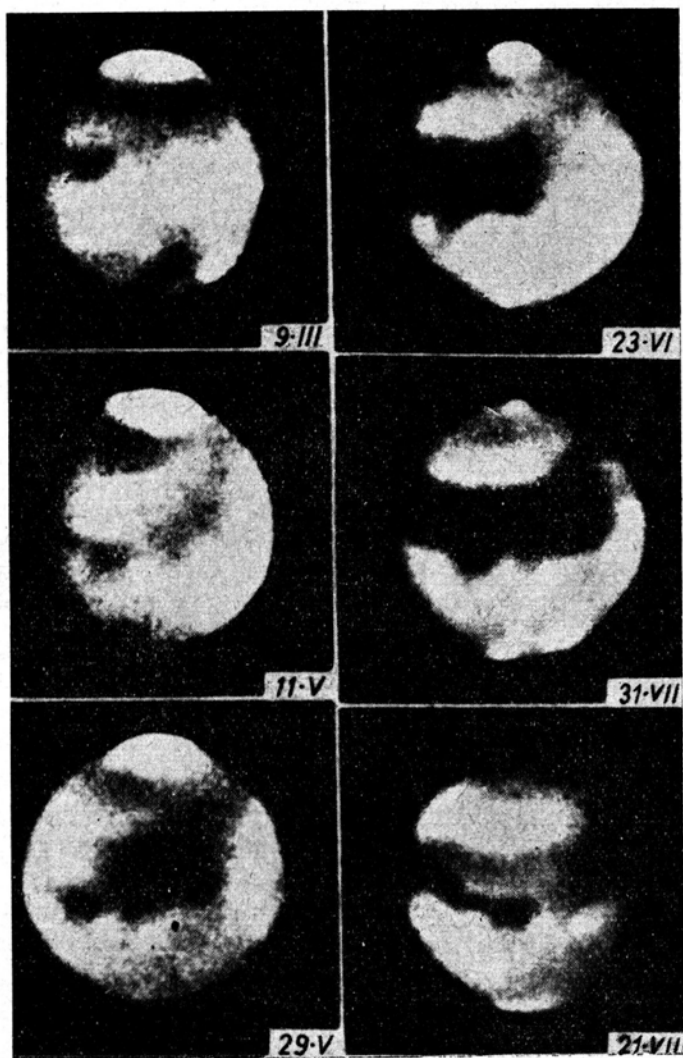
Następną z kolei planetą jest Ziemia. Zajmuje ona w ekosferze Słońca miejsce pośrednie między Wenus a Marsem, a zatem znajduje się w strefie optymalnej dla

egzystencji organizmów żywych. Położenie to sprzyja ewolucji związków organicznych, której efektem jest powstanie życia w takiej różnorodności form, jaką obecnie obserwujemy we wszystkich środowiskach na Ziemi. Drogi ewolucji doprowadziły do podziału organizmów żywych na świat roślin i świat zwierząt, przy czym świat roślin stanowi podstawę dla całego procesu ewolucji. Organizmy żywe zasiedliły wszystkie środowiska: hydrosferę, litosferę i atmosferę, a rolę pionierów w zasiedleniu tych środowisk odgrywały zawsze rośliny. Toteż obecnie nie ma skrawka powierzchni Ziemi, aby nie były tam obecne jakieś formy roślinne. Z tego powodu biostrefy na Ziemi prawie całkowicie pokrywają jej powierzchnię.

Mars jest trzecią z kolei i zarazem ostatnią z planet, znajdujących się w ekosferze Słońca. Doskonałe warunki obserwacyjne, na które składają się: bezchmurna i rozrzedzona atmosfera, możliwość obserwacji całej tarczy planety w czasie jej największego zbliżenia do Ziemi, a przede wszystkim niezbyt duża odległość orbity Marsa od orbity Ziemi. Wszystkie te czynniki sprawiły, że punkt ciężkości obecnych badań astrobotanicznych spoczywa na zagadnieniu istnienia ożywionych form materii na powierzchni Marsa. Szczególne znaczenie miały tutaj tzw. opozycje Marsa, a zwłaszcza ostatnie z lat 1954, 1956 (wielka opozycja) i 1958, które dostarczyły wiele interesujących materiałów. W ciągu ostatnich paru lat dokonano także interesujących rozważań teoretycznych dotyczących biosfery na Marsie oraz wykonano doświadczenia laboratoryjne nad zachowaniem się mikroorganizmów ziemskich, znajdujących się w warunkach naśladujących stosunki panujące na Marsie. Badania te doskonale uzupełniają wyniki obserwacji astronomicznych marsjańskich «mórz» i «kanałów». Tworzy te należą do najbardziej interesujących wśród szczegółów, jakie możemy obserwować na tarczy Marsa. Obszary te są najprawdopodobniej biostrefami Marsa, a liczne badania ich dotyczące zostaną nieco dalej szczegółowo omówione. Obecnie bowiem należy rozpatrzyć, czy istniejące na Marsie warunki fizyczno-klimatyczne dopuszczają możliwość występowania tam ożywionych form materii.

Warunkiem niezbędnym do utrzymania dostatecznie gęstej atmosfery przez planetę jest duża masa oraz odpowiednio duży promień. Dla Marsa siła grawitacji wynosi około 0,40 ziemskiej, a zatem jest zdolna utrzymać atmosferę złożoną z drobiny gazów, które występują w atmosferze ziemskiej. Obserwacje wykonane przez astronomów potwierdzają obecność bardzo rozrzedzonej atmosfery na Marsie. Badania te prowadzą do wniosków, że atmosfera Marsa prawdopodobnie zawiera w olbrzymiej przewadze azot, bo około 98%, pozostałe 2% to CO_2 , para wodna i inne gazy, np. SO_2 , N_2O , CH_4 , C_2H_6 , NH_3 , będące w minimalnej ilości. Tlenu jest bardzo mało i obecność jego jest wątpliwa, natomiast Kuiper, badając atmosferę Marsa, stwierdził obecność ozonu O_3 . Ponieważ na Marsie ciśnienie atmosferyczne wynosi ok. 80 milibarów, przeto jest możliwe, że tlen w tych warunkach mógł utworzyć drobiny ozonu, podobnie jak to zachodzi w górnych warstwach atmosfery ziemskiej. Badania atmosfery Marsa metodą analizy spektralnej nie wykazały obecności tlenu, lecz są one utrudnione wskutek dużego rozrzedzenia jej oraz silnych linii tellurycznych, których wzmocnienie przez linie gazów atmo-

sfery Marsa jest nikle. Brak tlenu molekularnego na Marsie, tzn. brak danych potwierdzających istnienie O_2 w atmosferze, nie dowodzi jeszcze braku jego w ogóle na tej planecie. Obecność O_3 i CO_2 wskazywałyby, że może też być i O_2 , lecz w ilościach bardzo małych, które jeżeli dostaną się do atmosfery, to szybko się rozprszą.



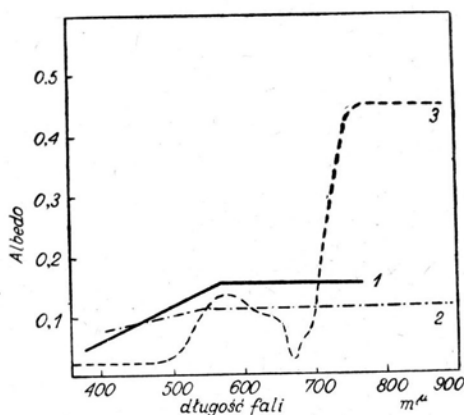
Ryc. 4. Zmiany sezonowe «mórz» na Marsie. Dаты odnoszą się do roku marsowego. Widoczne są wyraźne zmiany w zasięgu ciemnych obszarów na tarczy planety.

Osobne zagadnienie stanowi woda, która ma szczególnie ważne znaczenie, gdyż jest ona dogodnym środowiskiem dla fizykochemicznych przemian żywych organizmów. Jakkolwiek analiza spektralna nie wykazała pary wodnej w atmosferze Marsa, to jednak obecność jej jest niewątpliwa. Wskazują na to przede wszystkim ranne

przymrozki w strefie terminatora oraz czapy biegunowe, które są zbudowane z zestalonej wody. Stwierdzono to na podstawie badań Kuipera, który badał widmo czapy polarnej w podczerwieni, porównując je z widmem zbiornika wodnego. Do podobnych wniosków prowadzą badania Kalaba i Sommera, którzy wykryli istotną zależność między wielkością czapy a natężeniem promieniowania słonecznego. Podczas topnienia czapy biegunowej zauważono niebieskawe zabarwienie jej brzegów, które wskazuje na obecność wody. Duża szybkość zanikania tych czap dochodząca do 100 km na dobę oraz ich całkowite topnienie, a także brak widomych zbiorników wodnych dowodzą, że warstwa wody tworząca te czapy jest co najwyżej kilkucentymetrowej grubości, z wyjątkiem samych stref biegunowych, gdzie grubość jej może być większa. Mała ilość wody, oraz skupienie jej przede wszystkim w okolicach biegunów i w atmosferze, wskazuje na sposób, w jaki odbywa się jej krążenie w przyrodzie Marsa. Opady atmosferyczne prawdopodobnie występują w postaci mgły lub szronu, co pozwala na pobieranie wody przez ewentualną roślinność marsjańską w sposób podobny, jak to czynią niektóre rośliny ziemskie, np. porosty. Mars należy do grupy małych planet podobnych do Ziemi. Jak już uprzednio wykazaliśmy, woda jest skupiona głównie w okolicach biegunów lub w atmosferze, co powoduje, że około 79% powierzchni Marsa pokryte jest przez pustynie. Na obecność ich wskazuje czerwono-żółte zabarwienie powierzchni oraz częste zamglenia o barwie żółto-brunatnej, które wskazują na obecność obłoków pyłowo-piaskowych. Albedo obszarów pustynnych na Marsie jest bardzo podobne do albeda pustyń ziemskich, co również jest dowodem, że obszary te są istotnie pustyniami piaskowymi. Jest to oczywiście niezbyt dogodnie podłoże glebowe, lecz na powierzchni ziemskich pustyń, gdzie istnieją podobnie niedogodne warunki, żyje wiele gatunków roślin przystosowanych do takiego trybu życia. Wobec możliwości życia na tej planecie zagadnienie temperatury jest szczególnie ważne. Mars, wskutek swego oddalenia od Słońca o 1,52 jedn. astr., otrzymuje ok. 2,3 raza mniej energii promienistej niż Ziemia. Również rozrzedzona i bezchmurna atmosfera powoduje silne wypromieniowanie, toteż klimat jego jest surowszy niż ziemski. Wskutek nachylenia osi obrotu do płaszczyzny orbity, wynoszącego około 25° , występuje na Marsie, podobnie jak na Ziemi, następstwo pór roku, a wskutek obrotu wokół osi następstwo dnia i nocy. Zmiany te powodują duże różnice temperatur na powierzchni Marsa. Najbardziej dogodne do rozwoju życia są strefy okołobiegunowe, gdyż zawierają dostateczną ilość wody, zaś temperatura ich w lecie wynosi ok. $+6^\circ\text{C}$. Według pomiarów Nicholsona i Petita oraz Coblentza i Lamplanda wahania temperatur wynikające ze zmian pór roku są duże, gdyż w lecie na równiku jest ok. $+20^\circ\text{C}$, w zimie zaś w nocy ok. -70°C . Średnia roczna temperatura dla Marsa wynosi -20°C .

Do najbardziej interesujących szczegółów na powierzchni Marsa należy zaliczyć ciemne obszary, zwane obecnie przez astronomów «morzami» i «kanałami». W 1877 roku Schiaparelli odkrył na powierzchni Marsa ciemne prostoliniowe utwory łączące poszczególne «morza» i «jeziora» między sobą i nazwał je «kanałami». Od tego czasu datują się szczególnie intensywne ich badania, dzięki którym

poznano ich właściwości, rozmieszczenie itp. Badania powyższe dowiodły, że twory te wykazują wiele niezwykłych cech. Należą do nich: okresowe zmiany kształtu, koloru, intensywności barwy i polaryzacji światła odbitego. Stwierdzono również, że zarówno «morza» jak i «kanały» mają strukturę kępkowatą i różnią się od «łądów» wieloma cechami, np. współczynnikiem gładkości, albedem, temperaturą oraz posiadają zdolności regeneracyjne, mimo stale działających na nie destrukcyjnie burz piaskowych. Od blisko stu lat trwa spór o istotę tych zagadkowych utworów, a jedną z hipotez tłumaczących ich naturę jest hipoteza wegetacyjna. Po raz pierwszy została ona wypowiedziana w 1878 roku przez Liaisa i Crulsa i w miarę postępu nauki zdobywa sobie coraz więcej zwolenników. Zaletą jej jest to, że tłumaczy w sposób najbardziej naturalny wszystkie niezwykle cechy «mórz» i «kanałów» na Marsie. Zatem byłyby to skupienia swoistych dla Marsa organizmów

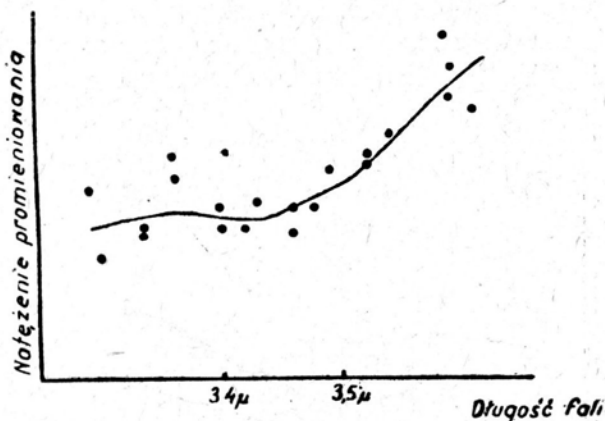


Ryc. 5. Albedo roślin ziemskich i «mórz» Marsa. 1. Krzywa dla «mórz» Marsa, 2. Krzywa dla ziemskich roślin niższych (glony, grzyby, porosty i mchy), 3. Krzywa dla ziemskich roślin wyższych (rośliny kwiatowe). Dane wg badań Kuipera.

żywych czyli jego biostrefy. Pionierskie w tej dziedzinie badania Flammariona, Proctora, Lovella, Tichowa, Sliphera i wielu innych astronomów dostarczyły mnóstwo danych obserwacyjnych, przemawiających za słusnością hipotezy wegetacyjnej, jednakże dopiero badania wykonane w okresie ostatnich kilkunastu lat przyniosły wyniki pozwalające na bliższe określenie natury marsjańskiej «roślinności». Określone uprzednio surowe warunki fizyczno-klimatyczne panujące na powierzchni Marsa nie wykluczają możliwości egzystencji żywych organizmów, np. roślin, które odznaczają się tym, że są organizmami samożywymi, tzn. że z substratów nieorganicznych i energii promienistej, mogą wytwarzać substancje organiczne, będące podstawą przemiany materii. Źródłem energii życiowej byłaby, podobnie jak na Ziemi, energia promienista Słońca, pobierana na drodze procesu podobnego do fotosyntezy przez organizmy żywe podobne do roślin. Roślinność Marsa, jeżeli ją można tak nazwać, tylko wskutek podobieństwa niektórych pro-

cesów życiowych mogłaby przypominać roślinność ziemską strefy arktycznej lub wysokogórską. Warunki egzystencji tych roślin są zbliżone do warunków klimatycznych panujących na Marsie. Toteż niektóre jej cechy powinna wykazywać roślinność marsjańska. Ciągłość ewolucji żywej materii i zmienność jej form, oraz związana z tym możliwość przystosowania się do danego środowiska, umożliwia adaptację organizmów żywych do niezbyt łatwych warunków życia na tej planecie, które w dawnych okresach mogły być bardziej sprzyjające dla rozwoju życia. Jest bowiem wysoce prawdopodobne, że w poprzednich okresach rozwoju planety stosunki wodne, a także i atmosferyczne, na Marsie były bardziej korzystne dla istnienia życia niż obecnie, lecz skutek małej masy planety większość gazów i wody uległa rozproszeniu w przestrzeni kosmicznej. Opierając się na współczesnych teoriach kosmogonicznych możemy przypuszczać, że na Marsie, w podobny sposób jak na Ziemi, zachodziły przemiany związków chemicznych i mogły zaistnieć sprzyjające warunki dla powstania struktur białkowych obdarzonych życiem. Obecnie wśród astronomów, zajmujących się zagadnieniem roślinności na Marsie, przeważa pogląd, że są to organizmy niższe podobne do ziemskich glonów, grzybów, porostów i mchów. Jest również wysoce prawdopodobne, że w skład biosfery Marsa wchodzi także bogata flora bakteryjna i wirusowa. Interesujące są na ten temat poglądy znanego radzieckiego badacza, Lebedyńskiego. Przypuszcza on, że są to prymitywne organizmy beztlenowe, mogące korzystać z minimalnych ilości wody. Morfologiczny pokrój hipotetycznej roślinności Marsa byłby podobny do naszych ziemskich mchów i porostów oraz niektórych sukulentów. Rośliny te przystosowują się w warunkach ziemskich do skrajnych środowisk i mają stosunkowo niskie wymagania pod względem warunków świetlnych i termicznych oraz posiadają zdolność magazynowania tlenu i wody w swych tkankach i wyzyskiwania ich do procesu fotosyntezy. Własności te są szczególnie ważne, gdyż fotosynteza jest procesem warunkującym istnienie życia na danej planecie. Szczególnie ziemskie porosty wykazują wiele cech, którymi mogą się charakteryzować ewentualne rośliny marsjańskie. Porosty są organizmami prymitywnymi, złożonymi ze strzępków grzyba i glonów żyjących ze sobą w symbiozie. Spotykamy gęste ich skupienia na glebach ubogich w składniki pokarmowe, np. skałach, piaskach itp. Rozmieszczenie ich na kuli ziemskiej jest uniwersalne. Występują bowiem od strefy skał opryskiwanych wodą morską aż po najwyższe wzniesienia masywów górskich, od stref tropikalnych aż do bliskich biegunom stref arktycznych. Szczególnie tam tworzą tzw. tundry porostowe. Biorą one decydujący udział w rozkładzie skał i początkach tworzenia się gleby, a formy endolityczne wnikają płytko w skały podłoża, rozpuszczając je przy pomocy wydzielanych kwasów. Barwa porostów jest żółta, pomarańczowa, zielonawa, i niebieska lub brunatna a nawet czarna. Jako organizmy żywe porosty odznaczają się wprost niezwykłą wytrzymałością na niedogodne warunki otoczenia. Bez większej szkody mogą znieść długotrwałą suszę w stanie anabiozy, ponadto posiadają zdolności pobierania wody higroskopijnie wprost z atmosfery w postaci pary wodnej. Po deszczu szybko wysychają i wskutek tego nie mają one trwałej zdolności do fotosyntezy. Porosty wytrzymują silne wahania temperatur; za dnia

mogą być bardzo silnie nagrzewane promieniami słonecznymi, w nocy zaś oziębię do kilkudziesięciu stopni poniżej 0°C , zapadają w stan anabiozy. Procesy oddychania ustają przy minus 10°C , a fotosynteza dopiero przy minus 35°C . Wzrost ich jest niezwykle powolny, co wskazuje, że tempo przemiany materii jest bardzo słabe. Porosty, żyjąc w miejscach wysoko położonych, przystosowały się również do zmniejszonego ciśnienia i małej zawartości tlenu w atmosferze. Jak z powyższych rozważań wynika, organizmy marsjańskie podobne do ziemskich porostów mogłyby istnieć w warunkach panujących na Marsie.



Ryc. 6. Albedo Marsa w podczerwieni. Krzywa rozkładu natężenia promieniowania podczerwonego. Dane wg badań Sintona w 1956 r.

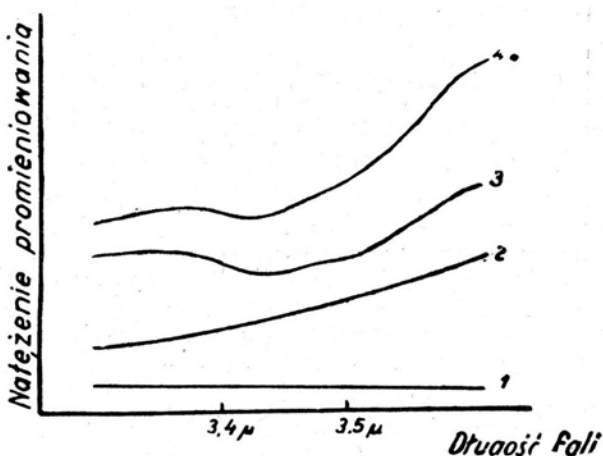
Dogodne warunki obserwacyjne podczas wielkich opozycji pozwoliły na szereg badań powierzchni Marsa. Obserwacje te wykazały, że tzw. «morza» charakteryzują duże zmiany w zakresie barwy i intensywności zaciemnienia w zależności od pory roku. Barwa ich w czasie zimy szarawa, z chwilą topnienia czap polarnych zmienia się na ciemno-niebiesko-zieloną, a następnie już w połowie lata przechodzi w żółtobrunatną. Zmiany te, zachodzące w kierunku od bieguna ku równikowi planety, Tichow porównuje do zmian sezonowych roślinności na Ziemi i uważa za jeden z dowodów istnienia jej na Marsie. Tichow zauważył również, że oprócz obszarów zmieniających barwę, istnieją jeszcze inne obszary, które nawet w zimie mają barwę zieloną. Tereny te są prawdopodobnie również pokryte roślinnością, lecz nieco inną. Tichow nazywa ją roślinnością zimowo-zieloną dla odróżnienia od roślinności wiosenno-zielonej. Opierając się na zmianach zabarwienia roślin ułożył on kalendarz sezonowych zmian na Marsie:

1. W końcu czerwca i do połowy lipca występuje zielono-niebieskie zabarwienie, które oznacza rozwój roślinności wiosenno-zielonej;
2. W końcu lipca i początku sierpnia następuje zmiana barwy na żółtobrunatną. Oznacza to zbliżenie się końca wegetacji roślin wiosenno-zielonych.
3. W drugiej połowie sierpnia kolor brunatny blednie, gdyż roślinność wiosenna zamiera.

4. W końcu sierpnia i początku września pojawia się zabarwienie niebiesko-zielonawe, co wskazuje na obecność roślinności zimowo-zielonej, która była dotychczas zakryta przez roślinność wiosenno-zieloną.

5. Pod koniec września blednie odcień niebiesko-zielony prawdopodobnie wskutek pokrycia roślin szronem w związku z nadchodzącą zimą.

Podany wyżej schemat został umownie przeliczony na ziemskie miesiące, gdyż na Marsie rok trwa dwa razy dłużej niż na Ziemi. Również pory roku podane są tylko przez analogię do zjawisk ziemskich. Dalsze badania wykazały, że zmienia się nie tylko barwa «mórz», ale także ich kształt i zasięg. Dzieje się to zwykle na wiosnę podczas ciemnienia tych obszarów. W różnych latach zmiany te mają różne nasilenia i różny zasięg, jak to potwierdziły badania wykonane podczas ostatnich



Ryc. 7. Albedo Marsa w podczerwieni. Rezultat analizy statystycznej wyników obserwacji Sintona. Na obserwacyjnie uzyskaną krzywą 4 składają się: 1. Krzywa promieniowania odbitego przez pustynie, 2. Krzywa promieniowania termicznego planety, 3. Krzywa promieniowania odbitego od «roślinności» Marsa, uzyskana na podstawie obserwacji ziemskich porostów. Dane wg badań Sintona w 1956 r.

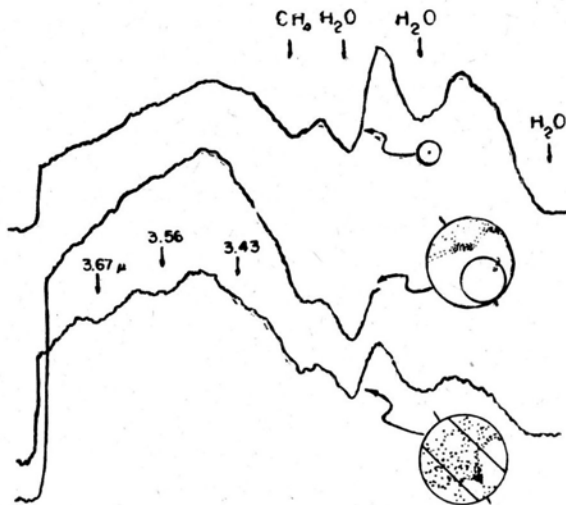
obserwacji. Wykazały one zmiany zarysów «mórz» i «łądów», zwłaszcza w okolicy *Syrtis Major*. Ponadto stwierdzono istnienie nowego ciemnego obszaru znajdującego się w okolicy *Nodus Alcyonius*. Tereny te wykazują dużą zmienność pod względem barwy, kształtu i zaciemnienia. Zmiany powyższe mogą oznaczać ekspansję «roślinności» na pustynne połączenie łądów. Badania Kalaba i Sommera wykonane metodą fotografowania Marsa przy stosowaniu barwnych filtrów, wykazały typowo roślinne zabarwienie tych obszarów, a niektóre szczegóły wykazywały podczas obserwacji w stosunku do 1950 roku widoczne zmiany w intensywności zaciemnień, zabarwieniu i rozmiarach, co również sugeruje, że są to obszary pokryte swoistą dla Marsa roślinnością. Pogląd ten ma swe uzasadnienie, w pracach amerykańskiego astronoma Kuipera, który porównywał albedo roślin marsjańskich z albedem roślin ziemskich. Stwierdził on, że między albedem roślin marsjańskich a albedem

roślin wyższych ziemskich zachodzą istotne różnice, natomiast albedo to jest zgodne z albedem glonów, porostów i mchów. Widmo tego światła, podobnie jak widmo światła odbitego od roślin Marsa, nie wykazuje minimum rozpraszania w czerwieni ani maksimum w podczerwieni. Przedstawiona na wykresie krzywa rozproszenia światła w zależności od długości fali jest linią prostą równoległą do osi odciętych, podobnie jak krzywa charakteryzująca pod tym względem zaciemnione obszary na powierzchni Marsa. Kuiper wyciąga z tego wnioski, że mogą one być pokryte tego właśnie rodzaju roślinnością. Nie jest on w tym sądzie odosobniony, bowiem obserwacje wykonane przez innych uczonych zdają się również wykazywać istnienie na Marsie żywych organizmów podobnych do ziemskich roślin niższych. Szczególnie cenny wkład do astrobotaniki stanowią badania amerykańskiego astronoma Sinton'a, wykonane w latach 1956 i 1958. Zwrócił on uwagę na fakt silnego pochłaniania przez rośliny ziemskie promieniowania o długości fali $3,46\mu$. Jest to pasmo absorpcyjne charakterystyczne dla związków organicznych (wiązanie C-H). Jest ono szczególnie łatwe do wykrycia w roślinach suchych, np. porostach, gdzie nie jest przytłumiane pasmami absorpcyjnymi wody. W 1956 roku w czasie wielkiej opozycji Marsa Sinton dokonał obserwacji widma światła odbitego od Marsa. Jednakże promieniowanie Marsa w części podczerwonej było bardzo słabe i nie pozwoliło na zbadanie osobno «mórz» i «łądów». Rozrzut punktów pomiarowych był duży, toteż poddano je analizie statystycznej. Otrzymana jako rezultat krzywa wykazywała pochłanianie w paśmie $3,46\mu$. Jednakże krzywa ta była wynikiem nałożenia się krzywych składowych pochodzących od promieniowania termicznego planety, światła odbitego od pustyń i światła odbitego od hipotetycznej roślinności. Sinton poddał krzywą analizie na jej składowe i obliczył wkład każdej z nich do otrzymanych wyników. Krzywą promieniowania termicznego planety uzyskano z pomiarów temperatury powierzchni. Albedo dla pustyń przyjęto za stałe, trzecią zaś składową pochodzącą od «roślin» wyznaczono na podstawie albeda porostów ziemskich. Okazało się, że wszystkie te krzywe wchodzi do otrzymanej obserwacyjnie sumy, przy czym największy wkład pochodzi od krzywej dla porostów. Zastosowanie testu «t» wykazuje, iż prawdopodobieństwo, że krzywa albeda porostów nie daje żadnego wkładu do obserwowanego albeda jest mniejsze od 1%. W 1958 roku Sinton powtórzył swe badania przy pomocy olbrzymiego teleskopu z Mt Palomar, co umożliwiło mu pomiary poszczególnych obszarów «łądów» i «mórz». Wynik był rewelacyjny. Przy pomiarach dla pustyń nie zaobserwowano pochłaniania podczerwieni natomiast przy pomiarach dla «mórz» wystąpiły bardzo wyraźnie trzy pasma absorpcji o długości fali $3,43\mu$, $3,56\mu$, i $3,67\mu$. Badano obszary «mórz» zwane *Syrtis Major*, *Mare Sirenum* i *Mare Cimmerium*, zawsze z tym samym wynikiem. Dzisiejszy stan wiedzy nie zna innego wytłumaczenia tego faktu jak tylko przyjęcie, że na powierzchni «mórz» Marsa występują związki organiczne, bowiem nie znamy obecnie żadnej substancji nieorganicznej o zdolności pochłaniania światła o tej długości fali. Badania powyższe są obecnie najsilniejszym argumentem przemawiającym za słusnością hipotezy wegetacyjnej. Szczegółowe badania porównawcze wykazały, iż dwa pierwsze pasma dość dokładnie odpowiadają pasmom

pochłaniania dla substancji organicznej. Pochłanianie światła podczerwonego w tym obszarze jest wywołane przez obecność w roślinach związków węgla z wodorem, bowiem tej długości fali odpowiada rezonansowa częstość drgań atomów węgla i wodoru wzdłuż osi ich wiązania w cząsteczkach związków organicznych. Trzecie pasmo $3,67\mu$ zdawało się wskazywać na pewną odrębność związków organicznych na Marsie, lecz i tutaj zauważono podobieństwo do roślin ziemskich, gdyż podobne pasmo pochłaniania odpowiadające węglowodanom stwierdzono u glonu *Cladophora*. Znakomitym uzupełnieniem tego rodzaju badań są prace innych astronomów zajmujących się astrobotaniką. Tichow wydzielił z widma światła odbitego od «mórz» tę część składową promieniowania, która pochodzi od ciemnej substancji pokrywającej «morza». Wykorzystał on wyniki obserwacji Kozyrewa z roku 1954, który fotografował widmo Marsa uzyskując osobno widmo *Syrtis Major* i otaczającej ją pustyni. Tichow przyjął założenie, że «morza» są niecałkowicie pokryte roślinnością, a zatem albedo *Syrtis Major* jest efektem nałożenia się dwóch składowych, albeda hipotetycznej roślinności i albeda odsłoniętych obszarów pustyni. Z przebiegu obu krzywych i albeda roślinności obliczono, że powierzchnia zajmowana przez ową roślinność wynosi około 53% powierzchni «morza», a stąd można obliczyć widmowy rozkład albeda dla ciemnej substancji pokrywającej *Syrtis Major*. Analiza wykazała, że przy długości fali ok. 5200 \AA zaznacza się silne maksimum, oznacza to, że substancja ciemna pokrywająca *Syrtis Major* ma kolor szarozielonkawy. Warto nadmienić, że krzywa otrzymana przez Tichowa jest podobna do krzywych rozkładu albeda niektórych porostów ziemskich. Badania te wykazują również, że «morza» mają strukturę kępkowatą, a wniosek ten potwierdzają pomiary współczynnika gładkości wykonane przez Dollfusa i Kowala. Współczynnik ten jest różny dla «mórz» (0,5) i dla «łądów» (1,0), a zatem «morza» są bardziej nierówne niż łądy, co doskonale tłumaczy ich kępkowatą strukturę. Ostatnie dokładne pomiary polaryzacji światła wykonane przez Dollfusa pozwoliły na stwierdzenie różnic między polaryzacją światła odbitego od «mórz» i «łądów», a także korelacji zmian polaryzacji światła ze zmianami sezonowymi «mórz». Wg Dollfusa polaryzacja światła przez «morza» jest podobna do polaryzacji powodowanej przez pewne mikroskopijne glony naśnieżne, np. *Chlamydomonas*. Poza tymi bezpośrednimi dowodami świadczącymi na korzyść hipotezy wegetacyjnej istnieją jeszcze dalsze oparte na prawdopodobnych przypuszczeniach. Jednym z nich jest tzw. argument Opika. Zwrócił on uwagę na fakt, że ciemne obszary «mórz» nie są zasypywane przez burze piaskowe, które można obserwować na Marsie. O nasileniu tych burz świadczy często obserwowane zamglenie całej tarczy planety. Opik wyciąga z tego wniosek, że tylko obszary pokryte roślinnością mają zdolność odtwarzania się, natomiast utwory pochodzenia mineralnego byłyby zasypane przez piasek. Innym argumentem może być, choć jest to nieco paradoksalne, stwierdzenie braku tlenu na Marsie. Brak tlenu w atmosferze Marsa dowodziłby właśnie istnienia żywych organizmów na powierzchni planety. Bardzo znaczna część tlenu może być związana w formie tlenków, na co wskazuje czerwone zabarwienie pustyni, zaś reszta wolnego tlenu atmosferycznego podlegałaby chciwemu

wychwytywaniu przez biosferę. Organizmy te miałyby zdolność pobierania i magazynowania tlenu w swych organach, tworząc coś w rodzaju wewnętrznej atmosfery, podobnie jak to zachodzi u roślin ziemskich w wypadku wytworzenia przez nie aerenchymy. Ta sztucznie utworzona atmosfera mogłaby być wzbogacana w tlen uzyskiwany drogą fotolizy wody lub innych procesów uwalniających tlen ze związków mineralnych. Za słuszością hipotezy wegetacyjnej przemawiałyby również same warunki klimatyczne Marsa, które jakkolwiek są bardzo niedogodne dla żywych organizmów, to jednak dla tego typu roślinności nie stanowią one przeszkody uniemożliwiającej zdobycie koniecznych do egzystencji ilości energii promienistej, wody i tlenu. Jednym z czynników wpływających na fotosyntezę jest natężenie światła. Rośliny ceniolubne, które posiadają procentowo większe stężenie chlorofilu oraz niższy punkt kompensacyjny, mają lepsze warunki do wykorzystania światła o małym natężeniu. Badania nad wydajnością fotosyntezy wykazały, że dla małych natężeń światła wydajność ta wynosi ok. 60% co oznacza, że przeszło połowa światła padającego jest wykorzystywana na fotosyntezę. Niedostatek tlenu i niska temperatura powodują obniżenie punktu kompensacyjnego, tj. punktu, w którym natężenie fotosyntezy jest równe natężeniu oddychania. To obniżenie punktu kompensacyjnego pozwala na kontynuację procesu fotosyntezy nawet przy niskich natężeniach światła. Doświadczenia wykonane przez Lundegardha i Lammermayra wykazały, że wybitnie ceniolubne rośliny, jakimi są mchy, mają punkt kompensacyjny przy ok. 1/600 optymalnego natężenia światła. Dowodzi to ogromnych możliwości przystosowawczych tych roślin i wskazuje na zdolność do fotosyntezy nawet w tak skrajnych warunkach świetlnych. Dla porostów i mchów wymagania świetlne są bardzo niskie, toteż warunki świetlne, jakie tego typu roślinność znalazłaby na Marsie, nie są zbyt ciężkie. Również zagadnienie pobierania wody w warunkach, jakie znajdują się na Marsie jest ułatwione wskutek tego, że porosty i mchy pobierają wodę całą powierzchnią i w tych warunkach mogłyby ją pobierać bezpośrednio z atmosfery podczas topnienia czap polarnych. Przez wytworzenie specjalnych organów magazynujących mogłyby ją przechowywać podobnie, jak to czynią np. kaktusy lub mchy, które magazynują wodę w tzw. uszkach. Są to specjalne urządzenia umieszczone na listkach mchów i służące do magazynowania wody. Równoległe do badań astrobotanicznych, opierających się na metodach analizy światła odbitego od powierzchni Marsa, były przeprowadzane rozważania teoretyczne oraz eksperymenty laboratoryjne mające na celu przekonanie się, czy jest możliwe życie mikroorganizmów ziemskich w warunkach środowiska marsjańskiego. Teoretyczne rozważania na ten temat przeprowadził Fulton, eksperymenty zaś przeprowadzono w Szkole Medycyny Lotniczej USAF w Randolph (Texas, USA). Jeden z jej pracowników, J. Kooistra przeprowadził pod kierunkiem Strugholda i Mitchella doświadczenia na glebowych mikroorganizmach anaerobowych trwające ok. 8 miesięcy. Eksperyment ten stanowi próbę doświadczalnego stwierdzenia możliwości istnienia i rozwoju żywych organizmów w warunkach panujących na Marsie. Do doświadczeń użyto niektórych szczepów bakterii nitrofilnych umieszczonych w szklanych naczyniach. Próbkę

gleby pobrano z pustynnych okolic Alaski oraz Arizony, gdzie występują czerwone piaski. Jako atmosferę zastosowano czysty azot bez śladu wilgoci o ciśnieniu 54,1 mm Hg, a źródłem węgla i wody były związki organiczne i wilgoć zawarta w glebie. Wilgotność podłoża wynosiła ok. 1%, a niekiedy nawet jeszcze mniej. Starano się również stosować temperatury zbliżone do panujących na Marsie, zachowując cykl ich zmian a także (w celu porównania) temperaturę pokojową. Wyniki badań były pozytywne, gdyż większość bakterii rozwijała się dość szybko. Doświadczenia powyższe wykazują, że nawet w tak niesprzyjających warunkach organizmy żywe są zdolne do kontynuacji swych wszystkich procesów życiowych oraz wykazują one olbrzymią zdolność przystosowania się ich do najbardziej niezwykłych warunków otoczenia.



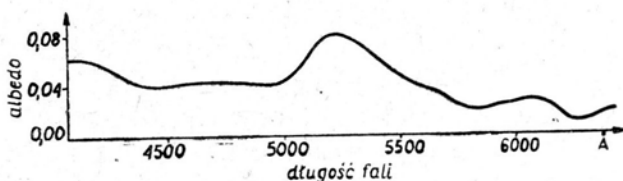
Ryc. 8. Albedo Marsa w podczerwieni. Krzywa u góry — widmo światła słonecznego (w celu porównania), Krzywa w środku — widmo światła odbitego od «lądów». Krzywa u dołu — widmo światła odbitego od ciemnych obszarów na Marsie. Widać charakterystyczne pasma absorpcji przy dł. fali 3,43, 3,56 i 3,67 μ.

Dane wg badań Sintona w 1958 r.

W początkach obecnego stulecia, gdy nie znano jeszcze tak dokładnie jak teraz warunków panujących na Marsie, rozpowszechniony był pogląd, że roślinność Marsa jest podobna do ziemskich traw, krzewów i drzew. W miarę rozwoju badań okazało się, że hipoteza ta nie ma wiele szans powodzenia. Jednakże niektórzy jej zwolennicy pracami swymi dostarczyli wiele interesujących dla astrobotaniki danych. Wśród nich na szczególną uwagę zasługują prace Tichowa i współpracowników. Badali oni albedo «mórz» marsjańskich i porównywali je z albedem ziemskich obszarów pokrytych roślinnością. Okazało się, że istnieją duże różnice między oboma widmami. Wielokrotnie badane widmo światła odbitego dla roślin ziemskich charakteryzuje silne maksimum w podczerwieni (ok. 700 mμ). Natomiast rośliny marsjańskie tego maksimum nie wykazują. Nie wykazują one również

minimum przy długości fali 660 m μ w zakresie czerwieni, które jest głównym pasmem absorpcji światła dla chlorofilu. Aby wytłumaczyć oba te fakty, Tichow wraz z współpracownikami przeprowadził badania nad roślinami ziemskimi okolic arktycznych i wysokogórskich. W toku doświadczeń wykazano, że zjawiska te dadzą się łatwo wytłumaczyć surowością klimatu marsjańskiego. Prawdopodobnie rośliny marsjańskie wskutek niskich temperatur są zmuszone do pochłaniania promieniowania słonecznego w szerszym zakresie niż rośliny ziemskie. Badania przeprowadzone w górach Pamiru oraz w okolicach arktycznych wykazały, że tamtejsze rośliny mają ok. 3-krotnie mniejszą zdolność odbijania podczerwieni, która jest wykorzystywana przez nie dla zrównoważenia niedoboru energii promienistej w zakresie promieniowania widzialnego. Stwierdzono również, że istnieją rośliny mające specjalne barwiki, które ułatwiają im pochłanianie promieni o tej długości fali, np. *Semecarpus anacardium* lub *Phytolona clavigera*, które silnie pochłaniają podczerwień. Rozrzedzenie i bezchmurność atmosfery marsjańskiej powoduje silne wypromieniowanie energii pobranej od Słońca przez rośliny marsjańskie. Droga, jaką one pobierają wodę może być podobna do wykorzystywania mgły lub szronu przez rośliny ziemskie, gdyż sposób, w jaki odbywa się krążenie wody w atmosferze Marsa jest również podobny. Proces ten choć z jednej strony przyczynia się do złagodzenia warunków zewnętrznych, to z drugiej powoduje u roślin poważne straty energii cieplej. Te czynniki oraz mała ilość promieni otrzymywanych od Słońca może być powodem do pochłaniania nie tylko promieniowania widzialnego, lecz nawet podczerwonego. Zjawisko to przypomina adaptację chromatyczną roślin ziemskich, która polega na wytworzeniu barwników pochłaniających te części widma, których nie pochłaniają chlorofile a i b. Manning i Strain wykryli u krasnorostów chlorofil d, który wyróżnia się absorpcją światła w dalekiej czerwieni, u bakterii zaś purpurowych wykryto bakteriochlorofil pochłaniający nawet podczerwień. Zaobserwowana błękitno-zielona barwa «mórz» byłaby wynikiem odbijania przez roślinność Marsa światła w części niebiesko-fioletowej. Stwierdzono również, że zdolność tę posiadają rośliny górskie *Oxytropis Chinobia* (ostrołódka) lub *Potentilla nivea* (pięciornik śnieżny), lub arktyczne, np. *Betula nana* (brzoza karłowata). Grigoriew wypowiada pogląd, że niebieskawe zabarwienie roślin marsjańskich może mieć, jako przystosowanie do panujących warunków, jeszcze inne znaczenie. Może ono być środkiem ochronnym przed promieniowaniem ultrafioletowym. Ziemska roślinność jest chroniona przez warstwę ozonową atmosfery, natomiast Mars takiej warstwy ochronnej nie posiada. Zabarwienie niebiesko-fioletowe pozwala odbijać roślinom promieniowanie ultrafioletowe, które jest dla żywych organizmów szkodliwe. Również brak pasma chlorofilowego w widmie roślin marsjańskich można wytłumaczyć przez poszerzenie pasma absorpcji aż do podczerwieni. Brak kontrastów między ostro zarysowującymi się w warunkach naturalnych pasmami jest przyczyną pozornego zaniku pasma absorpcyjnego chlorofilu. Istotnie zaś zostaje ono tylko poszerzone i nieco rozmyte, co, przy słabym energetycznie widmie światła odbitego od «mórz» marsjańskich, może powodować jego pozorny zanik. Ponadto Tichow stwierdził również wpływ temperatury na obecność tego minimum.

Przeprowadzone badania nad *Picea* wykazały, że pasmo absorpcyjne przy 660 m μ w temperaturze plus 2°C słabnie, a znika zupełnie przy minus 6°C. Doświadczenia te wykazały, że istotną rolę gra również i tutaj środowisko, w jakim znajdują się rośliny na Marsie. Nieco inaczej fakty te tłumaczy hipoteza Płotnikowa. Punktem wyjścia jej jest brak rozproszenia podczerwieni przez chlorofil w wyciągach eterowych w przeciwieństwie do chlorofilu znajdującego się w żywych organach roślinnych. Płotnikow zwracał przy tym uwagę na to, że zdolności rozpraszające podczerwień mogą być wynikiem komórkowej struktury organów roślinnych, a nie wynikiem obecności chlorofilu w teże komórce. Porównuje on zdolności rozpraszające roślin do zdolności rozpraszających innych materiałów, mających dużo wewnętrznych powierzchni odbicia, np. ze śniegiem. Zatem według hipotezy Płotnikowa struktura komórkowa organów ziemskich roślin i obecność przestrzeni międzykomórkowych jest powodem silnego maksimum rozpraszania w podczerwieni dla roślin ziemskich, inna zaś budowa roślin marsjańskich nie powoduje tego



Ryc. 9. Rozkład widmowy albedo «roślinności» Marsa, dla obszaru *Syrtis Major*. Dane wg badań Tichowa w 1956 r.

zjawiska. Doświadczenia wykonane przez Lecomte'a wykazały, że istotnie rośliny, które wykazują duże zdolności rozpraszające dla podczerwieni umieszczone w próżni tracą te zdolności. Ze względu na niskie ciśnienie atmosferyczne na Marsie, jest możliwe, że i to zjawisko może być również przyczyną braku charakterystycznych pasm dla chlorofilu w widmie światła odbitego od ciemnych obszarów «mórz» marsjańskich. Dane powyższe wskazywałyby na możliwość występowania na Marsie organizmów żywych podobnych do ziemskich roślin wyższych. Tichow jest również twórcą hipotezy dotyczącej paleobotaniki Marsa. Zaobserwowane przez Barabaszewa zjawisko poczerwienienia wczesną wiosną «mórz» marsjańskich tłumaczono odsłonięciem większych połaci pustynnych zanim rozwinie się tam roślinność. Tichow natomiast wysunął przypuszczenie, że owo poczerwienienie może być wynikiem czerwonego zabarwienia roślinności znajdującej się w bardzo wczesnym stadium rozwoju ontogenetycznego. Zjawisko to byłoby podobne do obserwowanego u roślin ziemskich brunatnego zabarwienia bardzo młodych pędów i listków, występującego jako pozostałość po minionych epokach geologicznych, a ujawniającego się we wczesnym stadium ontogenezy tych roślin. Czy istotnie zjawisko to zachodzi w wypadku roślin marsjańskich, trudno na razie rozstrzygnąć. Omówione powyżej fakty wskazywałyby na pewne istotne analogie między roślinnością ziemską i ewentualną roślinnością Marsa, lecz jak dalekie są ich wzajemne podobieństwa

i wzajemne różnice określają to dopiero badania na miejscu. Omówione powyżej obserwacje i doświadczenia jasno wykazują, że istnienie życia na Marsie jest wysoce prawdopodobne. Nie jest ono wprawdzie tak bujne jak na Ziemi i dlatego nie wywarło ono tak silnego wpływu na ukształtowanie się oblicza planety Mars, jak to obserwujemy w przypadku naszej planety, jednakże w świetle podanych uprzednio faktów występowanie biostref Marsa złożonych, być może, jedynie z prymitywnych organizmów wydaje się być naukowo udowodnione. Bezsprzecznie istnienie ich miałyby doniosłe znaczenie dla ogółu nauk przyrodniczych. Najprawdopodobniej bezspornego ich stwierdzenia dokonają dopiero astronauty, którzy wylądują na powierzchni «czerwonej planety» i zbadają na miejscu jej tajemnice.

Poza strefą ekosfery Słońca krążą planety-olbrzymy Jowisz, Saturn, Uran i Neptun, należące do typu planet wodorowych. Czy na ich powierzchni mogą istnieć jakieś formy życia? Ogół uczonych, ze względu na brak jakichkolwiek danych, zajmuje stanowisko negatywne, lecz niektórzy, np. T. Park, wysuwają następujące sugestie: «...Jak bowiem przypuszczamy życie może istnieć w oparciu o bazę fizycznie i chemicznie odmienną od tej, jaką posiadamy na Ziemi. Dociekania na temat czy życie może rozwijać się w niskich temperaturach, jakie panują na najdalszych planetach naszego systemu słonecznego, mogą być czasem zajmujące. Jeżeli takie życie istnieje, środowisko jego jest, być może, określone właściwościami amoniaku. Związek ten wrze przy temperaturze minus 33,5°C i ma wiele własności, które umożliwiałyby mu stanie się elementem kontrolującym zespół żywych organizmów, który pod wieloma względami niewiele by się różnił od ziemskiego...» Podobne twierdzenia wypowiada także Tichow, a ostatnio C. Sagan. Jednakże rozważania na ten temat są wysoce spekulatywne.

Dokonany powyżej przegląd hipotez, teorii i faktów, przemawiających za występowaniem ożywionych form materii na innych planetach układu planetarnego Słońca (wyłączywszy Ziemię, gdzie występowanie ich jest bezsporne), pozwala na wyciągnięcie wniosków, że życie nie jest wyłącznym przywilejem Ziemi. Spośród 9 planet tego układu, trzy z nich spełniają warunki potrzebne dla jego istnienia. Na jednej z nich życie istnieje na pewno, na dwóch zaś pozostałych istnienie jego jest wysoce prawdopodobne. Stwierdzenie występowania jego tam, niezależnie od znaczenia tego faktu dla nauki, mogłoby również przedstawiać olbrzymią wartość dla praktyki. W związku z przyszłymi lotami kosmicznymi na sąsiednie planety, istnienie tam żywych organizmów miałyby ogromne znaczenie. Jeśliby to były organizmy chociażby nieco zbliżone do ziemskich, mogłyby one stanowić bazę surowcową dla uzyskania bądź to nawozów dla kultur roślinnych, bądź to substancji organicznych bezpośrednio przyswajalnych przez organizmy zwierząt i ludzi. W wypadku istnienia tam organizmów gromadzących tlen i wodę (np. na Marsie) można by je wykorzystać dla produkcji przemysłowej tych produktów. Miałyby to decydujące znaczenie dla założenia baz ekspedycji badawczych oraz przyszłej kolonizacji tych planet, gdyż rozwiązałyby to problem żywności, wody i tlenu. Nie wykluczone jest również, że wśród substancji produkowanych przez te organizmy mogłyby się znaleźć cenne dla człowieka produkty, podobnie jak

ziemskie rośliny produkujące oleje, kauczuk czy skrobię. Z drugiej strony należy jednak wziąć pod uwagę niebezpieczeństwa płynące ze strony pozaziemskich mikroorganizmów, które przeniesione na Ziemię mogłyby wywołać epidemie wśród ludzi, roślin i zwierząt ziemskich, powodując nieobliczalne straty. Mogłyby to być organizmy, które w niedostatku tlenu i wody mają bardzo wolną przemianę materii, natomiast w warunkach ziemskich mutacje ich lub nawet formy bardziej żywotne mogłyby wzmocnić wielokrotnie intensywność reakcji biochemicznych i stać się niebezpieczne dla organizmów ziemskich.

Tak pokrótce przedstawiałby się stan naszej wiedzy z dziedziny astrobotaniki, nakreślony jedynie w zarysie. Przedstawiono tutaj jej problemy, kierunki badań, osiągnięcia i perspektywy rozwoju. W ciągu najbliższych kilkunastu lat zostaną wykonane loty kosmiczne na najbliższe planety, w wyniku których przedstawione powyżej rozważania zostaną potwierdzone lub obalone, jednakże poczynania uczo-nych, starających się potęgą ludzkiego umysłu wyprzedzić bezpośrednio badania doświadczalne na powierzchni tych planet, będą stanowić na zawsze trwałą wkład do skarbnicy wiedzy ludzkiej.

LITERATURA

1. Bernal J. D. 1954. *Materialne podłoże życia*. Warszawa.
2. Briggs M. 1959. *Terrestrial and Extraterrestrial Life. Spaceflight*. 2. 4. 120—121.
3. De Vaucouleurs G., 1955. *Physics of the Planet Mars*. New York.
4. Firsoff V. A., 1960. *Strange World of the Moon*. New York.
5. *Fizyka i chemia życia*. 1959. Warszawa.
6. Gadomski J. 1958. *Die Sternennökosphären im Radius von 17 Lichtjahren um die Sonne*. Proc. of the 8-th Intern. Astronautical Congress. Barcelona. 1957. 127—136.
7. Gadomski J., 1959. *Fünf Arten von ökosphärischen Planeten*. Proc. of the 9-th Intern. Astronautical Congress. Amsterdam. 1958. 785—793.
8. Gadomski J., 1959. *Ekosfery*. Post. Astr. 7. 4.
9. Gomółka B., 1960. *Księżyc*. Kosmos. ser. B. 6. 2.
10. Gomółka B., 1960. *Planeta Wenus*. Urania. 31. 6.
11. Gomółka B., 1961. *Idea wielości światów zamieszkałych we wszechświecie*. Urania. 32. 2. 40—46.
12. Gomółka B., 1961. *Kosmiczna rola roślin*. Wiad. Bot. 5. 2. 145—152.
13. Kuiper G. P., 1952. *Atmospheres of the Earth and Planets*. Chapt. 12. Chicago.
14. Lebedinskij A. I., 1956. *Fizičeskie uslovija na Marse*. Dokl. Akad. Nauk. SSSR. 108. 5.
15. Lederberg J., Cowie D. B., 1958. *Moondust*. Science. 127. 3313.
16. Moore P., 1959. *The Planet Wenus*. 2 ed. London.
17. Oparin A. I., Fesenkov V. G., 1956. *Zižn' o Vselennoj*. Moskva.
18. Oparin A. I., 1957. *The Origin of Life on the Earth*. New York.
19. Öpik E. I., 1950. *Mars and the Asteroids*. Irish Astr. Journ. 1. 1.
20. Pringle J. W., 1954. *The Evolution of Living Matter*. New Biology. 16.
21. *Problems Common to the Fields of Astronomy and Biology*, A. Symposium. Albuquerque, 1957. 1958. Publ. of Astr. Soc. of the Pacific. 70.
22. Sagan C., 1960. *Biological Contamination of the Moon*. Proc. of the Nat. Acad. of Sciences. 46. 4. 396—402.
23. Sagan C., 1960. *Indigenous Organic Matter on the Moon*. Proc. of the Nat. Acad. of Sciences. 46. 4. 393—396.
24. Schrödinger E., 1951. *What is Life? The Physical Aspect of the Living Cell*. Cambridge.

25. Sinton W. M., 1957. Spectroscopic Evidence for Vegetation on Mars. *Astroph. Journ.* 126. 2.
26. Sinton W. M., 1959. Further Evidence of Vegetation of Mars. *Science* 130. 3384. 1234—1237.
27. Steczkowski J. K., 1876. Co sądzić należy o zamieszkaniu niezliczonych światów? Kraków.
28. Strebeyko P., 1956. Woda i światło w życiu rośliny. Warszawa.
29. Suvorov N. I., 1957. Problema organičeskoj ewoljucii v sovremennom planetovedenii. *Trudy Sektora Astrobotaniki.* 5. 118—125.
30. Suvorov N. I., Tichov G. A., 1960. Iz istorii astrobiologii v SSSR. Tezisy dokladov i soobščeniij na Mežvuz. Konf. po istorii fiz.-mat. nauk. Moskva. 1960. Moskva. 179—183.
31. Strughold H., 1933. *The Green and Red Planet.* Albuquerque.
32. Strughold H., 1959. Exotic Atmospheres on Earth. *J. Aviat. Med.* 30. 311—314.
33. Tikhoff G. A., 1955. Is Life Possible on Other Planets. *J. Brit. Astr. Ass.* 65. 5.
34. Tichow G. A., 1956. *Astrobiologia.* Warszawa.
35. Tikhoff G. A., 1959. What is Astrobotany? *Spaceflight.* 2. 3. 74—77.
36. Urey H. C., 1952. *The Planets. Their Origin and Development.* New Haven.
37. Walgard S., 1951. *Życie we wszechświecie.* Warszawa.
38. Woynarski R., 1961. Morfologia roślinności Marsa. *Urania.* 32. 1. 6—10.
39. Wróblewski A., 1957. Uwagi o możliwości istnienia roślinności na Marsie. *Post. Astr.* 5. 2.
40. Wróblewski A., 1958. Mars w świetle najnowszych badań. *Post. Astr.* 6. 1.
41. Wróblewski A. K., 1958. *Z tajemnic Marsa.* Warszawa.
42. *Zasady ekologii zwierząt.* T. 1. 1958. Warszawa.