

Polskie Towarzystwo Przyrodników
im. KOPERNIKA

KOSMOS

Seria B
PRZYRODA NIEOŻYWIONA



ROK VI

ZESZYT 2 (22)

WARSZAWA 1960

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE

POLSKIE TOWARZYSTWO PRZYRODNIKÓW
im. KOPERNIKA

K O S M O S

Seria B: PRZYRODA NIEOŻYWIONA



ROK VI

WARSZAWA 1960

ZESZYT 2 (22)

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE

KOMITET REDAKCYJNY

Józef Hurwic, Leopold Infeld, Kazimierz Maślankiewicz,
Roman Żelazny

Adres redakcji: Warszawa, ul. Hoża 69

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE
WARSZAWA UL. MIODOWA 10

Nakład 643 + 127	Oddano do składania 19.III.60 r.
Ark. wyd. 6,75 druk. 6,5	Podpisano do druku 20.V.60 r.
Papier druk. sat.kl. III, 80 g 70 × 100 V kl.	Druk ukończono w maju 1960 r.
Cena zł 15.—	Zam. 130 C-52.

Warszawska Drukarnia Naukowa, W-wa, Śniadeckich 8

Elliott W. Montroll

STO LAT MECHANIKI STATYSTYCZNEJ

Po zreferowaniu w swym popularnym artykule pt. *Molekuły*, zamieszczonym w Encyklopedii Brytyjskiej, prymitywnych idei Bernoulliego, Lasage'a, Harapatha i Joule'a pisze Maxwell dalej: „powszechnie uważa się, iż dalszy rozwój teorii rozpoczął się od Kröniga, który jednak wg mego zdania, nie dokonał żadnego istotnego postępu w stosunku do tego, czego dokonano przed nim. Profesor Clausius, odkrywca podstaw teorii kinetycznej gazów, powiedział nam co rozumie się przez ciepło w ciele, mianowicie jego średnią energię kinetyczną”. Gibbs w swym artykule pośmiertnym poświęconym Clausiusowi nazywa go ojcem mechaniki statystycznej i powiada, że możemy uważać artykuł Clausiusa *On the Nature of the Motion we Call Heat* jako określający jego wejście w zagadnienie. Artykuł ten był, w przeciwieństwie do opinii wypowiedzianej przez Profesora Wignera w przemówieniu na ustąpienie z godności Przewodniczącego Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego, publikowany dwa razy: raz w języku angielskim w *Philosophical Magazine* w sierpniu 1857 i raz w języku niemieckim w *Poggendorf Annalen*. Manuskrypt został przysłany z Zurychu 5 stycznia.

Artykuł ten wyznacza także dzień urodzin fizyki współczesnej, gdyż wprowadza on mikroskopowość (oraz statystykę) do fizyki w sposób więcej niż spekulatywny. Koncepcja średniej drogi swobodnej i pierwsza analiza procesów transportowych pojawiła się w artykule Clausiusa w roku 1859.

Praca Clausiusa zachęciła Maxwella do tej dziedziny fizyki. Wchodził on na scenę w roku 1860 ze swym wielkim memoriałem *Illustrations in the Dynamical Theory of Gases*. Wyprowadził on w nim znany rozkład prędkości Maxwella i poczynił różne uwagi o procesach transportowych. Studenci pierwszych lat studiów ucieszyliby się słysząc, że określone przez Maxwella przewodnictwo cieplne powietrza było za duże o czynnik rzędu 1000, z powodu niewłaściwej zamiany funtów na kilogramy i błędnego użycia godzin zamiast sekund w obliczeniach.

Udział Boltzmanna rozpoczął się w końcu 1860 roku, dzięki jego słynnemu równaniu transportowemu, jak również dzięki dyskusji twierdzenia o ekwipartycji.

W okresie 1857—90, gdy teoria kinetyczna dojrzewała, stary lecz istotny manuskrypt napisany przez Jamesa Waterstona leżał zbierając kurz w archiwach Royal Society. Wyszedł on w końcu na światło

dzienne dzięki lordowi Rayleigh w roku 1891 po 45-letnim pogrzebaniu. Zacytujemy Rayleigha: „Zainteresowałem się przede wszystkim pracą Waterstona o związku między siłami molekularnymi a ciepłem ukrytym parowania, a następnie pracą w Phil. Mag. (1958) pt. *On the Theory of Sound*, gdzie czyni on aluzję do teorii gazów oraz pracą zatytułowaną *On the Physics of Media that Consists of Perfectly Elastic Molecules in a state of Motion*, która została umieszczona w archiwach Royal Society w roku 1845“. Rayleigh, będąc wtedy sekretarzem Royal Society, miał pewne trudności w określeniu miejsca znalezienia manuskryptu, jak również w podaniu recenzji, która zawierała opinię, że „praca jest po prostu nonsensem i nie nadaje się nawet do przeczytania w Towarzystwie“. Rayleigh oświadczył następnie, że nieopublikowanie manuskryptu było nieszczęściem, które kosztowało fizykę prawdopodobnie 10 do 15 lat opóźnienia w tym przedmiocie i że jest ciekawe, iż Waterston nie wysuwał, jak się wydaje, żadnych roszczeń co do późniejszego wydania tej pracy.

Memoriał został opublikowany w końcu roku 1891 z uwagami wstępnymi Rayleigha. We wstępie tym znajduje się kilka rad dla młodych autorów. „... młody autor, który uważa się za zdolnego do wielkich rzeczy powinien zazwyczaj zabezpieczyć sobie przed wyruszeniem na wysokie loty przychylny stosunek świata naukowego przez pracę, której zakres jest ograniczony i której wartość można łatwo określić. ... Jedną okolicznością o której można powiedzieć, iż wpłynęła niekorzystnie na przyjęcie pracy Waterstona jest to, iż nie podał on żadnych poprzedników. Gdyby określił on swe badania jako rozwinięcie teorii D. Bernoulliego, to referent mógłby się zaważyć przed określeniem ich jako nonsensownych“. Gdy przeklinacie recenzentów i czekacie długo na publikację, pomyślcie o Waterstonie!

Manuskrypt Waterstona identyfikuje temperaturę gazu ze średnią energią kinetyczną jego składowych cząstek, dyskutuje twierdzenie o ekwipartycji, prawo Grahama o dyfuzji i wiele różnych innych szczegółów dotyczących dyfuzji i przewodnictwa cieplnego. Zawiera on także pierwsze obliczenia prędkości molekularnej. W rzeczy samej zawiera on większość spośród wczesnych idei teorii kinetycznej (z wyjątkiem rozkładu prędkości Maxwella).

Ponieważ życie Waterstona nie jest dobrze znane, sędzę, że warto powiedzieć coś o nim. Ojciec jego był znanym producentem laku, lecz w zbyt wczesnym okresie, by mogło to wpłynąć na wybór zawodu Johna Jamesa. Jego matka była siostrą George Sandemana, założyciela słynnej londyńskiej firmy handlu winami. Łatwo można się przekonać z cotygodniowego dodatku do New Yorkera, że firma ta wciąż kwitnie.

Matka Waterstona była również siostrzenicą Roberta Sandemana, który wraz ze swym teściem Johnem Glasem założył małą i niewiele znaczącą sektę religijną, znaną pod nazwą Glasitów lub Sandemanów. Sekta ta utrzymuje, że nikt nie powinien być poddany żadnej władzy (włączając w to Rząd Brytyjski), ani żadnym związkom, lecz jedynie nauce Chrystusa i jego apostołów. Nie miała ona ani wyświęconego pastora ani nie utrzymywała żadnego i nie znosiła żadnych różnic w poglądach swych członków. Grupa londyńska nie przekraczała nigdy 20 rodzin. Uczestniczyła

jednak znacznie powyżej swego liczbowego udziału w bractwie fizyków (i w istocie prześcignęła pod względem proporcji często cytowaną Reed College). Jej dwoma przedstawicielami byli James Waterston i Michał Faraday.

Faraday był bardzo szanowanym, starszym, świeckim kapłanem sekty, lecz został skreślony z jej listy za uchylenie się od swych obowiązków w jedną niedzielę, aby móc wypełnić rozkaz spożycia obiadu z Królową Wiktorią. Po piętnastu latach cierpliwego uczestniczenia w nabożeństwach jako gość, został on wreszcie przywrócony do praw.

Powróćmy do Waterstona. Jego pierwsze idee kinetycznej teorii gazów wyprzedzają okres przygotowywania jego zapomnianego manuskryptu. Ukazały się one w przypisie do książki zatytułowanej *Thoughts on the Mental Function*, opublikowanej w roku 1843, która jeszcze bardziej została zapomniana niż jego artykuł o teorii kinetycznej.

J. S. Haldane, brytyjski fizjolog twierdzi (w przedmowie do dzieł zebranych Waterstona), że książka ta zawiera dyskusję centralnego układu nerwowego i innych związków między fizjologią a zmysłami, które jeszcze bardziej wyprzedzały jego epokę niż jego teoria kinetyczna. Waterston był przekonany (w czasach gdy tylko niewiele osób wierzyło w ogóle w istnienie atomów czy molekuł), że zagadnienie życia i świadomości musi być ostatecznie związane ze zjawiskami molekularnymi lub atomowymi. To było prawdopodobnie przyczyną, która skłoniła go do rozwinięcia pewnych szczegółów swej teorii kinetycznej i umieszczenia ich w przypisie do książki.

Z powodu nieopublikowania jego prac oraz braku jakiegokolwiek zainteresowania jego książką Waterston nigdy nie otrzymał krzesła akademickiego w Anglii. Był on instruktorem morskim w Bombaju w Szkole Kadetów East India Company. Po powrocie do Anglii żył z dochodów swojej rodziny, uczył matematyki swych kuzynów i kuzynki, był nastawiony krytycznie w stosunku do ludzi takich jak Lord Kelvin, ze względu na ich zbyt bliski związek z przemysłowymi zastosowaniami nauki oraz czynił niegrzeczne uwagi, nieprzystojne angielskiemu dżentelmenowi, gdy wspomniano przy nim o Royal Society.

Udział Maxwella w mechanice statystycznej zmniejszył się po objęciu przezeń profesury w Cavendish Laboratory. Poświęcił on parę lat na tym posterunku dla rozwinięcia programu laboratoryjnego wykładów (był on prekursorem nowoczesnego laboratorium fizyki elementarnej) oraz wydaniu i interpretacji niewydanych notatek Cavendisha. Po wykonaniu tej pracy został dotknięty śmiertelną chorobą i zmarł w wieku 48 lat, w rozkwicie swych możliwości.

U schyłku wieku sprawy teorii kinetycznej i mechaniki statystycznej zdawały się znajdować na krawędzi upadku. Ataki przeciwko nim przeprowadzano z powodzeniem na dwóch frontach. Pierwszy rozpoczął Loschmidt i kontynuował Zermelo. Obóz ich nie mógł pojąć pokojowego współistnienia odwracalnych równań ruchu molekuł gazu i nieodwracalnego równania transportowego Boltzmanna. Drugi atak prowadzony przez Kelvina wynikał z pogwałcenia twierdzenia o ekwipartycji (które wiąże pojemność cieplną gazów wieloatomowych z ich stopniami swobody) przez gazy dwuatomowe, takie jak wodór.

Zarmelo uzbrojony w dowód istnienia cyklów Poincaré'go, głosił że skoro układy zamknięte wykazują charakter quasiperiodyczny, to nie mają one stanów równowagi. Boltzmann odpierał ten argument, oszacowując okres cyklu Poincaré'go jednego centymetra sześciennego gazu. Jest on bardziej zbliżony do wieku wszechświata niż do czasu trwania eksperymentu. Mimo iż Zarmelo koncentrował swój atak na Boltzmannie, to jednak miał wystarczająco wolnego czasu, aby napisać uwłaczającą opinię o *Mechanice statystycznej* Gibbsa.

Ataki te doprowadziły Boltzmann'a do depresji i wywołały manię prześladowczą. We wstępie do pierwszego tomu swego dzieła *Vorlesung über Gastheorie* (1897) oświadcza on apologetycznie, że publikuje książkę mimo iż „teoria kinetyczna wyszła w Niemczech z mody“. Broniąc się przez kilka lat, pisze on we wstępie do drugiego tomu (1904): „Gdy drukowano pierwszą część tej książki manuskrypt drugiej i ostatniej części były prawie gotowe... W tych właśnie czasach wzrosły ataki przeciwko teorii kinetycznej. Jestem przekonany, że ataki te opierają się na nieporozumieniach, a rola teorii kinetycznej nie jest skończona. Byłby to według mego zdania cios dla nauki, gdyby współczesna opozycja spowodowała zapomnienie teorii kinetycznej, podobne do losu, jaki spotkał falową teorię światła dzięki autorytetowi Newtona. Zdaje sobie sprawę ze słabości jednostki wobec powszechnej opinii. Dla zabezpieczenia, by nie trzeba było zbyt dużo odkrywać na nowo, gdy ludzie powrócą do badań nad teorią kinetyczną, wyjaśnię tu najtrudniejsze i najbardziej niezrozumiane części tej teorii tak jasno jak tylko potrafię“.

Depresja Boltzmann'a pogorszyła się przez sprawy osobiste i zakończyła się targnięciem na własne życie. Przecenił on przy tym siły opozycji, gdyż sprawa teorii kinetycznej została z powodzeniem podjęta przez Smoluchowskiego i Ehrenfesta, którzy znaleźli modele wykazujące jak dynamika i statystyka mogą współistnieć. Ostatnie słowo o naturze nieodwracalności i równaniach transportowych nie zostało do tej pory powiedziane, lecz ogromna ilość faktów eksperymentalnych wywołuje wielkie zaufanie do teorii kinetycznej i mechaniki statystycznej.

Atak Kelvina na teorię kinetyczną znalazł przyjazne ucho wśród tych, którzy interesowali się bardziej zgodnością między teorią a eksperymentem niż podstawami filozoficznymi. Występował on przeciw twierdzeniu o ekwipartycji energii na podstawie faktów, wskazujących na to, iż pewne stopnie swobody molekuł wieloatomowych wydają się być zamrożone (H_2 jest tu klasycznym przykładem). Mimo iż uważał on tę trudność za bardzo poważną, był jednak jeszcze bardziej zatrwożony brakiem jakiegokolwiek udziału stopni swobody odpowiedzialnych za widmo w cieple właściwym gazów zarówno jedno- jak i wieloatomowych. W roku 1900 podstawy widm atomowych nie były jeszcze rozumiane, lecz zarówno on sam jak i Stokes i Kirchhoff byli przekonani, że każdy atom ma strukturę wewnętrzną, która byłaby w jakiś sposób odpowiedzialna za jego widmo. Gdy Rutherford wyrastał ze swych krótkich spodni, Kelvin przypuszczał już, że atom ma ciężki centralny rdzeń i że lekkie „satelity“, utworzona z „jonów“ J. J. Thompsona obracają się dokoła niego, poruszając się wzdłuż stabilnych orbit. Czuł on, że gdyby twierdzenie o ekwipartycji było prawdziwe, wtedy wszystkie te „jony“

powinny partycypować w ciepłe właściwym gazu. Poszukiwania Kelvina w celu znalezienia błędu w różnych wyprowadzeniach tego twierdzenia były bezowocne, lecz dotknął on w ten sposób jednego z najważniejszych paradoksów, który wymagał dla swego wyjaśnienia teorii kwantów.

Trudności te, jak również kłopoty związane z eterem (które zostały do pewnego stopnia rozwiązane przez teorię kwantów i teorię względności) są przedyskutowane szczegółowo w artykule Kelvina z roku 1900 zatytułowanym *19-th Century Clouds over the Dynamical Theory of Heat and Light*. Znaleźć go można w przypisie B do *Baltimore Lectures* Kelvina.

Mimo iż udział Kelvina w kinetycznej teorii gazów i mechanice statystycznej był udziałem krytycznym i nie o tak podstawowym charakterze jak autorów cytowanych wyżej, to uwagi te nie byłyby kompletne gdyby nie wspomnieć o roli, jaką odgrywał w fizyce XIX-wiecznej człowiek, którego nazwisko, wraz z nazwiskiem Boltzmanna przeczytać można w każdym wzorze mechaniki statystycznej (... gdzie k jest stałą Boltzmana a T stopniami Kelvina). Mówiąc słowami J. J. Thompsona: „Każda wzmianka o rozwoju fizyki w ostatnim okresie poprzedniego wieku byłaby niczem Hamlet bez księcia Danii, gdyby nie wspomnieć o roli, jaką odgrywał w nim Lord Kelvin, który przez więcej niż 40 lat przed swą śmiercią w roku 1907 był najpotężniejszą postacią w fizyce brytyjskiej“. Trudno sobie wyobrazić kogokolwiek dziś o takim wpływie: był on Einsteinem, Fermim i Steinmetzem swych czasów w jednej osobie.

XIX-wieczne oszacowanie wartości Kelvina w dolarach i centach poznać można za pomocą jego umowy, dotyczącej wygłoszenia przezeń piętnastu wykładów w ciągu 2 tygodni (w rzeczywistości wygłosił on dwadzieścia wykładów w okresie 1—17 października) w nowo zorganizowanym właśnie John Hopkins University. Po pewnych negocjacjach prezydent Gilman zaoferował mu 2000 dolarów plus wydatki na podróż z Glasgow, co jest wielkością porównywalną z roczną pensją większości pracowników wydziału. Na wykłady baltimorskie uczęszczali wszyscy wybitni amerykańscy fizycy tego okresu. Wykłady były stenografowane przez A. S. Rathwaya i natychmiast papyrografowane (papyrograf był prymitywną maszyną do powielania, drukującą w kolorze czerwonym) i rozprowadzane w środowisku fizyków, jako pierwsze maszynowo wykonane „preprinty“. Kelvin opisuje szczegóły ostatniej publikacji jak następuje: „Drukowanie obecnego tomu rozpoczęło się w sierpniu 1885 i trwało w ciągu nieregularnych okresów 19 lat; w sposób który obawiam się, musiał być wyjątkowo niewygodny dla drukarzy.“

Badania Kelvina dotyczyły praktycznie wszystkich gałęzi fizyki i inżynierii. Jego 661 prac tworzy podstawową część tego, co stało się fizyką klasyczną — termodynamiką, elektrycznością i magnetyzmem, hydrodynamiką i teorią sprężystości. Odnośniki do jego publikacji przewyższają liczbowo odnośniki do praktycznie wszystkich innych autorów cytowanych w wielkich, czarnych tomach Cambridge University Press, które były tak żywo studiowane przed 25 laty. Prawie wszystkie ważne prace z tego okresu zaczynały się od zdań takich jak „Zgodnie z Thompsonem...“ lub „Thompson postawił problem...“

Pierwszą pracą Kelvina, napisaną w wieku lat 17, była odpowiedź na książkę niejakiego Kellanda, który twierdził, że *Analityczna teoria ciepła* jest pełna niewłaściwych rozwinięć na szeregi. Kelvin wyprowadził ponownie wiele wyrażeń, za pomocą metod bardziej nowoczesnych niż oryginalne metody Fouriera. Jego druga praca zawierała teorię obrazów i pierwsze zastosowanie Analizy Fouriera do elektrostatyki. Ona to właśnie dała Maxwellowi pierwszą sugestię inspirującą jego teorię elektromagnetyzmu — „Ta właśnie praca wprowadziła do nauk matematycznych idee, że oddziaływanie elektryczne rozchodzi się za pomocą ośrodka ciągłego“. Sława Kelvina jako studenta była tak wielka, że w wieku lat 22 został profesorem fizyki na Uniwersytecie w Glasgow. Katedrę tę zajmował aż do promocji na Kanclerza w wieku lat 70.

Wychowanie Kelvina może zainteresować wychowawców. Był on jedynym z siedmiorga dzieci. Matka jego umarła gdy miał lat 6, pozostawiając jego ojca (który był profesorem matematyki w Glasgow) wraz ze stadkiem dzieci, na które trzeba było uważać w czasie żmudnych obowiązków nauczycielskich. Dzieci nie uczęszczały do szkoły. Jednak podczas nieobecności opiekunki umieszczano je czasem pod okiem ojca, na końcu klasy. Pewnego dnia zdziwił się bardzo pan profesor, gdy mały Willie, lat 10 zgłosił się do odpowiedzi na trudne pytanie, na którym utykali normalni studenci uniwersyteccy. Wkrótce mały Willie został studentem. Zdał większość egzaminów studenckich, lecz powstrzymał się od złożenia egzaminów końcowych, które dałyby mu stopień, tak iż mógł wstąpić do Cambridge. Po wstąpieniu do Cambridge, w wieku lat 16, przestudiował prace Laplace'a, Poissona, Fouriera itd. W odróżnieniu od większości cudownych dzieci był całkiem normalny pod względem wyglądu i zachowania.

Kelvin, podobnie jak jego protegowany Maxwell w 9 lat później, był zdobywcą drugiej nagrody na egzaminie końcowym z matematyki w Cambridge. Jak często bywa, zdobywca pierwszej nagrody utonął w zapomnieniu na prowincji, podczas gdy zdobywca drugiej nagrody spędził resztę swego życia na udowodnieniu, że był bardziej zdolny niż jego konkurent. Ponieważ wiele z pytań egzaminacyjnych opierało się na bieżącej literaturze, to Kelvin miał sposobność wyprowadzić ponownie na egzaminie kilka wyników ze swych prac. Niestety Kelvin nie wykorzystał do końca swych własnych badań, podczas gdy jego konkurent przestudiował je bardzo starannie.

Oczywiście jasne to jest dla każdego, kto próbował kiedy napisać 661 prac, że Kelvin liczył i pisał bez przerwy. Był najbardziej produktywnym podczas spotkań towarzyskich, na zebraniach wydziału lub rad naukowych (był on w radach większości brytyjskich firm inżynierskich i elektrycznych), nie pracował źle ani w pociągach ani w dorożkach. Jego specjalnie powiększone kieszenie surduta zawsze zawierały jego słynny, zielony notes, który z kolei zawsze zawierał kilka niedokończonych artykułów.

Kelvin został podniesiony do godności lorda za swój udział w pierwszym udanym przeciągnięciu kabla przez Atlantyk. Był on pierwszym, który użył do tego celu odpowiednio skręconych drutów jako przewodnika elektrycznego (aby zapewnić bardziej jednorodny opór) i wymyślił

wiele instrumentów precyzyjnych (mostek Kelvina, galwanometr Kelvina itd.) potrzebnych do operacji kablowych. Napięcie i monotonię operacji kładzenia kabla przełamał Kelvin pisząc kilka prac.

Mimo iż był on jednym z największych mistrzów i odkrywców fizyki makroskopowej i stosowanej, to jednak osobiście był niezwykle zainteresowany problemami, dotyczącymi budowy atomów i molekuł, oraz naturą eteru. Jego wielki entuzjazm, przejawiający się w dyskusjach na ten temat, i jego wielkie znaczenie nadały studiom w tej wysoko spekulatywnej dziedzinie swobodę oraz poważanie i utorowały drogę rozwojowi nowoczesnej fizyki.

Józef Werle

O NARODZINACH I ŚMIERCI CZĄSTEK ELEMENTARNYCH

Wprawdzie greccy filozofowie sprzed 2000 lat nie mieli całkiem jasnego pojęcia materii, nie przeszkodziło im to jednak w postawieniu niezwykle frapującego pytania: z czego i jak zbudowane są różne ciała materialne? Nie tylko postawili pytanie, lecz także pokusili się o odpowiedź na nie. Nie możemy tu wchodzić w dyskusję poglądów różnych szkół filozoficznych. Stwierdzimy tylko ogólnie, że argumenty rzucane na korzyść takiej czy innej odpowiedzi na postawione wyżej pytanie nie były 2000 lat temu tak uzasadnione doświadczalnie jak dziś, a stanowiły raczej czysto spekulacyjne przypuszczenia. Tym niemniej właśnie około 2300 lat temu powstała w Grecji, jednocześnie z innymi dosyć naiwnymi koncepcjami budowy materii, pierwsza konsekwentna hipoteza ziarnistej, czyli atomowej, struktury ciał materialnych. W nauce nowoczesnej hipoteza atomowa zwyciężyła — po dramatycznej walce toczonej przez cały wiek XIX — dopiero na początku XX wieku, kiedy świadczące za nią fakty doświadczalne z dziedziny fizyki i chemii były już nie do odparcia.

Z punktu widzenia zjawisk chemicznych współczesny obraz atomowej struktury ciał materialnych rzeczywiście uderzająco przypomina wyobrażenia Demokryta i innych atomistów greckich. Zgodnie z tym obrazem ciała materialne, znajdujące się w zwykłych ziemskich warunkach (np. powietrze, woda, kamienie), składają się z bardzo drobnych ziarenek o rozmiarach od 10^{-8} do 10^{-6} cm zwanych molekułami lub drobinami. Drobiny te złożone są z jeszcze prostszych ziarenek, które nazwano „atomami“, czyli „niepodzielnymi“, nawiązując w ten sposób do idei Demokryta. Okazało się, że liczba chemicznie różnych atomów (tzw. pierwiastków), na które można rozłożyć każdą drobinę wynosi około stu. Dopiero przez chemiczne łączenie atomów różnych pierwiastków, wziętych w różnych stosunkach i różnych konfiguracjach przestrzennych, otrzymujemy nieskończoną liczbę różnych typów drobin, czyli różnych związków chemicznych. Skład i budowa drobin ciała określa jego makroskopowe fizyczne i chemiczne własności.

Niewątpliwym triumfem idei greckich atomistów na początku XX wieku nie był jednak zupełny. Atomy Demokryta miały przecież posiadać cechę niepodzielności i wewnętrznej niezmienności. W bardzo szerokim zakresie zjawisk chemicznych i fizycznych można rzeczywiście traktować atomy jako niepodzielne, czyli ściślej — jako nie dające się rozłożyć

na składniki prostsze za pomocą zwykłych metod chemicznych. Jednakże już pod koniec XIX wieku fizycy pokazali, że z elektrycznie obojętnych atomów i drobin można względnie łatwo oddzielić innego typu cząstki o ujemnym ładunku elektrycznym, które nazwano elektronami. W pierwszej ćwierci XX wieku stwierdzono już w sposób niezbity, że atomy nie są niepodzielne, lecz składają się z dodatnio naładowanego jądra, o rozmiarach od 10^{-13} do 10^{-12} cm, i neutralizującego ładunek jądra roju ujemnych elektronów, zajmującego obszar o rozmiarach 100000 razy większy od rozmiarów jądra. Okazało się, że każdy atom można rozbić za pomocą bombardowania odpowiednio energicznymi cząstkami, które mogą pozabawić go nawet wszystkich elektronów.

Po zwiększeniu energii bombardujących cząstek okazało się, że również jądro nie jest niepodzielne, lecz da się rozłożyć na prostsze ziarenka zwane nukleonami. Znamy dwa rodzaje nukleonów: dodatnio naładowane protony i elektrycznie obojętne neutrony. Protony i neutrony łącząc się z sobą w różnych ilościach dają różne jądra, które po przyłączeniu odpowiedniej liczby ujemnych elektronów przechodzą wreszcie w twory, które nieco zbyt pochopnie nazwano „atomami“, czyli „niepodzielnymi“. Procesy tworzenia nowych jąder czy to na drodze syntezy z nukleonów, czy też wskutek rozbitcia jąder bardziej złożonych na prostsze, są raczej dość rzadkie w warunkach panujących obecnie na Ziemi. Procesy takie zachodzą na szeroką skalę w słońcu i gwiazdach, na małą skalę w czasie wybuchu bomb atomowych i w jeszcze mniejszej skali w laboratoriach fizyków.

Mimo wykazania podzielności atomu i jądra nie odebrano atomom pierwiastków chemicznych niezasłużonej nazwy i dla jeszcze prostszych i mniejszych od atomu ziarenek materii w rodzaju protonu, neutronu, czy elektronu przyjęła się nowa nazwa: „cząstki elementarne“.

Dwadzieścia parę lat temu wydawało się, że istnieje tylko kilka rodzajów cząstek elementarnych, a mianowicie: protony, neutrony, fotony, neutrino, elektrony ujemne, czyli negatony oraz odkryte w 1932 r. elektrony dodatnie, czyli pozytony. Poza neutronem wszystkie wymienione wyżej cząstki elementarne są trwałe na swobodzie. Znaczy to, że oddzielona od wszelkich innych cząstek każda z nich nie ulega żadnym dalszym zmianom. Natomiast swobodny neutron jest cząstką nietrwałą, gdyż przeciętnie w ciągu kilkunastu minut po wyrwaniu z jądra zamienia się on w proton, wysyłając przy tym elektron ujemny i neutrino. Mimo swej nietrwałości w stanie swobodnym, neutrony mogą tworzyć wraz z protonami trwałe jądra. W jądrach nie są one jednak swobodne, ponieważ oddziałują z protonami. Oddziaływanie to zabezpiecza trwałość neutronów w jądrze.

W ostatnich kilkunastu latach fizycy wykryli więcej cząstek zaliczanych do elementarnych, z których wszystkie są nietrwałe. I tak znamy dziś na pewno 9 nietrwałych mezonów, tj. cząstek o masach większych od masy elektronu, ale mniejszych od masy protonu oraz 6 hyperonów, tj. cząstek cięższych od neutronu. Przypuszcza się ostatnio, że istnieją jeszcze dwa dalsze mezony. Poza tym prawdopodobnie każdy ze znanych dotychczas hyperonów posiada swój odpowiednik o tej samej masie, lecz zmienionym znaku ładunku elektrycznego zwany antyhyperonem, podob-

nie jak to ma również miejsce w przypadku elektronu, protonu czy neutronu. Np. antycząstką zwykłego elektronu ujemnego, czyli negotonu, jest elektron dodatni, czyli pozyton.

Nie możemy się tu zajmować dyskusją wszystkich znanych własności mezonów i hyperonów. Interesują nas tylko dwie zasadnicze cechy, a mianowicie nietrwałość oraz możliwość wytwarzania dowolnych cząstek. Otóż wszystkie mezony i hyperony są podobnie jak neutron cząstkami nietrwałymi, które już w bardzo krótkim czasie, rzędu od 10^{-6} do 10^{-10} sekundy, ulegają pewnym przeobrażeniom i zamieniają się zwykle na dwie lub trzy lżejsze od nich cząstki. Jeśli wśród produktów końcowych takiej zmiany występują cząstki nietrwałe, to zamieniają się one dalej na cząstki jeszcze lżejsze lub też łączą się z sobą w bardziej trwałe konglomeraty. Jeśli nie ma dopływu energii z zewnątrz, to w wyniku całego łańcucha takich procesów pozostaną w końcu tylko trwałe cząstki elementarne, względnie ich trwałe konglomeraty w rodzaju jąder, atomów itp. Nasza Ziemia jest już tak stara, że składa się w ogromnej większości z tworów trwałych ze względu na omawiane procesy. Jedynie bardzo niewielka ilość występujących na Ziemi ciał podlega jeszcze przemianom beta, gamma i alfa. Procesy ciągłego wytwarzania i przemian cząstek elementarnych oraz nietrwałych jąder zachodzą na wielką skalę we wnętrzu gwiazd, tudzież w promieniowaniu kosmicznym. Głównym źródłem informacji o tych dziwnych procesach są jednak laboratoria fizyczne. Za pomocą potężnych akceleratorów potrafimy rozpędzić cząstki (np. protony) do energii wystarczających nie tylko do rozbicia jąder, lecz także do wytworzenia w sposób sztuczny wszystkich znanych dziś cząstek elementarnych. I rzeczywiście, fizycy wytwarzają je w swych laboratoriach, jakkolwiek w bardzo niewielkich ilościach. Jedynym istotnym ograniczeniem, jeśli chodzi o samą możliwość wytwarzania cząstek elementarnych określonego rodzaju, jest dostarczenie odpowiedniej ilości energii koniecznej do wytworzenia cząstki.

I tu dochodzimy do sedna sprawy. Uważny czytelnik zapewne zauważył, że mówiłem poprzednio o rozbiciu atomu, o wyrwaniu z niego elektronu, lub też o rozbiciu jądra i wyrwaniu z niego protonów i neutronów. Teraz przy omawianiu powstawania cząstek elementarnych, unikałem takich terminów jak „rozbicie“ czy „wyrwanie“, ponieważ rzeczywiście chodzi o procesy jakościowe zupełnie odmienne od poprzednich. Otóż, gdy na przykład mówię, że w zderzeniu protonu z drugim protonem powstała para proton-antyproton, to myślę naprawdę o powstaniu pary, której nie było w stanie początkowym. W podanym przykładzie w wyniku zderzenia między dwoma protonami otrzymaliśmy w stanie końcowym trzy protony i antyproton. Nonsensem byłoby jednak twierdzić, że widocznie wybiliśmy z jednego protonu tkwiący w nim drugi proton oraz antyproton. Wiemy bowiem skądinąd, że antyproton w zetknięciu z protonem bardzo szybko przeobraża się w mezony π . Poza tym zachodzi zasadnicza różnica między zjawiskiem wyrwania protonu z jądra, czyli rozbiciem jądra, a wytworzeniem nowego protonu i antyprotonu w zderzeniu dwóch protonów. Otóż w jądrze protony rzeczywiście znajdują się w „wykończonej“ postaci i do wyrwania protonu z jądra potrzebna jest tylko energia konieczna do przezwyciężenia wiążą-

cych go w jądrze sił. Tymczasem energia potrzebna do wytworzenia pary proton-antypoton jest kilkaset razy większa. Okazuje się bowiem, że minimalna energia konieczna do wytworzenia protonu i antypotonu jest równa całkowitej energii tkwiącej w tych cząstkach i równej, zgodnie ze słynnym wzorem Einsteina $E=mc^2$, iloczynowi sumy mas $m=m_1+m_2+\dots$ wytworzonych cząstek przez kwadrat prędkości światła c . W takich przypadkach, gdy energia potrzebna do wytworzenia, w wyniku pewnej reakcji określonej cząstki, przekracza energię spoczynkową tejże cząstki nie możemy już mówić o wyrywaniu gotowej cząstki wskutek rozerwania trzymających ją więzów, lecz jedynie o wytworzeniu nowej cząstki, której nie było poprzednio. Istnieje oczywiście wiele innych argumentów, dla których fizycy nie mówią w odniesieniu do bardzo wielu procesów o wybijaniu, rozpadzie itp., lecz o przemianach, wytwarzaniu i powstawaniu cząstek itp. Innymi słowy w wielu procesach obserwujemy rzeczywiste „narodziny“ cząstek, których nie było w stanie początkowym, a w innych procesach obserwujemy „śmierć“ tychże cząstek polegającą na przemianie w inne cząstki. Tak np. wspomniana poprzednio przemiana neutronu w proton, elektron i neutrino nie jest rozpadem neutronu, rozumianym jako rozpad nietrwałego konglomeratu wymienionych trzech cząstek, lecz pewną wewnętrzną przemianą, w wyniku której rodzi się proton, negaton i neutrino, których poprzednio nie było. Gdybyśmy chcieli na siłę traktować neutron jako nietrwały konglomerat złożony z protonu, negatonu i neutrina, to równie dobrze moglibyśmy uważać proton za konglomerat złożony z neutronu, pozytonu i neutrina. Np. w tzw. przemianach beta plus promieniotwórczych jąder właśnie jeden z protonów, które na swobodzie są przeciwieństwem cząstkami trwałymi, zamienił się na neutron wysyłając przy tym pozyton i neutrino. Uniknięcie tych i wielu innych trudności, występujących przy traktowaniu neutronu jako tworu złożonego, jest możliwe tylko wtedy, jeśli przyjmiemy, że mamy tu do czynienia nie z rozpadem nietrwałego konglomeratu, lecz z procesem rodzenia nowych cząstek.

Jakże daleko odbiegliśmy więc w ostatnich 20 latach od idei Demokryta, które wydawały się tak pociągające na początku obecnego wieku. Odkryte przez fizyków elementarne ziarenka materii, zwane przez nich cząstkami elementarnymi, nie są ani niezniszczalne ani niezmiennie. Dają się wytwarzać i zamieniać na inne cząstki.

Zadziwiające są biologiczne analogie procesu rodzenia i śmierci cząstek elementarnych. Trzeba jednak przyznać, że dzisiejsza fizyka cząstek elementarnych przypomina raczej zoologię sprzed 150 lat. Wiadomo było wówczas, że do wytworzenia nowych przedstawicieli gatunku konieczny jest stosunek między dwoma osobnikami przeciwnej płci i że w wyniku jakichś bardzo tajemniczych procesów po pewnym czasie rodzą się młode. Podobnie fizycy nie wiedzą dziś niemal nic o samym przebiegu procesu tworzenia się nowej cząstki. We wszystkich dotychczasowych doświadczeniach obserwujemy bowiem cząstki elementarne w „wykończonej“ i „dorosłej“ postaci. Innymi słowy obserwujemy tylko wynik końcowy bardzo tajemniczego i głęboko ukrytego procesu powstawania cząstek, o którym wiemy, że istnieje, ale nie wiemy jak przebiega. Wiemy tylko, że „pokarmem“, który musimy dostarczyć w celu wytworzenia nowej cząstki jest

energia, która zgodnie z wzorem Einsteina przeobraża się z jednej postaci w drugą; np. we wspomnianym wyżej procesie wytwarzania pary proton-antypoton energia zawarta w nowo wytworzonych cząstkach pochodzi z energii kinetycznej zderzających się protonów. Jeśli energia kinetyczna zderzających się protonów jest mniejsza od pewnej wartości progowej koniecznej do wytworzenia pary proton-antypoton, para taka nie może powstać. Poza tymi ogólnymi związkami energetycznymi znamy jeszcze szereg innych prawidłowości i reguł rządzących procesami powstawania cząstek elementarnych. Reguły te przypominają trochę podstawowe reguły dziedziczności i krzyżowania pokrewnych zwierząt. Stanowczo więcej wiedzą dziś zoologowie i fizjologowie o procesie zapłodnienia i wzroście płodu, niż fizycy o procesie powstawania nowych cząstek. Na usprawiedliwienie fizyków muszą jednak zwrócić uwagę na fakt, że ludzkość obserwuje narodziny i śmierć żywych istot od swego zarania, podczas gdy narodziny i śmierć cząstek elementarnych obserwujemy dopiero w ostatnich kilkudziesięciu latach.

Na zakończenie niniejszego artykułu warto sobie zadać pytanie, co nam dziś pozostało z idei atomistów odniesionych do cząstek elementarnych. Niewątpliwie doświadczenie obaliło hipotezę o niezmienności i niezniszczalności elementarnych ziarenek materii. Cząstki elementarne fizyki współczesnej wydają się jednak w pewnym sensie niepodzielne.

Rozumowanie, które prowadzi do wniosku, że znane dotychczas cząstki można uważać w pewnym sensie za niepodzielne wygląda następująco. Przede wszystkim zgodnie z wzorem Einsteina $E = mc^2$ i zasadami kwantowej teorii pól przyjmuje się, że cząstkę A można uważać za złożoną z cząstek B i C , jeśli masy spoczynkowe cząstek B i C są mniejsze od masy cząstki A , a energia wiązania równa różnicy $(m_A - m_B - m_C) c^2$ jest mniejsza co do bezwzględnej wartości od każdej z mas m_B i m_C . Warunki te są bardzo dobrze spełnione w przypadku atomu i jądra traktowanego jako twór złożony z neutronów i protonów. Do rozbicia cząstki A złożonej z cząstek B i C wystarczy zatem energia równa energii wiązania $E = (m_A - m_B - m_C) c^2$. Jeśli do wytworzenia cząstki B przez bombardowanie cząstki A dowolnymi pociskami potrzebna jest energia większa od całej energii $m_B c^2$ zawartej w cząstce B nie możemy mówić o wybiciu tej cząstki z cząstki A , lecz o jej wytworzeniu w rozpatrywanym zderzeniu. Otóż w podanym wyżej sensie nie obserwujemy nigdy rozbicia protonu, elektronu i innych cząstek elementarnych na jakieś prostsze ziarenka składowe materii, mimo że z pewnością dysponujemy od dawna wystarczająco energicznymi pociskami, których nam dostarczają akceleratory. Potrafimy natomiast wytwarzać dowolne cząstki, jeśli tylko dostarczymy energii większej od ich energii spoczynkowej. Ciekawy jest również fakt, że we wszystkich zderzeniach, nawet tych o ogromnych kosmicznych energiach, obserwujemy od kilku lat tylko wytwarzanie znanych już cząstek (czasem w bardzo dużych ilościach), lub ich oczywistych konglomeratów. Niektórzy fizycy, np. Heisenberg, opierając się na tym fakcie twierdzą, że znamy już z grubsza wszystkie cząstki elementarne i że przyszłość może przynieść odkrycie raczej niewielu nowych cząstek elementarnych, które z takich czy innych względów uszły uwadze fizyków.

Możemy więc rzeczywiście mówić w pewnym sensie o niepodzielności znanych dotychczas cząstek elementarnych. Samo pojęcie cząstki elementarnej nie jest jednak wolne od znaków zapytania. Z całą pewnością można powiedzieć tylko tyle, że w obserwowanych procesach stwierdzamy powstawanie pewnych koncentracji (kwantów) energii, które nazywamy cząstkami elementarnymi, które można poklasyfikować na niewielką ilość typów posiadających określoną masę, spin, ładunek elektryczny itp. Zagadką pozostaje dlaczego energia dzieli się zawsze tak, że powstające cząstki jednego typu (np. elektrony) mają zawsze identyczną masę spoczynkową i nie różnią się między sobą ani na jotę. Zagadką pozostaje fakt, że żadna z cząstek elementarnych nie ma ładunku różnego od 0 lub $\pm e$, gdzie e oznacza ładunek elektronu itp., itp. Miejmy nadzieję, że te i inne zagadki rozwiążą fizycy już w niedalekiej przyszłości.

Widzimy więc, że w ostatnich dwudziestu latach fizycy znowu odeszli od pierwotnych idei atomistów greckich. Na tym jednak polega piękno przyrody, że kryje w sobie tyle niespodzianek, o których nie śniło się filozofom.

Bolesław Gomółka

KSIEŻYC

Astronomia jest jedną z najstarszych nauk, jakie uprawia człowiek, lecz nasze wiadomości o Księżycu oparte na podstawach naukowych zaczęliśmy gromadzić dopiero z chwilą wynalezienia przez Galileusza lunety, która pozwoliła oglądać szczegóły budowy powierzchni księżycowej. Wprawdzie już starożytni filozofowie zdawali sobie sprawę z tego, że Księżyc jest ciałem niebieskim podobnym do Ziemi, lecz były to tylko przypuszczenia. Na owe podobieństwo Księżyca do globu ziemskiego wskazywały zarysy ciemnych plam zwanych obecnie morzami, które można zaobserwować na oświetlonej tarczy Księżyca nawet okiem nieuzbrojonym. Jednakże dopiero widok powierzchni księżycowej, oglądanej przez Galileusza za pomocą skonstruowanej przez niego dość prymitywnej lunety, dostarczył oczywistych dowodów, aby Księżyc uważać za ciało niebieskie podobne do Ziemi. Rozwój techniki obserwacyjnej w ciągu minionych trzech stuleci intensywnych badań Księżyca pozwolił na dość szczegółowe jego poznanie. Nauka zajmująca się Księżycem, zwana selenologią, stanowi dzisiaj jeden z najbardziej rozbudowanych działów astronomii współczesnej. W rozwiązywaniu zagadnień dotyczących Księżyca polscy astronomowie mają swój poważny wkład, a osiągnięte przez nich wyniki badań są znane na całym świecie. Wystarczy wspomnieć tutaj, że jednym z pierwszych na świecie selenografów był Jan Heweliusz, gdański astronom, twórca pierwszej poprawnej mapy Księżyca oraz dzieła *Soelenographia sive Lunae descriptio...*, wydane w Gdańsku w roku 1647. Również jeden z największych naszych astronomów Tadeusz Banachiewicz był znakomitym znawcą zagadnień księżycowych, zwłaszcza teorii jego ruchów. Współczesny rozwój techniki raketowej stworzył dla astronomii nowe perspektywy i dał w ręce badaczy nowe narzędzia dla badania zagadek wszechświata. Astronautyka stała się symbolem postępu naszej epoki i obok ujarzmienia energii ukrytej w jądrze atomowym stanowi jedno z najświetniejszych osiągnięć geniuszu umysłu ludzkiego. Człowiek sięgnął po tajemnicę atomu zwrócił się także w kierunku wszechświata poszukując często tam odpowiedzi na pytania postawione na Ziemi. Do niedawna astronomowie przy pomocy swych narzędzi obserwacyjnych oraz aparatu matematycznego starali się podpatrzeć i zgłębić tajemnicę wszechświata, lecz w ciągu ostatnich trzech lat rozpoczęła się czynna ingerencja człowieka w ustalony od miliardów lat porządek rzeczy panujący w najbliższym otoczeniu Ziemi. Dzień 4 października 1957 r. pozostanie w historii ludzkości na zawsze

jako jedna z dat przełomowych, bowiem w dniu tym został wystrzelony w Związku Radzieckim pierwszy sztuczny satelita ziemi Sputnik I. W niedługim czasie w ślad za tym osiągnięciem nastąpiły dalsze. Oto radzieckie i amerykańskie sztuczne satelity: Sputnik II — 3.IX.57, Explorer I — 31.I.58, Vanguard I — 17.III.58, Explorer III — 26.III.58, Sputnik III — 5.V.58, Explorer IV — 26.VII.58 oraz Atlas I — 19.XII.58. Amerykańscy badacze wyrzucili także sztuczne meteory w ramach realizacji projektu „Far Side“, który został wykonany w październiku 1957 r. a od połowy 1958 r. rozpoczęli próby wystrzeliwania rakiet lunarnych. W ten sposób rozpoczął się wyścig do Księżyca. Pierwsza z prób lunarnych odbyła się w dniu 17 sierpnia 1958 r. przy zastosowaniu rakiety Thor-Able, lecz zakończyła się niepowodzeniem, jak również i następne próby, których dokonano jeszcze kilkakrotnie. Najpomyślniejszą z nich była próba lunarna dokonana w dniu 11.X.58 również przy zastosowaniu rakiety Thor-Able niosącej w ostatnim członie satelitę Pioniera. Osiągnął on wówczas odległość 127 630 km od Ziemi, jednakże nie uzyskawszy wymaganej prędkości ucieczki 10,7 km/sek zawrócił, i spłonął w atmosferze ziemskiej. Rok 1959 śmiało można nazwać rokiem sukcesów księżycowych. Zaczął się on pod znakiem wystrzelenia przez ZSRR w dniu 2.I.1959 pierwszej sztucznej planetoidy Łunnika I. Był to następny wielki krok w kierunku zdobycia Księżyca. Łunnik I był pierwszym satelitą który dotarł w okolice Księżyca przelatując obok niego w odległości ok. 6000 km, a następnie wyszedłszy z pod wpływu ziemskiego i księżycowego pola grawitacyjnego został wskutek oddziaływania Słońca skierowany na orbitę okołosłoneczną. W ten sposób utworzył on pierwszą w dziejach ludzkości sztuczną planetoidę krążącą wokół Słońca po orbicie leżącej między Ziemią a Marsem. Następnym wielkim sukcesem było wystrzelenie przez USA w dniu 3.III.1959 przy pomocy rakiety wielostopniowej Juno — 2 drugiej sztucznej planetoidy Pioniera IV, który po podobnej do Łunnika I trajektorii przebiegł obok Księżyca, a następnie zaczął krążyć wokół Słońca jako sztuczna planetoida.

Kilkumiesięczna przerwa w wyścigu do Księżyca, która nastąpiła po tych sukcesach została wykorzystana na dokonywanie prób przy udziale zwierząt doświadczalnych: małp, psów i królików. Próby te miały za cel poznanie reakcji żywego organizmu na niebezpieczeństwa grożące mu w przestrzeni. W tym czasie wystrzelono również kilka sztucznych satelitów Ziemi; Explorer VI — 6.VIII.1959, Discoverer V — 13.VIII.1959 i Discoverer VI — 19.VIII.1959. Dzień 12.IX.1959 jest drugą przełomową datą w historii podboju przestrzeni, bowiem w dniu tym dokonano w ZSRR wystrzelenia Łunnika II, który dotarł do Księżyca i zderzył się z jego powierzchnią. Wydarzenie to zapoczątkowało realizację idei lotów międzyplanetarnych, gdyż po raz pierwszy dzieło rąk ludzkich zostało przeniesione na inne ciało niebieskie dzięki geniuszowi myśli ludzkiej. Stało się to dnia 14 września 1959 r. o godzinie 0 min. 02 sek. 24 czasu moskiewskiego, a upadek zasobnika Łunnika II nastąpił w okolicy kraterów Archimedes, Aristillus i Autolycus. Fakt lądowania na powierzchni Księżyca pojemnika rakiety zawierającego aparaturę badawczą wagi 390,2 kg jest niezwykle doniosły, stwarza on bowiem realne podstawy do zainstalowania na Księżycu automatycznej stacji badawczej.

Stację taką wysłano ze Związku Radzieckiego dnia 4.X.1959 w kosmos na razie bez lądowania na Księżycu po torze obejmującym Ziemię i Księżyc łącznie. Obliczenia były nadzwyczaj precyzyjne i automatyczna stacja międzyplanetarna zawierająca ładunek 278,5 kg aparatury naukowej odbyła swój lot dokładnie po wyznaczonej trajektorii będąc cały czas pod kontrolą urządzeń zainstalowanych na Ziemi. Istniejąca stała łączność radiowa z aparaturą pozwoliła na dokładne wykonanie planu prac badawczych oraz dostarczenie wielu cennych wiadomości o otaczającej stację przestrzeni międzyplanetarnej. Głównym zadaniem stacji międzyplanetarnej było wykonanie fotografii Księżyca od strony nigdy przez nas nie oglądanej. Zadanie to zostało wykonane przez specjalne urządzenie fotooptyczne, które drogą radiową na dany mu sygnał przesłało na Ziemię obraz odwrotnej strony Księżyca. Zdjęcia te zostały wykonane w dniu 7 października 1959 o godzinie 6 min. 30 czasu moskiewskiego przy pomocy kamer wykonujących zdjęcia w dwóch skalach o różnym powiększeniu. Czas wykonywania zdjęć wynosił około 40 minut, w czasie których zostało sfotografowane około 70% niewidocznej strony Księżyca z wysokości 60—70 tys. km. Jest to olbrzymi sukces nauki radzieckiej i stanowi on osiągnięcie na skalę ogólnoswiatową. Wykonanie zdjęcia odwrotnej strony Księżyca ukrytej dotąd przed okiem astronomów stwarza nowe perspektywy dla nauki, gdyż przy pomocy podobnych automatycznych stacji międzyplanetarnych będzie można wykonać zdjęcia nie tylko powierzchni Księżyca, lecz także najbliższych planet Marsa i Wenus. Przy pomocy podobnych urządzeń będzie można dokładnie zbadać naszego naturalnego satelitę, który zdradzi astronomom wiele swoich zagadek. Lot radzieckich satelitów Łunnika II i Łunnika III stanowi nowy etap w wyścigu do Księżyca i według opinii specjalistów niezbyt odległy jest dzień, gdy Księżyc zostanie zdobyty po raz trzeci, tym razem przez astronautów, którzy wylądują na jego powierzchni. Nim jednak to nastąpi, można dokonać krótkiego przeglądu wiedzy o naszym najbliższym z sąsiadów w niezmiernych otchłaniach przestrzeni.

Księżyc jest ciałem niebieskim podobnym do Ziemi i z astronomicznego punktu widzenia można go uważać za planetę, gdyż stanowisko jego w układzie planetarnym jest pod pewnym względem wyjątkowe. Spośród 32 księżyców krążących wokół planet naszego układu słonecznego księżyc ziemski zajmuje pod względem wielkości piąte miejsce. Jednakże przy porównaniu innych planet naszego układu z ich księżycami stosunki średnic i mas między nimi są inne niż między Ziemią i Księżycem. Średnice księżyców planet-olbrzymów nie przekraczają wartości 1% średnic planet, wokół których one obiegają. Natomiast średnica Księżyca stanowi 27% średnicy Ziemi. Podobnie przedstawia się stosunek mas księżyców planet-olbrzymów do mas planet okrążanych przez nie. Masy tych księżyców stanowią ułamki procentu masy planety, natomiast Księżyc ziemski ma masę równą 1/81 części masy globu ziemskiego. Przytoczone powyżej fakty powodują, iż układ Ziemia-Księżyc, można uważać za planetę podwójną.

Jednym z najbardziej interesujących spośród wielu zagadnień dotyczących Księżyca jest problem jego powstania. Jedną z ciekawszych teorii powstania Księżyca jest teoria znakomitego geofizyka angielskiego

G. F. Darwina, zwana teorią rezonansową. Została ona opracowana w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku i opierała się na zjawisku rezonansu, który polega na nakładaniu się drgań wymuszonych na drgania własne ośrodka. Według teorii G. F. Darwina podobne zjawisko było przyczyną powstania Księżyca, który oddzielił się od Ziemi we wczesnych stadiach jej rozwoju. Drgania wymuszone w bryle Ziemi wywoływały siły grawitacyjne Słońca, które powodowały fale przyływów i odpływów, sama zaś kula ziemską, jako ciało — ognisto płynne, posiadała zdolność wykonywania drgań własnych koło figury równowagi. Moment krytyczny dla naszej planety nastąpił z chwilą zrównania się okresów fali przyływów i odpływów z okresem drgań własnych, gdyż wówczas nastąpiło zjawisko rezonansu, które spowodowało oddzielenie się pewnej części masy Ziemi, która utworzyła Księżyc. Za prawdopodobieństwem tej teorii przemawiają pewne fakty, np. stwierdzono, że okres obrotu Ziemi przed podzieleniem się jej wynosiłby około 4 godzin, jak również okres drgań własnych płynnej masy o wielkości i gęstości Ziemi. Także gęstość Księżyca równa jest gęstości powierzchniowych warstw Ziemi, co przemawia na korzyść tej teorii. Inną teorią pochodzenia Księżyca jest teoria *J e a n s a*, która była niejako przystosowaniem jego teorii kosmogonicznej opracowanej dla rozwiązania problemu powstania planet układu słonecznego. Rolę niewiadomej gwiazdy odgrywało w procesie tworzenia się satelitów Słońce. Okres tworzenia się owych satelitów przypadałby wówczas, gdy planety nie krążyły po ustalonych torach jak obecnie i mogły zbliżyć się do Słońca, które powodowało wypływ strug materii, z których powstawały Księżyce. Za teorią tą przemawiają niektóre fakty, np. rozmieszczenie satelitów wokół planet-olbrzymów jest podobne do rozmieszczenia planet wokół Słońca. Ilość satelitów zależałaby od masy planety, gdyż im większa masa, tym dłużej planeta utrzymywałaby się w stanie płynnym pozwalającym na wypływ materii. Z rozważań tych wynikałoby, że Księżyc oddzielił się od Ziemi wówczas, gdy była ona w stanie płynnym, co tłumaczyłoby jego wielkość i dużą masę. Poważny zarzut dla słuszności tej teorii stanowią obliczenia *J e f f r e y s a* który twierdzi, że podział Ziemi mógł nastąpić jedynie w bezpośredniej bliskości Słońca, co znowu groziłoby jej spadkiem na Słońce pod wpływem sił grawitacyjnych. Omówione powyżej teorie zakładają ziemskie pochodzenie Księżyca. Natomiast inny punkt widzenia reprezentuje teoria *A l f v é n a*. Badacz ten podzielił wszystkie ciała wchodzące w skład naszego systemu na dwie kategorie, biorąc pod uwagę m.in. takie dane, jak gęstość oraz stosunek masy do odległości od Słońca. W świetle tych badań Księżyc wykazuje pewne nieprawidłowości, jeżeli go traktować jako satelitę, natomiast trudności te znikają, jeżeli zaliczymy go do wspólnej z Marsem grupy planet. *A l f v é n* uważa Księżyc za planetę Lunę starszą od Ziemi, która z chwilą powstania Ziemi utworzyła wraz z nią układ podwójny Ziemia-Księżyc. Jeszcze inny punkt widzenia reprezentuje teoria kosmogoniczna *S z m i d t a*, która obejmuje powstanie zarówno planet, jak i ich satelitów z obłoku pyłowogazowego, który miałby być wychwycony przez Słońce w czasie jego wędrówki przez Galaktykę. Wskutek oddziaływania Słońca przy pomocy sił grawitacyjnych i elektromagnetycznych oraz pod wpływem jego promieniowania nastąpiło tworzenie się wewnątrz

wychwyconego obłoku punktów kondensacji, które były zarodkami poszczególnych planet i ich satelitów. Argumentami popierającymi tą teorię są ogólne prawidłowości budowy naszego systemu słonecznego np. ruch obrotowy planet i większości ich satelitów jest zgodny co do kierunku z ruchem obrotowym Słońca. Ponadto rozmieszczenie planet w przestrzeni okosłonecznej nosi cechy prawidłowości (tzw. reguła Titusa-Bodego), a także nie bez znaczenia jest fakt, że wszystkie planety i ich satelity krążą wokół Słońca, prawie że w płaszczyźnie równika słonecznego. Tak więc kwestia pochodzenia Księżyca jest związana z ogólną teorią kosmogoniczną i prawdopodobnie badania Księżyca rzucają nowe światło na to niewątpliwie interesujące zagadnienie.

Jest wysoce prawdopodobne, iż przemiany globu księżycowego jako całości we wczesnych stadiach jego rozwoju przebiegały tym samym torem, co przemiany globu ziemskiego. Jednakże o odmiennym ich końcowym wyniku zadecydowały różnice w masie i wielkości obu globów. Oto nieco danych o naszym naturalnym satelicie. Średnica Księżyca ma 3473 km, objętość stanowi 1/49 część objętości globu ziemskiego, masa jest równa 1/81 części masy kuli ziemskiej. Na podstawie tych danych można obliczyć gęstość materii, z której zbudowany jest Księżyc i wynosi ona 3,34 g/cm³. Kształt globu księżycowego nie jest dokładnie znany, lecz na podstawie pomiarów na fotografiach można określić wielkość jego średnicy. Księżyc jest stale zwrócony jedną i tą samą stroną w kierunku Ziemi, toteż siły przyciągania ziemskiego spowodowały trwałe odkształcenie jego bryły. Glob księżycowy najbardziej jest wydłużony w kierunku Ziemi, najmniejsza zaś jego średnica leży wzdłuż osi obrotu. Jego średnica zwrócona ku Ziemi jest o 5,8 km dłuższa od średnicy do niej prostopadłej, a zatem Księżyc ma kształt wydłużonej elipsoidy obrotowej z osią wielką zwróconą ku Ziemi. Kształt ten powoduje powstanie kołysania się Księżyca około osi skierowanej ku środkowi Ziemi. Jest to tzw. libracja fizyczna, lecz jest ona bardzo mała i daje się obserwować tylko za pomocą bardzo dokładnych pomiarów ruchu Księżyca. Budowa wnętrza globu księżycowego nie jest nam dokładnie znana, lecz pewne światło na to zagadnienie rzucają wyniki uzyskane przy pomocy ostatnich rakiet lunarnych. Stwierdzono mianowicie, że Księżyc nie posiada pierścieni radiacyjnych Van Allena. Są to po prostu pasy zwiększonego natężenia promieniowania kosmicznego otaczającego Ziemię i złożone z cząstek naładowanych elektrycznie, które dostały się w obręb ziemskiego pola magnetycznego. Ziemskie pole magnetyczne prawdopodobnie jest wywoływane przemieszczaniem się mas we wnętrzu Ziemi w ciężkim żelazo-niklowym jądrze. Brak pierścieni radiacyjnych Van Allena wokół Księżyca wskazywałby na brak pola magnetycznego, co z kolei sugerowałoby nieistnienie ciężkiego jądra. Wnioski te zdaje się popierać także wartość średniej gęstości Księżyca, która wynosi 3,34 g/cm³, co odpowiada gęstości ziemskiego bazaltu. Księżyc zbudowany jest prawdopodobnie ze skał, które na Ziemi tworzą zewnętrzne powłoki skorupy globu ziemskiego. Wskazuje na to jego kształt, który pozwala przypuszczać, że skały te odznaczają się stosunkowo dużą zdolnością do odkształceń, co jest charakterystyczne dla warstwy granitowej i bazaltowej, tworzących zewnętrzną powłokę skorupy ziemskiej.

Księżyc jest najbliższym sąsiadem Ziemi w przestrzeni międzyplanetarnej i tworzy wraz z nią układ podwójny obiegający wspólny środek masy układu. Punkt, w którym znajduje się ten środek masy układu tzn. barycentrum leży na głębokości ok. 1700 km pod powierzchnią kuli ziemskiej. Barycentrum jest punktem, wokół którego obiegają zarówno Ziemia, jak i Księżyc w ciągu jednego miesiąca gwiazdowego, tj. wskutek ruchu Ziemi punkt ten wędruje wewnątrz globu ziemskiego, tak aby zawsze znajdował się na linii zwanej ekliptyką. On to właśnie porusza się po ekliptyce obiegając Słońce w ciągu okresu, zwanego rokiem gwiazdowym o długości $365^d 6^h 9^m 10^s$, a zatem Księżyc obiega wraz z Ziemią wokół Słońca w ciągu jednego roku. Średnia odległość Księżyca od Ziemi liczy 384 700 km, czas zaś obiegu po orbicie okołoziemskiej wynosi $27^d 7^h 43^m 11^s$, 5, okres ten nazywa się miesiącem gwiazdowym.

Obserwując tarczę Księżyca można łatwo stwierdzić, że widoma wielkość jego tarczy zmienia się w granicach od $33' 30''$ do $29' 21''$. Fakt ten wskazuje na to, że orbita, po której Księżyc porusza się, jest eliptyczna, a średni mimośród jej wynosi 0,055. Punkt orbity, w którym Księżyc jest najbliżej Ziemi nazywa się perigeum i znajduje się w odległości 363 500, punkt zaś położony najdalej od Ziemi tzw. apogeum leży w odległości 406 000 km. Ziemia znajduje się w jednym z ognisk elipsy, oś zaś wielka tejże elipsy nie znajduje stałego położenia w stosunku do gwiazd, lecz porusza się w kierunku ruchu Księżyca, dokonując pełnego obiegu w ciągu 8,85 lat. Okres czasu między kolejnymi przejściami Księżyca przez perigeum nazywa się miesiącem anomalistycznym i długość jego wynosi $27^d 13^h 18^m 33^s$. Prędkość orbitalna Księżyca wynosi średnio 1020 m/sek. Orbita Księżyca w heliocentrycznym układzie odniesienia stanowi linię falistą 12,5 raza przewijającą się przez orbitę Ziemi w ciągu jednego roku. Punkty przecięcia się drogi Księżyca z orbitą Ziemi noszą nazwę węzłów tej drogi, przy czym węzeł wstępujący jest punktem, gdzie szerokość ekliptyczna Księżyca zmienia się z ujemnej na dodatnią, przeciwnie zaś jemu punkt stanowi węzeł zstępujący. Oprócz omówionych powyżej okresów jest jeszcze tzw. miesiąc smoczy, którym nazywamy odstęp czasu między kolejnymi przejściami Księżyca przez ten sam węzeł. Węzły przesuwają się po ekliptyce w kierunku zachodnim, toteż miesiąc smoczy jest krótszy od gwiazdowego i wynosi średnio $27^d 5^h 5^m 36^s$. Tarcza Księżyca obserwowanego z Ziemi wykazuje odmiany faz, a zjawisko to jest związane z położeniem Księżyca względem Słońca i Ziemi. Rozróżnić można cztery fazy Księżyca: now, gdy Księżyc zajmuje położenie bliskie Słońcu i jest niewidoczny w świetle jego promieni, pierwsza kwadra oznacza położenie Księżyca na 90° na wschód od Słońca, podczas pełni Księżyc i Słońce zajmują przeciwległe sobie punkty na sklepieniu niebieskim, ostatnia zaś kwadra oznacza położenie Księżyca na 90° na zachód od Słońca.

Pełny okres odmiany faz wynosi $29^d 12^h 44^m 3^s$ i nosi nazwę miesiąca synodycznego. Innymi zjawiskami wynikającymi ze współzależności położenia Księżyca, Słońca i Ziemi w przestrzeni, są całkowite i częściowe zaćmienia Księżyca. Powstają one wówczas, gdy Ziemia znajduje się między Słońcem a Księżycem, tak iż przechodzi on przez cień Ziemi, a zatem promienie światła słonecznego nie oświetlają jego tarczy lub

oświetlają tylko jej część. Całkowite zaćmienie Księżyca jest możliwe tylko wtedy, gdy Księżyc znajduje się w pełni, a odległość jego od węzła nie przekracza 12° , odległość zaś od ekliptyki nie jest większa niż 1° . Czerwone zabarwienie tarczy Księżyca obserwowane wówczas pochodzi od rozproszonego światła tej barwy powstającego na skutek załamывania się promieni słonecznych w atmosferze ziemskiej i padającego na tarczę zaćmionego Księżyca. Podobnym zjawiskiem jest tzw. światło popielate, które można obserwować na kilka dni przed i po nowiu, powstaje ono na skutek oświetlenia reszty zwróconej ku Ziemi półkuli światłem odbitym od Ziemi. Księżyc obraca się wokół swej osi, lecz wskutek sił przyptywowych wywoływanych oddziaływaniem Ziemi ruch obrotowy został zahamowany i zrównany z okresem obiegu Księżyca po orbicie okołoziemskiej. Wskutek zrównania obu tych okresów Księżyc jest stale zwrócony w kierunku Ziemi zawsze tą samą stroną. Toteż obserwator znajdujący się na powierzchni Ziemi może oglądać tylko połowę powierzchni Księżyca. Jednakże dzięki istnieniu zjawiska zwanego libracją optyczną, tj. kołysania się Księżyca powodowanego eliptycznością jego orbity i nieznacznego, bo tylko 5° wynoszącego nachylenia płaszczyzny orbity do płaszczyzny równika ziemskiego, można obserwować nieco więcej niż połowę powierzchni Księżyca. Ogółem przy pomocy ziemskich teleskopów możemy obserwować 59% powierzchni Księżyca, bowiem libracja optyczna pozwala obserwować odwrotną stronę Księżyca, nawet do 10° selenograficznego.

Obserwacje Księżyca dokonywane okiem nieuzbrojonym pozwalają tylko na rozeznanie na jego tarczy jaśniejszych i ciemniejszych plam. Dopiero zastosowanie optycznych narzędzi badawczych, lunet i teleskopów pozwoliło na bliższe poznanie struktury powierzchni księżycowej. Systematyczne obserwacje Księżyca doprowadziły do opracowania map jego powierzchni. Pierwsza poprawna mapa powierzchni Księżyca została opracowana przez gdańskiego astronoma Jana Heweliusza i wydana w roku 1647. Nomenklaturę dla tej mapy Heweliusz zapożyczył z nazw ziemskich obiektów i tak np. dzisiejszy krater Kopernik nosił nazwę Etna, łańcuchy zaś gór np. Apeniny lub Karpaty noszą nazwy nadane im przez Heweliusza jeszcze do dziś. Była to na owe czasy bardzo dokładna mapa, a do dzisiejszego dnia zachowało się jedynie kilka jej kopii. Wiele spośród utworów znajdujących się na powierzchni Księżyca nosi nazwy nadane im przez współczesnego Heweliuszowi astronoma włoskiego Ricciolo. Obecnie krater księżycowe noszą przeważnie nazwy pochodzące od nazwisk sławnych uczonych tak starożytnych, jak i z czasów bardziej współczesnych. Współczesne mapy powierzchni Księżyca opracowuje się na podstawie zdjęć fotograficznych poszczególnych regionów Księżyca. Najnowszy fotograficzny atlas Księżyca opracowuje obecnie amerykański astronom G. P. Kuiper przy współpracy angielskich badaczy E. A. Whitakera i D. W. G. Artura. Pierwsza część tego atlasu ukazała się w roku 1959. Powierzchnia Księżyca oglądana przez teleskop wykazuje mnóstwo różnorodnych szczegółów. Współczesna technika obserwacyjna pozwala na oglądanie poszczególnych utworów na powierzchni Księżyca, nawet o niezbyt wielkich rozmiarach. Wielkość obiektów położonych w środkowych partiach tarczy Księżyca, które mogą być

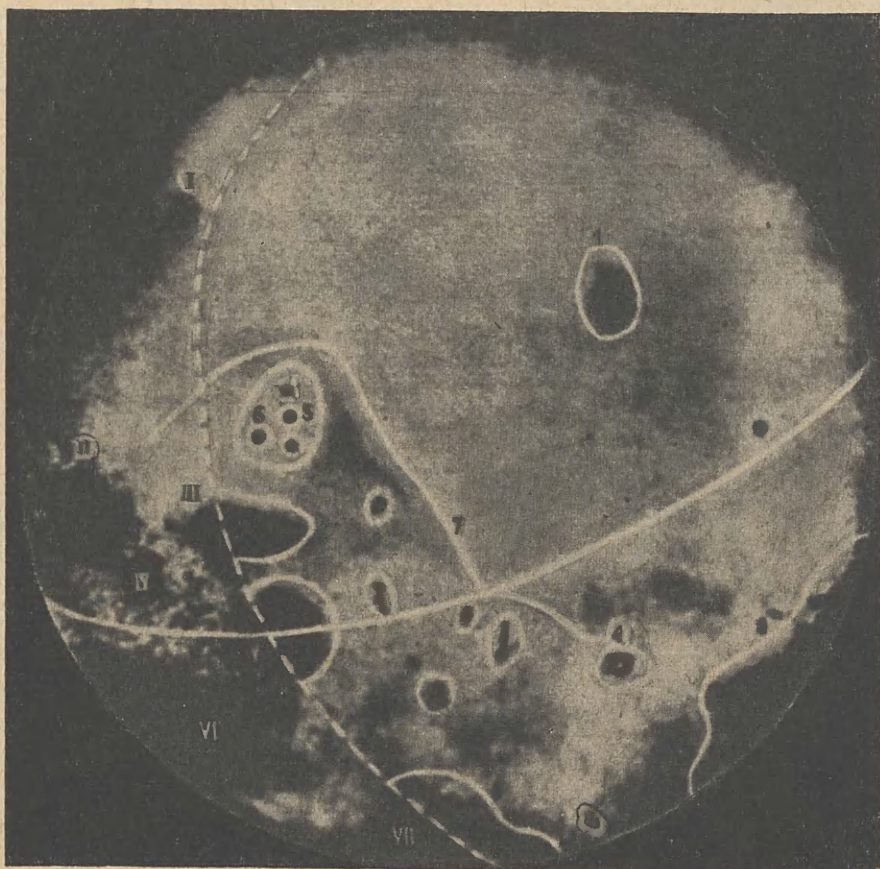
sen. Prawdopodobnie obie te przyczyny doprowadziły do powstania obecnej rzeźby terenu powierzchni księżycowej. Za teorią wulkaniczną przemawiają fakty stwierdzenia działalności wulkanicznej we wnętrzu niektórych kraterów, natomiast hipotezę meteorytową popierają obserwacje budowy kraterów, które bardzo przypominają kratery ziemskie powstałe wskutek spadku wielkich meteorytów. Kratery księżycowe mają



Rys. 2. Fotografia Księżyca w pełni. Obraz półkuli stale zwróconej w stronę Ziemi.
U góry widoczne jasne smugi rozchodzące się od krateru Tycho

budowę olbrzymich cyrków o średnicach dochodzących niekiedy do kilkuset kilometrów. Na płaskim dnie krateru czasem znajduje się jedna większa górką centralną lub kilka mniejszych. Wał krateru może się wznosić ponad dno, nawet do wysokości kilku kilometrów. Na stromych ścianach tych wałów często można obserwować szczeliny, pęknięcia, rozpadliny i inne utwory, które są wynikiem działalności erozji termicznej. Erozja ta jest wynikiem nagłych skoków temperatury na powierzchni Księżyca podczas zaćmień, gdy nagrzane promieniami Słońca skały zo-

staną nagle oziębione wskutek przesłonięcia tarczy Słońca przez Ziemię. Powoduje to pękanie i rozkruszanie się skał wskutek różnicy temperatur, co doprowadza do tak urozmaiconej rzeźby terenu. Do najciekawszych kraterów księżycowych należy krater Kopernika, nazwany tak na cześć sławnego polskiego twórcy systemu heliocentrycznego. Osobliwością jego są białawe smugi promieniście rozchodzące się od jego podstawy niekiedy na wiele setek kilometrów. Pochodzenie i natura tych smug są jeszcze nie



Rys. 3. Fotografia odwrotnej strony Księżyca wykonana przez stację międzyplanetarną. Linia przerywana odgranicza część znaną od nieznaną dotąd. Biała linia X ciągła to równik księżycowy. Niektóre ciekawsze obiekty na niewidocznej dotąd półkuli: 1. Morze Moskiewskie, 4. Krater Ciołkowskiego, 5. Krater Lomonosowa, 6. Krater Joliot-Curie, 7. Góry Radzieckie

rozwiązane, jak również nie jest znany dotychczas skład chemiczny skał na powierzchni Księżyca. Podobne smugi towarzyszą i innym kraterom, a niektóre z nich posłużyły nawet do lokalizacji kraterów leżących po niewidocznej stronie Księżyca. Oprócz kraterów na powierzchni Księżyca znajdują się jeszcze łańcuchy gór noszących nazwy ziemskich masywów

np. Alpy, Apeniny, Karpaty itp. Wysokość poszczególnych szczytów tych gór sięga niekiedy do 10 tysięcy metrów nad poziom powierzchni Księżyca, zaś masywy te przebiegają na przestrzeni wielu setek kilometrów zwykle okalając morza księżycowe. Masywy te są wynikiem działalności górotwórczej w zamierzchłych czasach młodości globu księżycowego. Efektem tejże działalności są także inne jeszcze utwory np. głębokie szczeliny ciągnące się na długości kilkuset kilometrów i charakteryzujące się prostoliniowym przebiegiem. Inną pozostałością po górotwórczej działalności na Księżycu są także ściany lub mury powstałe wskutek uskoków i przesunięć tektonicznych otaczających je masywów skalnych. Do najłatwiejszych do obserwacji utworów powierzchni Księżyca, bo dostępnych nawet okiem nieuzbrojonym, należą tzw. morza. Nie są to morza w ziemskim znaczeniu, na Księżycu bowiem nie ma wody, lecz przyjęto tak nazywać olbrzymie obszary płaskiego terenu pokryte pyłem księżycowym. Nazwa morza pochodzi jeszcze z nomenklatury Heweliusza dla oznaczenia ciemniejszych niż ich otoczenie plam na powierzchni naszego naturalnego satelity. Pochodzenie swe zawdzięczają prawdopodobnie procesom wulkanicznym, które miały miejsce we wcześniejszych okresach globu księżycowego. Niezbyt jeszcze zestalona skorupa pękała pod wpływem sił wulkanicznych, a szczelinami tymi wydobywała się rozżarzona lava, która zalewała większe połacie powierzchni Księżyca. Prawdopodobnie przyciąganie ziemskie również odgrywało pewną rolę w procesie powstawania tych mórz, gdyż siły grawitacyjne wywoływały fale przypływowe w półpłynnej magmie, co powodowało nacisk ich na zewnętrzne warstwy leżące nad nimi. Warstwy te niekiedy pękały i magma wydostawała się na powierzchnię powodując powstanie mórz. Morza te są obecnie pokryte pyłami pochodzenia zarówno wulkanicznego, jak i kosmicznego. Pyły pochodzenia kosmicznego powstały na drodze roztrzaskiwania się większych meteorytów o powierzchnię Księżyca, a także i mikrometeorytów, które wskutek braku atmosfery nie ulegają spaleniowi i docierają do powierzchni, tworząc spore pokłady pyłów, pokrywających wszystkie utwory księżycowe powłoką utrudniającą przenoszenie się ciepła. Księżyc, jak stwierdzono na podstawie ostatnich badań, posiada atmosferę, lecz jest ona niesłychanie rozrzedzona. Gęstość jej jest równa gęstości atmosfery ziemskiej na wysokości 200 km, czyli praktycznie stanowi próżnię. Ma to pewne konsekwencje, gdyż brak atmosfery uniemożliwia zachodzenie wielu procesów fizykochemicznych i mechanicznych np. na Księżycu nie ma procesów erozji skał opartych na czynnikach mechanicznych i fizykochemicznych. Istnieje tylko erozja termiczna, wskutek nagłych zmian temperatur, gdzie różnica może dochodzić do 250°C . Temperatura na powierzchni Księżyca w partiach oświetlonych dochodzi do $+130^{\circ}\text{C}$, w partiach zaś nieoświetlonych spada do -160°C . Jest to jedynie temperatura powierzchni gruntu, gdyż struktura jej gąbczasto-pylasta ma znikome przewodnictwo cieplne. Jak stwierdziły ostatnie badania Kozłowa i Linka, powierzchnia Księżyca składa się z minerałów posiadających zdolność luminescencji pod wpływem promieniowania korpuskularnego pochodzącego ze Słońca. Zdolność tę posiadają zwłaszcza minerały na dnie niewielu kraterów oraz substancje tworzące owe zagadkowe smugi, które czasami uważa się za produkty działalności wulkanicznej.

Z zagadnieniem tym łączy się kwestia obecnej działalności wulkanicznej na Księżycu. Do niedawna istniały tylko przypuszczenia i niepewne obserwacje w postaci okresowych zamgleń niektórych kraterów księżycowych.



Rys. 4. Część tarczy Księżyca. Okolice Morza Deszczów. Na lewo od środka widoczna grupa trzech kraterów: Archimedes, Aristillus i Autolycus

co interpretowano jako wydzielanie się gazów i pyłów wulkanicznych. Dopiero obserwacje Kozyrewa dokonane w roku 1958 pozwoliły prześledzić proces wybuchu wulkanicznego na Księżycu i otrzymać spektrogramy, za pomocą których można uzyskać dane dotyczące składu chemicz-

nego wydzielających się par i gazów. Obiektem obserwacji Kozyrewa był krater Alfons posiadający wewnątrz górkę centralną, która okazała się stożkiem czynnego wulkanu. Obserwacje Kozyrewa potwierdził angielski selenolog H. P. Wilkins, lecz znalazły się również głosy przeciwnie tłumaczące zjawiska obserwowane przez Kozyrewa, jako wynik lokalnej działalności skupisk pierwiastków promieniotwórczych. J. H. Fremlin uważa, że skupienia pierwiastków promieniotwórczych mogą powodować powstanie lokalnych ognisk nierównowagi, brak zaś atmosfery i słabe ciśnienie pyłów pozwalają na wydzielanie się gazów i pyłów o wysokiej temperaturze, a także powodują powstawanie górek centralnych wewnątrz krateru. Tak więc istnienie wulkanów na Księżycu nadal stanowi kwestię sporną.

Dla wyobrażenia wyglądu powierzchni Księżyca najlepiej posłuży opis części jego powierzchni. Morze Deszczów, zwane inaczej *Mare Imbrium* położone w północno-wschodniej części tarczy naszego naturalnego satelity należy uznać za najpiękniejszą krajobrazowo partię księżycowej powierzchni. Poza tym jest to miejsce, gdzie wylądował zasobnik Łunnika II, pierwszy twór rąk ludzkich przeniesiony na inne ciało niebieskie. Jest to więc także w pewnym sensie miejsce historyczne. Morze Deszczów z trzech stron, tj. od północy, zachodu i południa otoczone jest masywami górskimi, na wschodzie zaś w okolicy kraterów Euler, Diophantes i Delisle przechodzi w Ocean Burz. Północ i północny-zachód zajmują kolejno Jura i Alpy, dalej na zachodzie jest łańcuch górski zwany Kaukazem, na południowym zachodzie i południu rozciągają się Apeniny, a dalej na południowym-wschodzie Karpaty. Morze Deszczów jest olbrzymią owalną płaszczyzną liczącą z północy na południe 1100 km, ze wschodu zaś na zachód 1200 km. Na tym obszarze znajduje się mnóstwo najrozmaitszych utworów, np. samych kraterów jest ponad 700. Poza tym znajdują się tutaj pofałdowane powierzchnie oraz łańcuchy gór i pagórków. Na północno-wschodnim skraju Morza Deszczów znajduje się Zatoka Tęczy (*Sinus Iridium*), a brzeg jej stanowi pasmo gór Jura, które wysuwa dwa przylądki Laplace i Heraclides. Dalej na zachód znajduje się imponujący krater Platon (96 km średnicy), którego dno będące równiną silnie kontrastuje z górzystą okolicą znajdującą się wokół krateru. Są tam pasma gór Straight Range (Góry Proste), Teneryfa i Pico. Brzeg Morza teraz stanowią Alpy, które ciągną się aż do krateru Cassini (58 km), a dalej rozciągają się góry Kaukaz. W okolicy Kaukazu, którego szczyty sięgają 6000 m, znajduje się grupa trzech kraterów Archimedes (80 km), Aristillus (56 km) i Autolycus (38 km). Te trzy kratery nazwane imionami greckich astronomów oddzielają od reszty część Morza Deszczów. Obszar leżący między Kaukazem a kraterami Aristillus i Autolycus nosi nazwę *Palus Nebularum* (Bagno mgieł), między zaś Apeninami a Archimedesem zwie się *Palus Putredinis* (Bagno Zgnilizny). Powierzchnia obu tych obszarów jest nieco jaśniejsza od innych okolic Morza Deszczów i ma charakter terenu wybitnie górzystego. Tutaj warto zaznaczyć, że te właśnie okolice stanowią miejsce spadku zasobnika Łunnika II. Dalszy ciąg Kaukazu stanowią Apeniny ciągnące się na długości 400 km, aż do krateru Eratostenes (62 km), a dalej są Karpaty. Apeniny są najwspanialszymi górami księżycowymi, a najwyższy ich szczyt góra Huyghensa liczy 5 600 m.

W pobliżu Apenin jest interesujący krater Wallace. Wskutek wylewu magmy został on częściowo zatopiony, bo wał jego wyrasta tylko na 500 m nad powierzchnią Morza Deszczów. Do innych godnych uwagi kraterów należą: Timocharis (40 km) i Euler (30 km) ozdobione smugami podobnymi do smug krateru Kopernik oraz Helicon (21 km), którego dno obniżone jest o ok. 800 m w stosunku do powierzchni Morza Deszczów. Masywy górskie Piton i Spitzbergen są najbardziej charakterystyczne spośród izolowanych łańcuchów górskich. Południowa część Morza Deszczów poprzecinana jest białawymi smugami biegnącymi od krateru Kopernik.

Do niedawna odwrotna strona Księżyca była niedostępna dla badań i dopiero zastosowanie automatycznej stacji międzyplanetarnej dla badań astronomicznych pozwoliło na dokonanie fotografii tejże partii powierzchni naszego naturalnego satelity. Poprzednio dzięki zjawisku libracji oraz metodą pośrednią przez obserwację jasnych smug towarzyszących niektórym kraterom można było mieć pewne wyobrażenie o wyglądzie drugiej półkuli. Zasadniczo nie ma powodów do przypuszczeń, aby odwrotna strona Księżyca różniła się bardzo od tej części powierzchni, którą obserwujemy przy pomocy teleskopów. Jednakże na podstawie wniosków płynących z hipotezy wulkanicznej należałoby przypuszczać, że odwrotna strona Księżyca charakteryzuje się mniejszą ilością i mniejszymi rozmiarami mórz, a natomiast przeważałyby tam wyżynne przestrzenie z wielką ilością kraterów i masywów górskich. I. M. Lewitt na podstawie tych wniosków naszkicował rysunek przedstawiający hipotetyczny wygląd odwrotnej strony Księżyca, i porównując obecnie ten rysunek z fotografiami radzieckimi można stwierdzić dużą ich zgodność. Zdjęcia uzyskane przy pomocy radzieckiej stacji międzyplanetarnej zdają się potwierdzać słuszność hipotezy wulkanicznej, odkryto bowiem liczne masywy górskie położone w części południowej oraz w pasie równikowym. Jednym z nich jest masyw, biegnący na południowy wschód od Morza Humboldta o długości 2000 km, przecinający równik i sięgający aż do części południowej. Wspomniany łańcuch gór nosi obecnie nazwę Gór Radzieckich. Między 20 a 30 stopniem szerokości północnej i 140 a 160 stopniem długości zachodniej leży olbrzymi krater o średnicy ok. 300 km. Jest to Morze Moskiewskie, które kończy się Zatoką Astronautów. Do zaobserwowanych kraterów należą także: Morze Marzenia, Krater Łomonosowa, Krater Joliot-Curie oraz krater Ciołkowskiego, który posiada wyraźną górkę centralną w środku krateru o średnicy przeszło 100 km. Istnieją także przypuszczenia, że wskutek braku nagłych skoków temperatury, które występują podczas zaćmień na części powierzchni Księżyca zwróconej w stronę Ziemi, nie zachodzi tam erozja termiczna, a zatem skały tamtejsze mają bardziej łagodne i mniej poszarpane kształty.

Jedną z najbardziej interesujących zagadek Księżyca jest kwestia możliwości istnienia na jego powierzchni ożywionych form materii. Lederberg i Cowie przeprowadzili rozważania na temat biologicznych aspektów lotów na Księżyc. Rozważania te dotyczyły głównie korzyści, jakie dla nauki mogą dostarczyć badania pyłu księżycowego z punktu widzenia biopoezy. Stwierdzone warunki fizyczne, jakie panują na powierzchni Księżyca, są niezwykle surowe, jednakże żywe organizmy

odznaczają się prawie że 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 środowiska, które doprowadziły do powstania bardzo prymitywnych organizmów lub tylko do powstania związków, z których mogła się wykształcić ożywiona materia. Związki te powstałe na drodze abiogenicznej mogłyby rzucić światło na proces powstawania ich na Ziemi. Także obecność ewentualnych żywych organizmów podobnych np. do bakterii beztlenowych miałyby ogromne znaczenie dla genetyki i problemu ewolucji. Badania te dostarczą również odpowiedzi na pytanie, czy jest możliwe przenoszenie się zarodników życia z jednych ciał niebieskich na drugie. Istnieją pewne dane obserwacyjne, które pozwalają przypuszczać, że na Księżycu zachowały się jeszcze resztki jego biosfery. Wskazują na to zielonkawe obszary na dnie niektórych głębokich kraterów np. Platona, Alfonsa, gdzie mogły pozostać resztki pierwotnej atmosfery Księżyca, a działalność wulkaniczna tych kraterów mogła stworzyć warunki dla powstania lokalnego klimatu dogodnego dla istnienia i rozwoju żywych organizmów. Powyżej omówione badania byłyby poważnie utrudnione lub wręcz niemożliwe, gdyby nastąpiło zaburzenie naturalnych warunków przez niezbyt przemyślaną działalność człowieka. Dotyczy to przede wszystkim wywołania wybuchów atomowych na powierzchni Księżyca. Wybuchy takie zniszczyłyby ewentualne organizmy żywe oraz zmieniłyby skład izotopowy i naturalny porządek ułożenia warstw pyłu księżycowego. Innym problemem jest możliwość przeniesienia na Księżyc mikroorganizmów we wnętrzu rakiet lunarnych, co oczywiście zmieniłoby zupełnie z punktu widzenia biopoezy stosunki tam panujące. W tym też celu stosuje się obecnie dokładną sterylizację ostatnich członów rakiet lunarnych, 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. Zagadnienie istnienia ożywionych form materii na Księżycu zostanie ostatecznie rozwiązane dopiero przez ekspedycje astronautów.

Jak wskazuje na to postęp techniki raketowej, lot na Księżyc rakiety z załogą ludzką będzie już wkrótce zrealizowany. Warunki, w jakich znajdą się tam astronauta, będą krańcowo różne od panujących na Ziemi. Poruszanie się na powierzchni Księżyca będzie możliwe tylko przy użyciu skafandrów, które zabezpieczą człowieka przed brakiem atmosfery, zabójczym promieniowaniem i niezbyt dogodnymi temperaturami. Sześciokrotnie mniejsza siła ciężenia, jaka da się odczuć na Księżycu będzie dużym udogodnieniem, gdyż ułatwi korzystanie ze skafandrów oraz pracę w ciężkim księżycowym terenie. Nastęstwo dnia i nocy istnieje na Księżycu, lecz trwają one po około 14 dni ziemskich. Stosunki oświetleniowe charakteryzują się silnymi kontrastami. Miejsca oświetlone są pełne oślepiającego światła, natomiast nieoświetlone toną w głębokiej ciemności. Powodem tych stosunków jest brak zjawiska rozpraszania światła, gdyż nie ma atmosfery, jedynie światło odbite od wysokich ścian górskich może nie-

kiedy tworzyć strefy półcienia. Interesujący jest wygląd nieba księżycowego, na którym zarówno w dzień, jak i w nocy widoczne są gwiazdy. Wśród obiektów na nim widocznych sporo miejsca zajmuje Ziemia, której tarcza jest cztery razy większa niż tarcza Księżyca widzianego z Ziemi i świecąca wielokroć silniej.

Tak pokrótce przedstawia się przegląd zagadnień związanych z Księżciem w świetle współczesnego stanu wiedzy. Wiadomości nasze są wynikiem pośrednich badań Księżyca i na pewno ulegną olbrzymim zmianom z chwilą, gdy Księżyc stanie się dostępny dla bezpośrednich badań prowadzonych „na miejscu”.

Andrzej Deloff

ANTYMATERIA

Z końcem października ub. roku lista laureatów nagrody Nobla w dziedzinie fizyki powiększyła się o dwa nowe nazwiska. Emilio Segré i Owen Chamberlain, pracownicy Uniwersytetu Kalifornijskiego otrzymali to zaszczytne wyróżnienie za prace związane z wytworzeniem i identyfikacją antynukleonów dokonane w 1955 roku.

Istnienie tych cząstek było już jednak przewidziane około trzydziestu lat wcześniej przez teorię Diraca. Dedukując swe słynne równanie, stanowiące relatywistyczny opis elektronu, Dirac otrzymał oprócz „normalnego” rozwiązania reprezentującego elektron jeszcze i drugie rozwiązanie opisujące cząstkę o masie równej masie elektronu, lecz ładunku o znaku przeciwnym do ładunku elektronu. Tę hipotetyczną wówczas cząstkę nazywał Dirac pozytronem, wprowadzając po raz pierwszy pojęcie antycząstki. Równanie Diraca po niewielkiej przeróbce można stosować również i do nukleonów, czyli protonu i neutronu. Z teorii wynikało zatem, że i im odpowiadać muszą antycząstki hipotetyczny antyproton i antyneutron. Te śmiałe hipotezy usuwały radykalnie wszystkie ewentualne trudności, które wynikały z pojawienia się owych pozornie niefizycznych rozwiązań. Już jednak w tym czasie teoria Diraca odnosiła ogromne sukcesy. Znajomość jedynie dwu stałych: masy i ładunku elektronu umożliwiała otrzymanie, zadziwiająco zgodnego z doświadczeniem opisu własności elektronu i poziomów energetycznych atomu wodoru. Spin elektronu, który uprzednio wprowadzano do teorii w sposób sztuczny, był w teorii Diraca zawarty automa-



Emilio Segré, odkrywca antyprotonu

tycznie, jako efekt relatywistyczny. Dzięki owym wynikom fizycy nabraли dużego zaufania do tej teorii, mimo hipotez o istnieniu antycząstek. Zaufanie to ugruntowane zostało w sposób ostateczny, gdy w parę lat



Owen Chamberlain,
odkrywca antyprotonu

później Anderson w promieniach kosmicznych rzeczywiście stwierdził istnienie pozytronu. Nikt prawie nie wątpił już wtedy w możliwość istnienia dalszych antycząstek: antyprotonu i antyneutronu, zwłaszcza że teoria dawała nie tylko ich opis, ale umiała wytłumaczyć i to, dlaczego są one tak trudne do zaobserwowania. Założenia, które do tego prowadzą, są bardzo ogólne i odnoszą się do wszystkich fermionów o spinie $1/2$, a więc na przykład również i do odkrytych w ostatnich latach hyperonów.

Własności cząstek i antycząstek są symetryczne, ujmuje je tabela nr 1.

Tak więc cząstka i antycząstka mają równe masy, spiny i czasy życia, a przeciwne ładunki i momenty magnetyczne. Dwie ostatnie własności tabelki są konsekwencją zasady zachowania tzw. liczby barionowej, stanowiącej analogię ładunku elektrycznego. Zasada jest tu taka, że cząstkom przypisuje się liczbę barionową $+1$, zaś antycząstkom -1 , suma tych liczb musi być stałą wielkością. Jeżeli w jakiejś reakcji powstaje cząstka, której przedtem nie było, musi powstać również i antycząstka. Podobnie

nie można zanihilować pojedynczej cząstki tylko zawsze parę: cząstka — antycząstka. Własność 6 jest przepisem na wytworzenie pary cząstka — antycząstka; trzeba przeprowadzić reakcję, w której energia kinetyczna cząstek reagujących przewyższa $2Mc^2$ gdzie M jest masą cząstki (a zatem i antycząstki), c — prędkością światła. Elektrony i pozytrony dla których można wypisać podobną tabelkę również kreują się i anihilują parami, a proste wyliczenie daje energię konieczną dla utworzenia pary elektron — pozytron; wynosi ona nieco powyżej 1MeV . Energia potrzebna do wytworzenia pary nukleon — antynukleon będzie więc większa, tak jak stosunek mas elektron — nukleon czyli około 2BeV . Na to, by zwiększyć energie uzyskiwane w laboratorium właśnie o te trzy rzędy wielkości, trzeba było dwudziestu paru lat, bo tyle właśnie minęło od doświadczeń Andersona do Segré — Chamberlaina. Teoretycznie istnieje możliwość znalezienia antyprotonów w promieniach kosmicznych podobnie jak pozytronów, które były wykryte najpierw właśnie w promieniach kosmicz-

Tabela 1

	Cząstki	Antycząstki
masa	m	m
ładunek	q	$-q$
spin	s	s
moment magnetyczny	μ	$-\mu$
czas życia	T	T
kreacja	w parach	w parach
anihilacja	w parach	w parach

nych. Energie cząstek promieni kosmicznych są największymi jakie zaobserwowano — górna granica energii wynosi 10^9 BeV, a więc nawet może przewyższać o dalsze dziewięć rzędów wielkości tę, która jest konieczna do kreacji pary nukleonowej. Próby zaobserwowania antynukleonów w promieniach kosmicznych trwały wiele lat i otrzymano nawet kilka fotografii torów, a następnie anihilacji cząstki, która mogła być antyprotonem. Nie było jednak stuprocentowej pewności. Samo zjawisko anihilacji jest dla antynukleonu bez porównania bardziej skomplikowane niż dla pary elektronowo-pozytronowej. Anihilacja antynukleonu prowadzi do powstawania gwiazdy mezonowej z udziałem mezonów π (oraz K ale bez porównania rzadziej) zarówno naładowanych jak i neutralnych. Identyfikacji antyprotonu na podstawie analizy gwiazdy anihilacyjnej nie udało się dokonać z wystarczającą dokładnością, chociaż przypadki zarejestrowane w promieniach kosmicznych były bardzo sugestywne. Jedyną pewną drogą do zaobserwowania antyprotonu było wytworzenie go w warunkach laboratoryjnych. W tym celu Segré i Chamberlain zbudowali ogromny akcelerator Bevatron, dający wiązkę protonów o energii 6.2 BeV. Energia ta jest ponad trzykrotnie większa od koniecznej do wytworzenia pary nukleonowej. Im większa energia zostaje skumulowana w jednym punkcie, tym większe jest prawdopodobieństwo kreacji pary. Ideowo sprawa jest prosta: antyprotony powinny wytwarzać się w reakcji typu:

$$p + p \rightarrow p + p + p + \bar{p} \text{ lub } p + n \rightarrow p + n + p + \bar{p}$$

W praktyce wygląda to w ten sposób, że wiązka protonów z Bevatronu o energii 6.2 BeV uderza w tarczę miedzianą i w tarczy tej wytwarzają się pary nukleonowe. Dalszą trudnością, jak wiemy dość istotną jest identyfikacja antynukleonów, które mogą znajdować się w wiązce wychodzącej z tarczy. Ze względu jednak na to, że przy tak wielkich energiach produkowana jest duża ilość innych cząstek, głównie mezonów, do identyfikacji antyprotonu użyto metody licznikowej, a nie emulsji fotograficznej. Tło towarzyszące jednemu antyprotonowi wynosiło około 40 000 cząstek! Z tła tego należało wybrać cząstki o masie równej masie protonu i ładunku $-q$. Przy pomocy pryzmatu magnetycznego wybrano cząstki o ładunku $-q$ i określonym pędzie $p = 1.2$ BeV/c. Ze związku pomiędzy pędem a prędkością

$$p = m v \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-1/2}$$

można wyliczyć, znając masę antyprotonu jego prędkość. Mezony, stanowiące tło, jako lżejsze, posiadać muszą prędkość większą i to stanowi podstawę do ich oddzielenia. Schemat aparatury przedstawia rysunek. Po wyjściu z pryzmatu wiązka cząstek o jednakowym pędzie zostaje skolinowana przez soczewkę magnetyczną, a następnie przebiega odcinek długości 40 stóp, na początku którego i na końcu umieszczono liczniki



Rys. 1. Gwiazda powstała w emulsji fotograficznej podczas anihilacji pary nukleonowej

scyntylicyjne S_1 i S_2 . Lżejsze mezony przebiegają ten odcinek w czasie 40 milimikrosekund, podczas gdy antyprotony potrzebują 51 milimikrosekund. Czas przelotu mierzą liczniki S_1 i S_2 . Wobec tak wielkiego tła może zdarzyć się, że jeden mezon uruchamia licznik S_1 , a inny po czasie

przypadkowo równym 51 milimikrosekund uruchamia scyntylator S_2 . Możliwość ta musi być wykluczona.

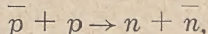
W tym celu na dalszej drodze wiązki ustawiono licznik Czerenkowa, którego zasadniczym elementem jest płytka zrobiona z materiału optycznego. Częstka przechodząca przez płytkę z prędkością większą od prędkości światła w tej płytce — staje się źródłem świecenia, czyli tzw. promieniowania Czerenkowa. Kąt, pod którym wydobywa się promieniowanie, zależy od prędkości cząstki, tak więc promienie Czerenkowa wyjdą pod innym kątem, gdy przez płytkę przejdzie szybko poruszający się mezon, a pod innym, gdy świecenie wywołane jest przelotem wolniej biegnącego antyprotonu.

Promienie Czerenkowa, podobnie jak w przypadku scyntylatorów, zamienia fotokomórka na impulsy prądowe. Liczników Czerenkowa użyto więc również do pomiarów prędkości. Licznik C_1 ustawiono w ten sposób, żeby reagował na jedną tylko prędkość — znaną prędkość antyprotonu, przelot cząstki z jakąkolwiek inną prędkością nie jest sygnalizowany. Licznik C_2 ma inne trochę zadanie — zadanie ubezpieczania pozostałych przyrządów do pomiaru prędkości. Licznik C_2 mianowicie połączony w antykoincydencji anuluje sygnały scyntylatorów S_1 , S_2 i C_1 , jeżeli nie przeszedł przezeń antyproton.

Mogłoby się np. zdarzyć, że dwa mezony wywołały przypadkowo sygnał w scyntylatorach S_1 , S_2 , a przez C_1 przeszła jakaś cząstka „obca“ z zewnątrz, powiedzmy z promieniowania kosmicznego. Taki przypadek wyklucza licznik C_1 i wyłącza wszystkie poprzednie sygnały w wypadku przelotu mezonu, a nie da żadnego sygnału w przypadku przelotu antyprotonu.

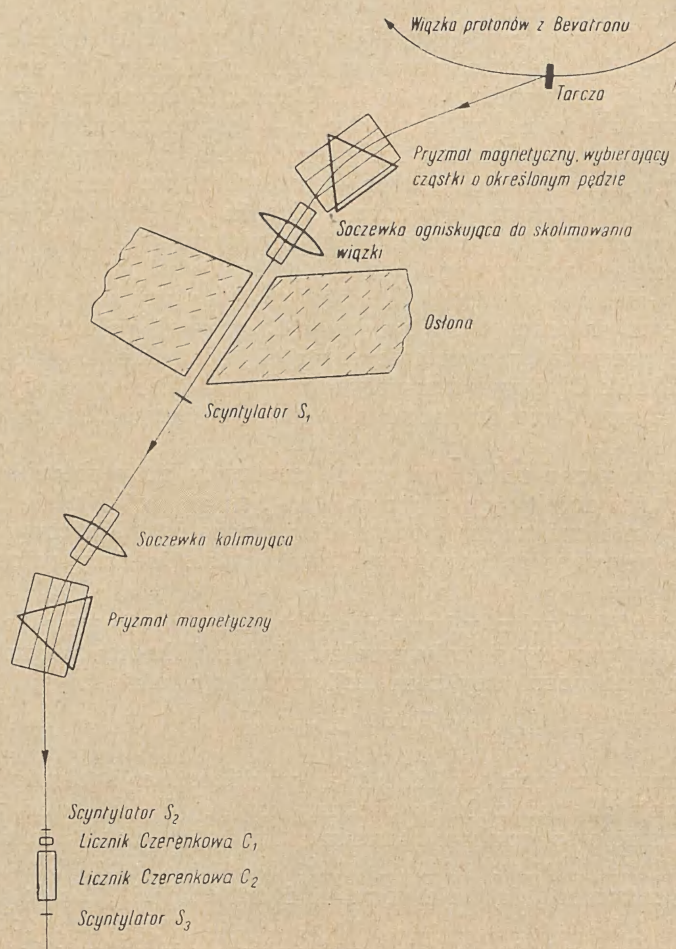
Jeżeli więc przez układ przeszedł naprawdę antyproton, to najpierw obecność jego wykryją scyntylatory S_1 , S_2 , potem pojawić się musi sygnał w C_1 , a C_2 nie zaprzeczy poprzednich sygnałów. Końcowy licznik S_3 oblicza przebiegające antyprotony i gwarantuje, że antyprotony przeszły przez całą drogę.

Pod koniec 1955 roku opisana powyżej aparatura zaczęła funkcjonować i pierwsze antyprotony zostały zarejestrowane. Wkrótce potem wytworzono również i antyneutrony z reakcji wymiany ładunkowej



oraz otrzymano zdjęcia anihilacji antynukleonów, zarówno w emulsji fotograficznej jak też z kory pęcherzykowej. W ub. roku ukazały się także informacje o zaobserwowaniu antyhyperonów. Śmiałe hipotezy Diraca otrzymały pełne potwierdzenie doświadczalne. Okazało się, że równoległe z materią istnieje również i antymateria, każda cząstka posiada swoją antycząstkę. Rzecz prosta, można wyobrazić sobie również całe antyatomy, w których rolę nukleonów grają antynukleony, a elektrony zastąpiono pozytronami. Antyatomy mogą wreszcie być składnikami antymaterii, podobnie jak zwykle atomy tworzą zwykłą materię. Własności tej antymaterii byłyby zupełnie podobne do materii zwykłej i byłaby ona trwała w tym samym sensie co zwykła materia, ponieważ czasy życia cząstek i antycząstek są te same. Jedynie w spotkaniu z materią antymateria zostaje anihilowana.

Fakt istnienia antymaterii jest wdzięcznym polem dla daleko idących spekulacji i fantastyki naukowej. Pierwszym pytaniem, które się tu narzuca jest możliwość istnienia gdzieś we Wszechświecie tworów czy też całych światów zbudowanych wyłącznie z antymaterii. Jeżeli istnieje symetria i cząstkom odpowiadają antycząstki, to dlaczego akurat cząstki miałyby być uprzywilejowane i istnieć w wielkiej obfitości podczas gdy antycząstki pojawiają się tak rzadko i w obecności materii szybko zostają anihilowane? Może gdzieś jest odwrotnie, może istnieją światy, gdzie wszystko jest zbudowane wyłącznie z antymaterii.

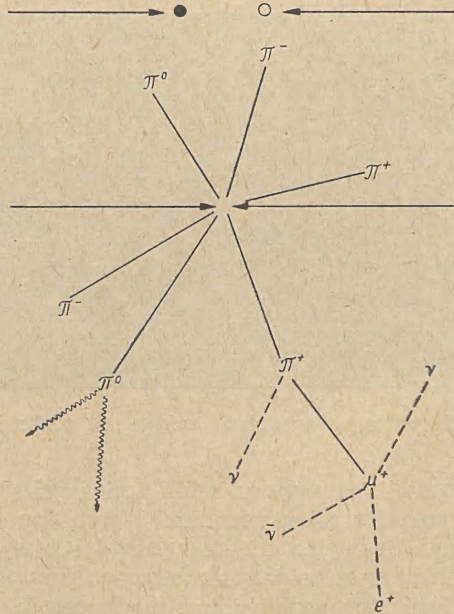


Rys. 2. Schemat urządzenia, w którym zarejestrowano pierwsze antyprotony

Ilość antymaterii w naszej Galaktyce można z grubsza oszacować. Jak wiadomo w procesie anihilacji pary nukleonowej powstaje co najmniej kilka mezonów π lub K , które z kolei rozpadają się dalej na mezony μ ,

te zaś dalej na elektrony, neutrina i kwanty gamma. W rezultacie anihilacji pary nukleonowej cała energia spoczynkowa obu cząstek, poprzez szereg kaskadowych procesów rozpadu, zostaje zużyta na wytworzenie pewnej ilości trwałych już, nie rozpadających się dalej elektronów, neutronów i kwantów gamma. Na elektrony przypada zaledwie 10% tej energii, pozostałe 90% wynoszą neutrina i kwanty gamma.

Przypuśćmy teraz, że pył międzygwiazdny naszej Galaktyki zawiera pewną domieszkę antymaterii, która w wyniku zderzeń z materią daje wyżej opisany proces anihilacyjny. Pole magnetyczne wewnątrz Galaktyki nie pozwoliłoby na ucieczkę jedynie elektronów, a zatem tylko 10% energii anihilacyjnej pozostałoby w Galaktyce. Reszta energii unoszona jest poza Galaktykę, przez kwanty gamma i neutrina. Elektrony pozostające w Galaktyce poruszać się będą ruchem chaotycznym i oddawać będą swoją energię podczas zderzeń z atomami pyłu międzygwiazdnego, powodując z kolei wzrost energii kinetycznej tego pyłu. Pył międzygwiazdny znajduje się w równowadze termodynamicznej i wzrost energii



Rys. 3. Jeden z możliwych procesów anihilacyjnych z wytworzeniem sześciu mezonów

kinetycznej atomów tego pyłu prowadzi do wzrostu temperatury, do naruszenia równowagi termodynamicznej gazu międzygwiazdnego. Okazuje się, że koncentracja antymaterii większa niż 10^{-7} mogłaby spowodować obserwowalne naruszenie równowagi termodynamicznej gazu międzygwiazdnego. Wydaje się rzeczą niezwykle mało prawdopodobną, by z tak małej koncentracji antymaterii w pyłe międzygwiazdny mogły powstać jakiegokolwiek większe jej skupiska. Tak też istnienie gwiazd z antymaterii jest przynajmniej w naszej Galaktyce prawie niemożliwe.

Obserwacje astronomiczne ciał niebieskich, poza naszą Galaktyką, są o wiele bardziej utrudnione i dlatego też trudno tu jest cokolwiek powiedzieć. Podaje się nawet pewne przykłady mogące stanowić sugestię, że obiekty z antymaterii istnieją. Jednym z nich jest dobrze znane przez astronomów zagadkowe ciało niebieskie noszące nazwę *Cygnus A*, które według wszelkiego prawdopodobieństwa jest układem dwu zderzających się Galaktyk. *Cygnus A* jest źródłem silnej radioemisji, która mimo znacznego oddalenia tego obiektu (270 milionów lat świetlnych) jest świetnie odbierana na Ziemi. Radioemisja ta pochodzi od hamowania dużej ilości elektronów w polu magnetycznym obu Galaktyk. Można przypuszczać, że elektrony te stanowią pozostałość procesów anihilacyjnych zachodzących w *Cygnus A*. Nie wiadomo, rzecz jasna, czy któraś z Galaktyk jest tworem z antymaterii, lecz próbowano zrobić oszacowanie domieszki antymaterii w *Cygnus A* pod założeniem, że wszystkie elektrony są istotnie pochodzenia anihilacyjnego. Przyjmując koncentrację antymaterii taką jak w naszej Galaktyce tzn. nie większą niż 10^{-7} , można obliczyć jaka energia



Rys. 4. *Cygnus A*, będący prawdopodobnie układem zderzających się Galaktyk

przypada elektronom pochodzącym z anihilacji i jaką spowoduje to radioemisję. Anihilacja tej ilości antymaterii dawałaby radioemisję rzędu 10^{41} erg/sek, co zgadza się co do rzędu wielkości z wynikami pomiarów radioastronomów. Nie stanowi to jednak żadnego dowodu i zgodność rzędów wielkości może być najzupełniej przypadkowa, a mechanizm radioemisji *Cygnus A* może być całkiem inny. Istnienie całych obiektów całkowicie złożonych z antymaterii nie jest oczywiście niemożliwe.

Od czasu do czasu pojawiają się teorie kosmogoniczne, w których materia i antymateria występują na równych prawach. W jednej z nich wysuniętej przez amerykańskiego fizyka Goldhabera cały Wszechświat powstał z pewnej pierwotnej „cząstki“ czy też może raczej pierwotnego tworu zwanego „uniwersonem“, który z bliżej nieznanых przyczyn rozpadł się na parę „cząstek“ nazwanych „kosmon“ i „antykosmon“, odpychających się z wielką siłą. Z „kosmonu“ powstał nasz Wszechświat, zaś „antykosmon“ znajduje się, przynajmniej jak dotąd, poza zasięgiem naszej obserwacji.

Hipotezy tego rodzaju, jak też hipotezy o istnieniu Antygalaktyk, prowadzą do dużych komplikacji teoretycznych. O ile Antygalaktyki istnieją, to ze względu na to, że kreacja cząstka — antycząstka odbywa się parami ilość Antygalaktyk i Galaktyk musi być ta sama. W samym akcie ich narodzin istnieć musiał jakiś powód, dzięki któremu nie nastąpiła ich wzajemna anihilacja. Jedynym takim powodem mogło być silne odpychanie się materii i antymaterii pochodzenia grawitacyjnego. Podobnie jak grawitacja powoduje przyciąganie się dwu ciał złożonych z materii, tak istnieje jeszcze i antygravitacja powodująca odpychanie się wzajemne tworów z materii i antymaterii. Takie założenie, chociaż może tłumaczyć dlaczego nie następuje anihilacja dużych obiektów z antymaterii, jest sprzeczne z einsteinowską teorią grawitacji, a co najmniej wymaga gruntownej przeróbki tej teorii, tak mocno wbudowanej w całość fizyki i potwierdzonej przez doświadczenia. Niektórzy fizycy wierzą jednak w istnienie antygravitacji i proponują doświadczenia, w których można by się przekonać o jej istnieniu. Z grubsza biorąc chodziłoby tu o przekonanie się, czy istnieje jakaś siła odpychająca pomiędzy antycząstką i zwykłą materią. Doświadczenia takie, choć niewątpliwie są bardzo trudne, będą w przyszłości wykonane. Ewentualne wykrycie antygravitacji byłoby największym odkryciem naszych czasów zmieniającym gruntownie podstawy fizyki.

Marian Książkiewicz

GEOLOGIA MORZA NA I MIĘDZYNARODOWYM KONGRESIE OCEANOGRAFICZNYM

Pierwszy międzynarodowy Zjazd Oceanografów został zorganizowany przez Amerykańskie Zrzeszenie do Popierania Wiedzy (*American Association for the Advancement of Science*) przy współpracy Międzynarodowego Komitetu UNESCO do spraw nauki o morzu i finansowej pomocy wielu amerykańskich organizacji przemysłowych, rządowych i fundacji. Obrady Kongresu, który zgromadził ponad 1200 uczestników, odbywały się od 30 sierpnia do 11 września ub.r. w aulach gmachu Zgromadzenia Ogólnego Narodów Zjednoczonych. Kongres stanowił wyjątkową okazję zetknięcia się ludzi z różnych dziedzin nauki zajmujących się zagadnieniami oceanograficznymi, a więc fizyków, chemików, biologów, geologów i geografów. Obrady Kongresu odbywały się w ten sposób, że rano w głównej auli na zebraniach plenarnych wygłaszano 3—4 odczyty o charakterze ogólnym, odczyty odbywały się bez dyskusji, natomiast po południu dzielono się na 4 grupy, które odbywały zebrania dyskusyjne, nazwane na Kongresie seminariami.

Tematyka Kongresu została podzielona na 5 wielkich działów, według haseł następujących:

1. *Historia oceanów.* 2. *Głębokie morza.* 3. *Populacje morza.* 4. *Brzegi morza.* 5. *Cykle substancji organicznych i nieorganicznych w morzu.*

Każdy z tych wielkich działów był podzielony na kilka sekcji; każda sekcja miała swojego *convenor*, którego zadaniem było zorganizowanie udziału specjalistów w sekcji, dobór tematyki i poprowadzenie dyskusji.

Walny udział w tematyce Kongresu przypadł *geologii*; w każdym dziale tematyka geologiczna była reprezentowana, szczególnie w dziale pierwszym, drugim i czwartym; dotyczyła ona *konfiguracji dna morza i jej genezy, budowy podłoża oceanów, osadów, ich składu i wieku, stosunku obecnych populacji oceanów do dawnych, wieku fauny głębinowej, zmian składu wody morskiej w ciągu okresów geologicznych, czynników transportu osadów w morzu* itd. Oprócz tematyki ściśle geologicznej, niemal każdy temat poruszany w czasie obrad Kongresu dotyczył w dużej mierze wielu zagadnień geologicznych; geologia bowiem zajmuje się osadami i organizmami dawnych mórz i oceanów i różnorakie czynniki fizyczne i chemiczne, wpływające na współczesne osady i dawniejszy świat organiczny, muszą być uwzględniane w rozważaniach dotyczących dawnych osadów i dawnych organizmów morskich.

Zebranie plenarne otworzył „geologiczny” odczyt profesora uniwersytetu Columbia (Nowy York) i kierownika specjalnej pracowni geologii morza (Lamont Geological Observatory) W. M. Ewinga o *kształcie i strukturze oceanicznych basenów*; z odczytów geologicznych lub bardzo blisko związanych z tematyką geologiczną należy wymienić odczyty

E. L. Hamiltona (USA) o *stratygrafii osadów głębokomorskich*, G. O. S. Arrheniusa (USA) o *ewolucji Ziemi odzwierciedlonej przez oceaniczne osady*, P. E. Clouda (USA) o *paleobiogeografii środowiska morskiego*, M. N. Bramletta (USA) o *rozmieszczeniu osadów pelagicznych*, E. Picciotto (Belgia) o *procesach nuklearnych w sedymentacji morskiej*, Ph. H. Kuenena (Holandia) o *zagadnieniach sedymentacji epikontynentalnej*, S. W. Brujewicza (ZSRR) o *zależności między wodą morską a osadem*. Bardzo silnie dotyczyły tematyki geologicznej odczyty L. A. Zenkewicza (ZSRR) o *świecie organicznym głębokich wód*, E. C. Bullarda (Wielka Brytania) o *siłach i procesach zachodzących w oceanicznych basenach* i wiele innych.

Na seminariach popołudniowych ilość przedstawionych referatów dotyczących zagadnień geologii zawsze była ogromna i przypuszczalnie 170 referatów czyli ok. 30% było z dziedziny zjawisk geologicznych. Szczególnie w dziale pierwszym (*Historia oceanów*) było dużo geologii jak to wynika z tytułów czterech sekcji, na jakie był ten dział podzielony: *kształt i struktura oceanicznych basenów* (organizator sekcji H. H. Hess z Princeton University), *historia wody morskiej* (organizator W. W. Rubey ze Służby Geologicznej USA) *powstanie życia na Ziemi*, *stratygrafia osadów morskich*. W dziale drugim *Głębokie morze* jedna sekcja dotyczyła *osadów głębokomorskich*, w dziale *Populacje morza* jedna sekcja była poświęcona *paleobiogeografii* (organizator P. E. Cloud ze Służby Geologicznej USA), w dziale *Brzegi mórz* istniała sekcja dotycząca *epikontynentalnej i litoralnej sedymentacji* (organizator R. S. Dietz, USA, z Electronic Laboratory amerykańskiej marynarki wojennej), wreszcie w dziale *Cykle substancji organicznych w morzu* pracowała sekcja zatytułowana *wymiana między wodą morską a osadem*.

Odczyty i referaty oraz wypowiedzi w dyskusji były od razu tłumaczone na dwa z trzech języków: angielski, francuski, i rosyjski. Te trzy języki były uznane jako oficjalne języki kongresowe.

Na Kongresie przedstawiono ogromny nowy materiał obserwacyjny dotyczący konfiguracji dna oceanicznego. Na szczególną uwagę zasługują nowsze pomiary głębokości w wielkich rowach oceanicznych, na obszarze Oceanu Arktycznego i w obszarach oceanicznych przylegających do Antarktydy. Pomiary wykonane przez radziecki statek badawczy Vitiaz wskazują, że Rów Aleucki jest dwa razy dłuższy niż dotąd myślano i że osiąga największą głębokość 10 542 m, natomiast Rów Japoński jest węższy, a oś jego biegnie bardziej na zachód. Największą głębokość znaleziono w Rowie Marianów (11 034 m). Kilka nowych rowów, osiągających głębokość 5000 do 6000 m znaleziono w sąsiedztwie Wysp Admiralicji, Nowej Gwinei i Fidżi. W większości rowów stwierdzono, że dna ich najgłębszych części są płaskie i niemal poziome.

Amerykański nuklearny statek podwodny *Nautilus*, który niedawno przepłynął pod lodami Oceanu Arktycznego stwierdził na przekroju od Point Barrow (Alaska) poprzez Biegun Północny do północnego Atlantyku istnienie rozległych abyssalnych równin, osiągających przeszło 5000 m głębokości, ponad którymi wznosi się kilka podwodnych garbów lub masywów. Rozległy basen abyssalny, znajdujący się w obszarze bieguna ma zarysy podobne do basenów oceanicznych Oceanu Atlantyckie-

go. Zdaniem badaczy radzieckich (N. A. Bielowa i N. N. Lapina) basen Arktyku ma istnieć od czasów mezozoicznych. Jest on podzielony podwodnymi grzbietami (grzbiet Lomonosowa, grzbiet Radzieckich Badaczy itd.) na poszczególne kotliny, osiągające głębokość 5449; oprócz grzbietów stwierdzono istnienie izolowanych, podwodnych gór, nad którymi morze spłyca się do zaledwie 950 m.

Niezwykle interesujące wyniki osiągnięto (M. Ewing i in.) przy mierzeniu głębokości na śródoceanicznych wałach podwodnych, z których Śródatlantycki Wał jest najtypowszym przedstawicielem. Stwierdzono w jego obrębie, że środkiem wału biegnie podłużna, głęboka i stosunkowo dość szeroka dolina. Ponad tą doliną stwierdzono znaczne dodatnie anomalie magnetyczne, co przypuszczalnie wskazuje na obecność zasadowych skał w bliskim podłożu doliny. Podobne zjawisko stwierdzono na innych wałach oceanicznych na Oceanie Indyjskim i Spokojnym. Doliny rozcinające podłużnie wały śródoceaniczne porównuje się z dolinami „ryftowymi“ (zapadliskowymi) Afryki, ale pochodzenie ich może być inne. Zdaniem B. C. Heezena mają to być zapadliska pochodzące z rozrywania skorupy związanego z ekspansją skorupy ziemskiej. H. H. Hess natomiast pragnie związać powstanie tych zapadlisk z teorią prądów konwekcyjnych. Według niego istnieją dwa typy śródoceanicznych wałów podwodnych: jedne są silnie pograżone (do głębokości 1000 do 2000 m), dźwigające na sobie „guyots“ (podwodne ścięte góry, przypuszczalnie stare wulkany) i inne góry podwodne, uwieńczone atolami; występują one w obrębie Pacyfiku; drugi typ to wały podwodne, które objawów pograżania nie okazują; wały drugiego typu cechuje wzmoczony przepływ ciepła. Zdaniem Hessa grzbiety są wytworami prądów konwekcyjnych podłoża, skierowanych ku górze; wtedy głębokie masy perydotytowe zostają wydźwignięte i w płytkiej strefie ulegają serpentynizacji. Przemiana perydotytu w serpentynę produkuje dodatkową ilość ciepła (100 cal/g). Rozchodzenie się prądu konwekcyjnego na boki powoduje powstanie zapadliska osiowej części wału, a odpływ ciepła wywołuje deserpentynizację; w następstwie tych zjawisk, wał pograża się głęboko.

Od szeregu lat Amerykanie prowadzą szczegółowe sondowanie dna północno-wschodniego Pacyfiku, gdzie odkryto cztery wielkie pasy niezwykle nieregularnej topografii dna między południkiem Hawajów a kontynentem amerykańskim. Strefy te ciągną się na przestrzeni kilku tysięcy kilometrów, a są zaledwie około 100 km szerokie. Pasy te biegnące niemal równoleżnikowo uważane są za wielkie strefy pęknięć (H. W. Menard, USA) wywołane prądem konwekcyjnym, wznoszącym się pod Hawajami i przemieszczającym się w kierunku kontynentu. Prąd ten powoduje naprężenia w skorupie, objawiające się pęknięciami. Między strefami pęknięć leżą strefy o spokojniejszej topografii, ale i w nich zaznaczają się „lineacje“ dzięki uszeregowaniu grzbietów i wulkanów podwodnych. Te drugorzędne lineacje w przeciwieństwie do głównych stref spekań, mających przebieg równoleżnikowy, mają kierunek NW-SE i NE-SW. Wiek wielkich stref pęknięć jest przypuszczalnie nie starszy od starszego trzeciorzędu.

Do niedawna sądzono, że pasy izolowanych podwodnych gór (sea-

monts) są właściwością dna Oceanu Spokojnego. Odkryto je wszakże też ostatnio w innych oceanach. Między Bermudami a wybrzeżami Nowej Anglii znaleziono pas o długości 1600 km, w którym znajduje się 21 podwodnych gór o względnej wysokości od około 800 do 5 000 m (ponad dno oceanu). Na niektórych stwierdzono eoceńskie osady. Są to przypuszczalnie przedkredowe wygasłe wulkany podmorskie.

Wiele nowych danych o topografii dna Oceanu Indyjskiego w obszarze przylegającym do Antarktydy zdobył radziecki statek badawczy *Ob* w latach 1955—1958. W obszarze abysmalnym tej części oceanu stwierdzono skomplikowaną topografię, urozmaiconą obszarami wyniesionymi przypuszczalnie blokowo, wielkimi, izolowanymi stożkami wulkanicznymi lub rozległymi polami lawowymi. Rzeźba ta jest przypuszczalnie (A. V. Żiwago, ZSRR) wieku czwartorzędego, jak również wulkanizm tego obszaru jest bardzo młody. Natomiast w obszarze szelfowym stwierdzono, że stosunkowo głęboko leżąca (500 m) platforma szelfowa jest miejscami rozcięta głębokimi zagłębieniami, osiagającymi 1000 m głębokości. Największą taką rozpadlinę stwierdzono w obszarze od Morza Davisa do Kraju Królowej Wiktorii; badacze radzieccy uważają to wielkie pęknięcie za czwartorzęde. Silnie zaburzoną topografię platformy szelfowej stwierdził już poprzednio H. Holtedahl (Norwegia) na zewnątrz wybrzeży Norwegii, Grenlandii, Labradoru, N. Fundlandii, na południe od Alaski, w pobliżu wschodniej Antarktydy itd., stwierdzając wąskie depresje i strome stopnie. Badacz norweski przypuszcza, że są to strefy rowów tektonicznych lub uskoków, związane z dźwiganie się lądu w trzeciorzędzie.

Stary pogląd, że rzeźba dna oceanów jest odbiciem tektoniki, jest w powyższych poglądach przyjęty, jednakowoż według zdania, wypowiedzianego w referacie G. B. Udincewa (ZSRR), sprawa wymaga dużej ostrożności. Dotąd sądzono, że topografia głębokiego dna morza jest w małym stopniu zmodyfikowana sedymentacją, gdy sedymentacja na dnach głębokich jest powolna, więc duże formy rzeźby nie są zamaskowane. Przypuszczalnie wiele zakłębłości dna zostało wypełnionych osadami, które zdaniem radzieckiego badacza są znoszone periodycznie zdarzającymi się prądami zawiesinowymi i stałymi prądami, niosącymi materiał w suspensji. Zdaniem A. S. Laughtona (Wielka Brytania) i H. W. Menarda (USA) wielkie, płaskie równie abysalne zawdzięczają swą równą topografię wypełnieniu i wyrównaniu depresji materiałem przyniesionym przede wszystkim prądami zawiesinowymi. Laughton wyraził przypuszczenie, oparte na przykładzie dwóch głębokich równin, biskajskiej i iberyjskiej, z których jedna jest wyniesiona nad drugą o kilkaset metrów, ale obie są połączone kanałem, że materiał osadzony na jednej równinie może być powtórnie przenoszony kanałem do niższego zagłębienia za pośrednictwem prądów zawiesinowych.

Podobnie jak na Kongresie przedstawiono ogromny, nowy materiał, dotyczący konfiguracji dna, wiele też podano nowych danych rzucających światło na strukturę podoceanicznej skorupy. Już od dawna wiadomo z analiz trzęsień ziemi i szczegółowych badań sejsmicznych, opartych na sztucznych eksplozjach, że dno oceaniczne ma inną strukturę swego podłoża niż kontynenty, a ponadto, że dna poszczegól-

nych oceanów, a nawet ich części, muszą mieć różne ułożenie mas skalnych nad sobą. W zachodnim Pacyfiku stwierdzono, że głębokość, tzw. powierzchni nieciągłości Mohorovičića, będąca podstawą lżejszych mas skalnych, spoczywających na cięższych masach, leży na głębokości 15 do 18 km. Dane te otrzymano (D. S. Carder, USA) z pomiarów przebiegu wstrząsów sejsmicznych, wywołanych eksplozjami nuklearnymi na atolach Bikini i Eniwetok. Na ogół na Pacyfiku obserwuje się, że fale sejsmiczne od jednego atolu do drugiego biegną o 4 sekundy prędzej niż na odpowiedniej odległości w zachodnich Stanach Zjednoczonych. Lokalnie musi mieć jednak dno Oceanu Spokojnego pod sobą układ mas zbliżony do kontynentalnego, gdyż np. przebieg fal z Eniwetok do Guam i Rabual jest o 2 sekundy wolniejszy w porównaniu z przeciętną dla całego oceanu. Wykonano także sejsmiczne profile refrakcyjne największych grzbietów podwodnych Pacyfiku (G. G. Shor i R. W. Raitt USA). Stwierdzili oni, że wschodnio-pacyficzny grzbiet podwodny ma normalną skorupę typu oceanicznego o prędkości fal sejsmicznych 6,75 km/sek, pod nią znajduje się materiał o niższej prędkości fal sejsmicznych niż powinien być, gdyby pod skorupą leżał bezpośrednio materiał odpowiadający płaszczowi. Grzbiet podwodny Tonga zbudowany jest z grubej powłoki osadów i skał wulkanicznych, pod którym znajduje się strefa o dużej prędkości fal (7,5 km/sek), jednak prędkość ta jest jeszcze za niska, aby tę strefę uznać za przynależną już do płaszcza. Grzbiet podwodny, na którym leżą Hawaje ma jądro zbudowane z normalnej, oceanicznej skorupy, która jest tu zgrubiała, a powierzchnia Mohorovičića obniżona. Grzbiet Aleucki ma grubą powłokę wulkaniczną, podścieloną przez oceaniczną skorupę, a powierzchnia M jest pod nią prawdopodobnie też obniżona. Według badań N. N. S i s o j e w a i jego towarzyszy (ZSRR), grubość skorupy w obszarze Morza Japońskiego jest podobna jak pod Pacyfikiem, natomiast Morze Czarne jest położone w obrębie większej grubości skorupy, chociaż nieco mniejszej niż w bezpośrednio przyległych obszarach. W obszarze łuku wyspowego South Sandwich stwierdzono (J. i M. Ewing, USA), że podobnie, jak w obszarze wyspowego łuku Indii Zachodnich i Rowie Portorico, warstwa skalna o dużej prędkości fal sejsmicznych jest podniesiona pod łukiem a obniżona, być może uskokowo, pod rowem oceanicznym. Zagadnienie budowy podłoża głębokich rowów wiąże się z problemem przepływu ciepła poprzez dno oceaniczne. Niedawno stwierdzono dość nieoczekiwanie, że przepływ ten pod dnami oceanów jest podobny jak pod kontynentami; natomiast w wielkich rowach oceanicznych, na zewnątrz środkowej i południowej Ameryki przepływ ciepła jest dwukrotnie mniejszy niż przeciętny przepływ pod dnem Oceanu Spokojnego, który wynosi 1×10^{-6} cal/cm²/sec. Ta różnica może być wyjaśniona, zdaniem wielu autorów, jak A. E. Maxwell i in. (USA), J. N. Nauda (Indie) istnieniem prądów konwekcyjnych, podnoszących się w centralnych częściach Pacyfiku, a pogrążających się na zewnątrz zachodnich wybrzeży Ameryki.

Zdaniem H. W. Menarda (USA), jak to wyżej zaznaczono, prądy te wytworzyły sieć dyslokacji, zaznaczających się w dnie Pacyfiku. Czy i w jaki sposób prądy te powodują lub wpływają na współcześnie obserwowane przemieszczenia mas, nie jest wiadome. Od dłuższego czasu, na

podstawie obserwacji przesunięć wzdłuż uskoków, powstających lub odnawiających się przy trzęsieniach ziemi w obszarze pacyficznym, uważa się, że tarcza podścielająca dno oceanu wykonuje obrót w kierunku przeciwnym ruchowi wskazówek zegara. Jednakowoż według B. Ching-Chang'a (Taiwan) dno Pacyfiku w pobliżu kontynentu azjatyckiego ma tendencję do przesuwania się ku północy, a kontynent azjatycki ku południowi. W związku z tym należy wspomnieć, że na Kongresie podano opis jednego z najsilniejszych trzęsień ziemi, jakie zdarzyły się w czasach historycznych, a które jest typowe dla obszaru perypacyficznego. Dnia 10 lipca 1958 trzęsienie ziemi o niezwyklej mocy nawiedziło południową Alaskę; w obszarze zatoki Lituya Bay zaznaczyły się wzdłuż uskoku, biegnącego na przestrzeni prawie 250 km ruchy zarówno poziome, wywołujące przesunięcia o wielkości 7 m, jak też pionowe.

Od dawna geolodzy zastanawiają się nad budową podłoża Morza Czerwonego. Jak wiadomo, morze to wypełnia rów tektoniczny, będący, jak wszelkie dane wskazują, przedłużeniem wielkich rowów Wschodniej Afryki. Jednak inaczej, jak w obszarze rowów afrykańskich, obszar Morza Czerwonego wykazuje duże dodatnie anomalie siły ciężkości, a także znaczne pozytywne anomalie magnetyczne. Pewne światło na to zagadnienie rzucają badania sejsmiczne wykonane przez grupę amerykańskich badaczy z Lamont Geological Observatory (Columbia University, N. York). Według nich (Ch. L. Drake i tow.) sejsmiczna refrakcja wskazuje, że osady w Morzu Czerwonym mierzą od 2 do 6 km, niżej leży skorupa typu kontynentalnego (przewodząca fale sejsmiczne z prędkością 5,9 km/sec), jednak w centrum morza, tuż pod osadami znajduje się strefa o prędkości 7,1 km/sec. Te wszystkie zjawiska mogą być wyjaśnione obecnością intruzji znacznych zasadowych mas skalnych, które wdarły się w obszar rowu, w jakiś sposób wyzyskując dyslokacje.

W ostatnich latach zgromadzono ogromny materiał obserwacyjny, dotyczący budowy głębszego podłoża dna oceanów. Materiał ten niemal wyłącznie oparty jest na pomiarach prędkości fal sejsmicznych naturalnych i wzbudzanych sztucznie i na zjawiskach załamywania się lub odbicia fal. Pośrednich wskazówek dostarczają pomiary grawimetryczne, magnetyczne, a także dane z zakresu wulkanologii. Dotąd jednak, wszystko co wiemy o głębszym podłożu oceanu, oparte jest na wnioskowaniu, a nauka nie miała do dyspozycji próbek skalnych z podłoża osadowej powłoki. Wiele zagadnień może rozstrzygnąć tylko wiercenie, które może stwierdzić faktyczną grubość osadów, grubość podłoża bezpośredniego i jego charakter i wreszcie jaki materiał znajduje się pod skorupą ziemską. Wiadomo, że pod kontynentami jest ona znacznie grubsza, a przeważnie pod oceanami cieńsza. W Stanach Zjednoczonych rozważa się obecnie projekt wykonania takiego wiercenia podmorskiego, które by mogło rozwiązać wiele zagadnień. Projekt ten otrzymał nazwę MOHOLE, tj. skrót Mo-hole (Mo — oznacza tu nieciągłość Mohorovičića, hole — otwór wiertniczy) i uważany jest z naukowego punktu widzenia za równie ważny jak badania przestrzeni kosmicznej. Ponieważ warstwa skalna o dużej prędkości jest podniesiona pod łukami wyspowymi, proponuje się wykonanie wiercenia w obszarze któregoś z łuków wyspowych, spodziewając się w takim obszarze że powierzchnia M może być osiągnięta

i przebita w stosunkowo niewielkiej głębokości. W obecnie rozważanym projekcie wiercenia w obszarze Morza Karaibskiego, (w pobliżu Portorico) przewiduje się, że po przejściu warstwy wody o głębokości około 4 km, otwór wejdzie w stosunkowo cienkie osady (kilkaset metrów), a następnie w skorupę ziemską, nie grubszą niż 4—5 km; na głębokości zatem 9 do 10 km wiercenie powinno wejść w masy leżące poniżej powierzchni M i rozstrzygnąć, czy masy te są istotnie złożone z silnie zasadowych skał, czy też są to skały kwaśne, tylko o zmienionych ciśnieniem nadkładu własnościach fizycznych.

Jednym z głównych przedmiotów geologii morza jest zagadnienie osadów morskich, którymi nauka zajmuje się żywo od czasów ekspedycji statku Challenger. Od czasów tej wyprawy sposoby pobierania prób z dna nawet bardzo głębokiego morza udoskonaliły się znacznie i obecnie pobierane są rdzenie kilku a nawet kilkunastometrowej grubości, a więc nie tylko osady współcześnie się tworzące, ale też osady jeszcze nie stwardniałe, które utworzyły się przed wieloma milionami lat, są wydobywane z dna morza. Badania tych osadów pozwalają określić ich wiek i następstwo (stratygrafię), a także w wielu przypadkach określić w jakich warunkach klimatycznych powstały.

Próby pobrane z dna Oceanu Spokojnego wskazują (W. R. Riedel, M. N. Bramlette, USA), że współcześnie przyrost osadów jest szybszy niż w poprzedniej części okresu czwartorzędowego, przypuszczalnie dlatego, że współcześnie wody denne są cieplejsze i łatwiej przychodzi do strącania się węglanu wapnia, względnie jego zachowania. Rzecz szczególna i dotąd nie wyjaśniona, to stwierdzenie wielu niezgodności w osadach Pacyfiku: w wielu miejscach osady czwartorzędowe leżą wprost na starszych, np. na eocenie, a osadów młodotrzeciorzędowych brak, w innych osady oligoceńskie i miocene są obecne, a brak jest eocenu. Osady z okresu kredowego i z paleocenu stwierdzono dotąd tylko na szczytach podwodnych gór morskich (seamounts), najstarsze osady, znalezione na dnach abyssalnych basenów Pacyfiku są wieku eoceńskiego. Stwierdzono również, że pelagiczne osady trzeciorzędowe osadzały się w Pacyfiku wolniej niż w czwartorzędzie.

Niezmernie pomnożyły się nasze wiadomości o osadach w głębokich rowach oceanicznych. Tu ekspedycja Vitiāza przyniosła obfity materiał, wydobywając z głębi rowów zachodniego Pacyfiku aż 60 próbek rdzeniowych, opracowanych przez P. L. Bezrukowa i B. P. Petelina (ZSRR, Instytut Oceanologii AN). W rowach północnego Pacyfiku (Aleuckim, Kurylskim, Idzu-Bonin) stwierdzili oni, że osady piaszczyste dochodzą do głębokości 3000, a nawet 3500 m, a muł do głębokości 5500 m. Oprócz tych utworów terrygenicznego pochodzenia głównym osadem rowów północnych są muły okrzemkowe. W innych rowach stoki pokryte są wapiennym mułem otwornicowym lub koralowym. W wielu miejscach na stokach stwierdzono brak sedimentacji, gdyż próby pobrane składały się ze stwardniałego argilitu; na stokach niektórych rowów (Bougainville, Marianów) stwierdzono oliwinowe bazalty. We wszystkich rowach od głębokości 4000 m stwierdzono bezwapienne iły lub muły. Z dna rowu Marianów wydobyto rdzeń o długości 5 m, złożony z mułu okrzemkowego, zawierającego ciepłolubne gatunki okrzemek. Zdaniem radzieckich bada-

czy muły te zostały osadzone prądami zawieszinowymi, które osadziły też ich zdaniem piaski i muły, wykazujące we wszystkich rowach warstwowanie frakcjonalne. Charakter osadów abyssalnych głębokich rowów wskazuje na warunki dobrego przewietrzania ($Eh = 300$ do -400 mv), co wskazuje na ruchliwość wód nawet najgłębszych.

Badacze radzieccy przedstawili też wyniki swych badań nad osadami głębokomorskimi w pobliżu Antarktydy. Warunki sedimentacji w tej strefie są szczególne, gdyż żaden materiał nie jest przynoszony przez rzeki, przylegający ląd, pokryty lądolodem nie posiada wietrzenia chemicznego, góry lodowe przynoszą dużo materiału glacialnego, a chłodne i nieco mniej słone wody sprzyjają niezmiernie silnemu rozwojowi fitoplanktonu. Niektóre próby pobrane miały rdzenie o długości 16 m, co pozwoliło ustalić następstwo osadów. W osadach zaznaczają się zmiany klimatyczne, odczytane przy pomocy otwornic, wskazujące okresy na przemian cieplejszej i chłodnej w ciągu czwartorzędu, ale nawet w osadach najcieplejszych okresów nie natrafiono na jakieś wskazówki istnienia erozji rzecznej lub wietrzenia chemicznego na przyległym lądzie, co zdaje się potwierdzać pogląd, że nawet w ciągu najcieplejszych okresów czwartorzędu Antarktyda była pokryta lądolodem. Wykonano również w południowej części Oceanu Indyjskiego, przylegającego do Antarktydy, pomiar przyrostów osadu w oparciu o zawartość jonium i radu w osadach (L. E. Starik, A. P. Lisycyn). Na dnie szelfowym Morza Davisa stwierdzono przyrost wynoszący od 2 do 32 cm/1000 lat, dla mułów okrzemkowych i otwornicowych tylko 0,4 do 0,8 cm/1000 lat, ale dla tych samych osadów w strefie konwergencji znaleziono 2 do 3 cm/1000 lat. Czerwony il głębinowy osadza się z przyrostem zaledwie 0,2 cm/1000 lat. Przyrost sedimentu zmienia się w czasie, najszybszy był około 200 000 lat temu.

Zarówno sondowania dna, jak też fotografie podmorskie przyniosły wiadomości o wielkim rozprzestrzenieniu konkrecji manganowych na abyssalnym dnie morskim. Szczególnie we wschodnim i środkowym Pacyfiku stwierdzono (przede wszystkim ekspedycja Vitiacza), że wielkie polacie dna Oceanu Spokojnego w jego wschodniej i środkowej części są zasłane konkrecjami. Na północ i południe od tego rejonu, mimo że dno oceanu wyściela ten sam osad w którym z reguły występują konkrecje i głębokość oceanu ta sama, konkrecji nie stwierdzono. Według N. L. Zenkewicza (ZSRR) występują one tam, gdzie przyrost osadu jest wolniejszy od wzrostu konkrecji, a C. J. Shippek (Electronic Laboratory amerykańskiej marynarki wojennej) uważa, że wzbogacenie dna w konkrecje następuje dzięki ruchom wody morskiej, usuwającej sediment, a nie pokryte osadem konkrecje wskazują, że w tych obszarach sedimentacja się w ogóle nie odbywa. Ilość konkrecji jest w wielu obszarach tak duża, że nawet myśli się o eksploatacji manganu z dna morskiego. Konkrecje manganowe występują z reguły na abyssalnym dnie, ale Hiroshi Nino (Japonia) podał wiadomość o występowaniu ich także w płytkich wodach, na południe od Tokio, w strefie wysp wulkanicznych.

Ważnym narzędziem pracy nad osadami morskimi stała się fotografia podmorska. A. S. Laughton (Narodowy Instytut Oceanograficzny, Wielka Brytania), N. L. Zenkewicz (ZSRR), C. J. Shippek (USA) i in. przedstawili wiele interesujących fotografii dna, które były też

wystawione w Lamont Geological Observatory (Nowy York) oraz na radzieckim statku oceanograficznym „Michał Łomonosow”; statek ten wraz z kilkoma innymi (amerykańskie Atlantis, Chain i in., francuski Calypso) podczas Kongresu stał w porcie nowojorskim. Statek Vitiaz wykonał fotografie na głębokości 6150 metrów, natomiast próba wykonania fotografii na głębokości 10 000 m w rowie Kermadec nie powiodła się, chociaż aparat wytrzymał ciśnienie 1000 kg/cm², gdyż aparat zapadł się w grząskim osadzie rowu; przypuszczalnie osad ten był rezultatem niedawnego, podwodnego osuwiska. Fotografie dna wykazują bardzo często istnienie śladów prądów w postaci ripplemarków, zarówno symetrycznych, jak też kierunkowych, a także smug dryftowych osadu lub erozyjnych rynienek. Ripplemarki stwierdzono na dnie o głębokości 3000 m; szczególnie częste są na szczytach podmorskich gór (seamounts). Siła prądów, która wytworzyła te ripplemarki nie jest znana, ale oblicza się, że muł globigerinowy przy średnicy ziarna 0,2 mm i gęstości 1,5G/cm³ może zostać przesypany w formie ripplemarków prądem o prędkości 16 cm/sek. W niektórych miejscach, na „seamounts” stwierdzono prąd o prędkości 5 cm/sek trwający przez wiele tygodni, a oscylacja będąca rezultatem ruchów wody morskiej, wywołanych pływami, jeszcze na głębokości 300 sążni osiągać może czasem prędkość 10 cm/sek.

Fotografie podmorskie dostarczyły też ogromnej ilości obrazów żerowania i śladów poruszania się po dnie organizmów bentonicznych. Ślady te widać w postaci kopczyków, zagłębień, śladów pływania i podpowierzchniowych galerii, widocznych na powierzchni jako wałki. Formy te widoczne są szczególnie dobrze wtedy, kiedy osad ma dużą zawartość ilu. Najczęstsze są ślady organiczne na stokach kontynentów i na szczytowych spłaszczeniach guoyots i innych gór podwodnych, natomiast rzadsze są na abysalnych dnach. Bardzo mało śladów pływania i żerowania znaleziono na dnach zasłanych czerwonym iłem głębinowym. Jednak tylko w bardzo rzadkich wypadkach udało się sfotografować sprawcę śladów. Na wielu obszarach dna Pacyfiku ślady pływania są bardzo liczne, a w żadnym przypadku organizmów nie sfotografowano, dlatego N. L. Zenkewicz przypuszcza, że ślady pochodzą od zwierząt, które zamieszkiwały dno w tym obszarze wiele tysięcy lat temu; fauna ta z jakichś przyczyn wyginęła.

Wiele informacji osiągnięto dzięki obserwacjom w batyskafie, zwłaszcza w batyskafie typu Trieste, który był spuszczany na głębokość 4300 m (według ostatnich wiadomości radiowych batyskaf tego typu w rowie Marianów dotarł do dna niemal na głębokość 11 000 m). J. M. Peres (Francja) na podstawie swych obserwacji batyskafowych (głównie na statku Calypso) podaje trzy typy śladów organicznych na dnie: 1) otwory o średnicy 0,5 do 2 mm, nieraz grupowo występujące, być może wytworzone przez annelidy, małże lub skorupiaki. W Morzu Śródziemnym w jednym przypadku stwierdził, że otwory są robione przez dekapoda *Callocaris macandreae*; 2) wzgórki koniczne osadu występujące w towarzystwie lejkowatych otworów; 3) ślady zagłębione w kształcie rowków, pochodzące od „ładujących” na dnie ryb lub skorupiaków. Według jego obserwacji ślady organiczne najliczniejsze są w Morzu Śródziemnym i na dnie Atlantyku, rzadsze są w Pacyfiku, a to wskutek obecności bogatej fauny dennej, ustawicznie przerabiającej osad.

Jednym z aktualnych problemów sedymentacji oceanicznej, żywo dyskutowanej na Kongresie, jest rola prądów zawiesinowych w sedymentacji. Problem ten urósł ostatnio do wielkiego zagadnienia oceanograficznego, odkąd mnożą się stanowiska na dnie głębokich oceanów, w których występują gruboziarniste osady pochodzenia terrygennego i odkąd uważa się, że prądy zawiesinowe mogą być głównym o ile nie jedynym czynnikiem tworzenia się tego rodzaju utworów. Już wyżej wspomniano, że badacze radzieccy stwierdzili w wielkich rowach osady frakcjonalnie warstwowane, których powstanie przypisują prądom zawiesinowym. Wiele form powierzchni głębokiego dna uważa się za rezultat sedymentacji z prądów zawiesinowych. Do takich należą przede wszystkim abyssalne stożki podmorskie i wielkie równiny abyssalne. Stożki abyssalne występują u podstawy stoku kontynentalnego, poniżej wylotu wielu kanionów podmorskich (Hudson, Missisipi, Kongo, Rodan, Monterey itd.). Są to wachlarzowe wzniesienia ponad abyssalną równinę, na których znajduje się sieć rozwidlających się kanałów, podobnie jak rozwidlają się w nadwodnych deltach ramiona rzeki; kanały obrzeżone są groblami, podobnie jak rzeki niosące dużo materiału (np. Pad). Szereg takich stożków opisali Ch. C. Bates i tow. (USA). J. Bourcart (Francja), na Kongresie nieobecny, podał wiadomość o występowaniu piasków głębokowodnych w podobnej sytuacji, u podstawy stoku kontynentalnego na głębokości 1900 do 2600 m. Według niego piaski te występują na przemian z wapnistymi ilami pelagicznymi; taki typ osadu jego zdaniem odpowiada fliszowi. F. P. Shepard (USA) zademonstrował film wykonany przez pletwonurków, na którym można było widzieć, jak w jednym z kanionów podmorskich u wybrzeży Kalifornii płynie stale piasek w kierunku wylotu kanionu; piasek ten dostarczany jest prądami przybrzeżnymi; jeśli natrafi na „głowę“ (początek) kanionu, piasek jako *sandflow* spływa w dół. Ten sam badacz poddał krytyce obliczenie prędkości prądu zawiesinowego, który w r. 1929 pozrywał podmorskie kable na stokach kontynentu na wschód od Nowej Fundlandii, dokonane przed paru laty przez B. C. Heezena; według Sheparda prędkość ta wynosiła nie 55—85 węzłów, ale zaledwie 15 węzłów. B. C. Heezen (USA) przedstawił mapę rozmieszczenia miejsc, gdzie w nowszych czasach zdarzyły się przypuszczalnie prądy zawiesinowe i obszary dna, na których stwierdzono występowanie piasków; z danych tych wynika, że na ogromnym obszarze dna oceanów składane są osady prądami zawiesinowymi. Według H. W. Menarda (USA) z wyjątkiem miejsc, gdzie prądy nie są zatrzymywane przez rowy oceaniczne, wyspy lub podwodne grzbiety, sedymentacja w pobliżu podstawy cokołu kontynentalnego odbywa się pod działaniem prądów zawiesinowych. Podczas gdy zagłębienia abyssalne wypełniają się osadem przyniesionym przez prądy, na otaczające je wyższe części dna zdaniem Menarda opada osad powstający z rozcieńczonych chmur zawiesiny, utworzonych ze zmieszania się materiału niesionego przez prąd zawiesinowy z wodą morską ponad prądem. R. J. Hurley (USA) przedstawił dowody wskazujące, że rów Aleutów jest zasypywany osadami niesionymi prądami zawiesinowymi wzdłuż osi rowu; osady te powstają na zewnątrz wybrzeży stanów Washington, Oregon i północnej Kalifornii, skąd systemem podwodnych kanionów i kanałów wyłobionych

przez prądy kierują się w stronę rowu. Według B. C. Heezena i D. B. Ericsona (USA, Lamont Geological Observatory) prądy zawieszinowe wypełniły rowy oceaniczne Atlantyku do tego stopnia, że obecnie rowy już wcale nie istnieją. Według tych badaczy Atlantyk jest oceanem bardziej dojrzałym w stosunku do Pacyfiku, który nie ma jeszcze wypełnionych swych brzeżnych rowów. Pogląd ten stoi w sprzeczności z poglądami wielu geologów, którzy odwrotnie, uważają Ocean Pacyficzny za ocean stary, być może pradawny, natomiast zagłębienie Oceanu Atlantyckiego w większej części za utworzone w młodszych czasach geologicznych. Co do częstotliwości prądów zawieszinowych we współczesnych oceanach, zwrócić należy uwagę na badanie stateczności osadów głędomorskich, dokonane przez D. G. Moore'a (USA). Mechaniczne badania wskazują, że osady stoków kontynentalnych mają wysokie wartości stabilne i przypuszczalnie tylko bardzo silne wstrząsy sejsmiczne mogą spowodować osuwanie się tych osadów.

Charakter osadów morskich w dużej mierze odzwierciedla warunki temperatury wód i z osadów można zatem odczytać warunki klimatyczne dawniejszych okresów. Od dość dawna znane są zmiany w osadach północnego Atlantyku związane z epoką lodową: na przemian występują na jego dnie osady odpowiadające okresom glacialnym i interglacialnym. Ostatnio badacze radzieccy uzyskali materiał wskazujący na podobne zmiany w osadach basenu Arktycznego. Zimne okresy zaznaczone są w tych osadach niską zawartością węglanu wapnia oraz związków żelaza i manganu; w okresach cieplejszych tworzyły się osady o większej zawartości CaCO_3 , z dużą ilością tlenków żelaza i manganu i znaczną ilością atlantyckich otwornic, które się tu zjawiały w związku z wtargnięciem wód Atlantyku do basenu Arktycznego. Istnieją wprawdzie pewne wskazówki, że zmiany temperatury wód ograniczone były w czwartorzędzie tylko do wyższych szerokości geograficznych, natomiast w strefie równikowej temperatura była taka sama zarówno w okresach glacialnych, jak też interglacialnych, jednakowoż gromadzą się też dane, wskazujące, że temperatura wód obszaru tropikalnego też ulegała zmianom. W tym względzie ciekawe dane uzyskano z badania rdzeni w rowie Cariaco u wybrzeży Wenezueli. Rów ten, głęboki obecnie około 1500 m, od głębokości 400 m posiada warunki beztlenowe, wskutek czego tworzą się w nim osady bez bentonicznych otwornic, a z obfitymi resztkami ryb, dobrze zakonserwowanymi w anerobowych warunkach sedimentacji. Poniżej tych osadów, w rdzeniach stwierdzono osady z bentoniczną fauną osadzoną widocznie w warunkach lepszego przewietrzania dennych wód rowu. Pomiar radiowęglem C^{14} wieku zmiany na osady anerobowe wskazują, że zmiana ta odbyła się 11 000 lat temu; wtedy wody rowu ogrzały się i to doprowadziło do ich stagnacji. Ogrzanie to mogło nastąpić w momencie ustąpienia ostatniego zlodowacenia. Podobną datę uzyskano (W. S. Broecker, M. W. Ewing i in.) przez pomiary C^{14} w rdzeniach oceanicznych: 11 000 lat temu nastąpił wzrost temperatury wód powierzchniowych w oceanach, zaznaczony gatunkami otwornic oraz zmianą stosunku izotopów tlenu $0^{18}:0^{16}$. Zmiany temperatury wód na podstawie stosunku izotopów tlenu w basenie śródziemnomorskim odczytują też C. Emiliani i tow. (USA) i R. Selli (Włochy) dla okresu czwarto-

rzędownego. W Morzu Śródziemnym początek czwartorzędu zaznacza się pojawieniem się otwornicy *Anomalina baltica* i innych północnych otwornic. W późnym pliocenie wody przypowierzchniowe w basenie miały temperaturę w lecie w granicach 21—35°; we wczesnym pleistocenie temperatura ta spadła do 16—32°. Podczas ostatniego interglacjału wody powierzchniowe miały maksymalną temperaturę 32°, w ciągu ostatniego zlodowacenia maksymalnie 28°, a najniższa temperatura wynosiła 8°C. Szwedzka ekspedycja w tym samym basenie, stwierdziła, że w okresach zwiększonych opadów (początek i schyłek Rissu, początek Würmu i wczesny post-glacial) wody Morza Śródziemnego blisko powierzchni stawały się bardziej słodkie, wskutek czego mieszanie się wód w basenie było gorsze, co prowadziło do stagnacji wód dennych i tworzenia się sapropelowych mulów. Zaznaczyć jeszcze należy, że sapropelowe osady w rowie Cariaco tworzą się z przyrostem 50 cm/1000 lat.

Już dane wyżej przytoczone wskazują w jaki sposób osady odzwierciedlają zmiany warunków panujących w morzu; można zatem pokusić się o odczytanie z osadów geologicznych historii wody morskiej, zmian jej składu, temperatury, ilości itd. Jest ciągle wielkim problemem w geologii pytanie od jak dawna przeciętny skład wody morskiej jest taki jak obecnie. Według A. B. Ronowa (ZSRR) częściowo także według W. W. Rubeya (USA), objętość i skład wody morskiej ulegały zmianom podczas historii geologicznej. Według Ronowa stwierdzono doświadczalnie, że dolomit traci się z wody morskiej przy dość wysokim p_{CO_2} w roztworze. Duża ilość osadów dolomitowych ery paleozoicznej, na którą zwracał uwagę już dawniej A. R. Daly, wskazuje, że ciśnienie parcjalne dwutlenku węgla w morzu było w tym czasie wysokie. Zwrócono też uwagę, że wody morskie tzw. uwięzione w osadach mają niższy stosunek $Mg:Na$ i $Mg:Cl$, a wyższy stosunek $Ca:Na$ i $Ca:Cl$ niż we współczesnej wodzie morskiej, co w pewnej mierze mogłoby wskazywać na inny skład wody morskiej w przeszłości. Natomiast badania H. A. Lowenstama nad stosunkami $0^{18}:0^{16}$ i $Sr:Ca$ oraz zawartością $MgCO_3$ w skorupach brachiopodów z różnych okresów geologicznych od karbonu po dziś wskazywać się zdają, że zmiany tych „parametrów” biegają równolegle; gdy temperatura wody się podnosi, zwiększa się zawartość węglanu magnezu i podnosi się stosunek $Sr:Ca$, natomiast stosunek $0^{18}:0^{16}$ staje się ujemny. Regularność zachodzenia tych zmian wskazuje, że temperatura morza się zmieniła, natomiast skład chemiczny wody morskiej nie uległ od czasów karbońskich jakimś zasadniczym zmianom. Nie tylko tą drogą można próbować określić paleotemperaturę oceanów w przyszłości geologicznej. Temperatura ta zaznacza się w sedimentacji współczesnej także w stosunkach różnych pierwiastków śladowych, np. stosunek $BaO:TiO_2$ w osadach strefy równikowej jest inny niż w innych strefach i w strefie równika osiąga najwyższą wartość. Tą drogą będzie można się pokusić o określenie położenia równika w przeszłości geologicznej (G. O. S. Arrhenius, USA).

Z historią oceanów wiąże się niewątpliwie historia życia organicznego, a także początek życia na Ziemi. O powstaniu życia w oceanach miał mówić A. L. Oparin (ZSRR), który jednak w ostatniej chwili na Kongres nie przyjechał. Zastąpił go T. D. Bernal (Wielka Brytania),

przedstawiając swe poglądy w odczycie pod tym samym tytułem. Według niego wydaje się najprawdopodobniejsze, że strefa eulitoralna między lądem a morzem była miejscem, gdzie najłatwiej mogło być dojść do powstania życia organicznego. Woda oceanów nie powstała z praatmosfery, ale jest pochodzenia juwenilnego (wulkanicznego), dlatego to praocean nie zawierał wiele soli ale zato dużo dwutlenku węgla. Dużą rolę odegrało światło słoneczne i fotosynteza, która doprowadziła do powstania prymitywnych drobin organicznych, zdolnych do adsorpcji energii słonecznej. Obszary estuariów, na zmianę mokrych i suchych, okresowo wystawiane na akcję słońca mogły być miejscem powstania pierwszych połączeń organicznych i adsorpcyjnego ich zatrzymania przez substancje ilaste. S. W. Fox i tow. (USA) przedstawili rezultaty swoich doświadczeń dążących do syntetycznego otrzymywania materii organiczej. Z pewnych kwasów otrzymali oni aminokwasy, zmieniające się w proteinoidy, które przez polimeryzację tworzą mikroskopijne sferuloidy, przypominające membrany żywych komórek. Badacze ci sądzą, że podobne substancje mogły powstać wskutek reakcji między magmą a wodą morską o szczególnym składzie.

Z zagadnień biologii morza dla geologów ważniejsze są zagadnienia dotyczące ekologii, zasięgów batymetrycznych grup zwierzęcych, geologicznie ważnych i oczywiście zagadnienie ewolucji fauny oceanów. Charakter fauny rzuca też światło w pewnych przypadkach na historię geologiczną. Szczególnie odnosi się to do zagadnienia czy wielkie rowy oceaniczne są starym czy młodym zjawiskiem rzeźby dna oceanów. Znowu prace ekspedycji statku *Vitiaz* przyniosły ogromny nowy materiał. Statek ten wysondował organizmy z głębokości poniżej 10 000 m z rowu Marianów oraz z mniejszych głębi zebrał też ogromne zbiory. Stwierdzono (T. A. Birsztejn), że poniżej 6000 m żyje 125 gatunków zwierząt, z których 77 jest ograniczone do głębokości poniżej 6000 m. Niezmiernie charakterystyczną cechą tej ultraabyssalnej fauny jest jej izolacja, zaznaczona przez bardzo indywidualny charakter fauny w poszczególnych rowach. Te endemiczne fauny rowów dzielą się na dwie grupy: w jednych rowach są bardziej zróżnicowane niż w innych. Przypuszczalnie zatem jedne rowy są starsze i dłuższa ich historia umożliwiła większe zróżnicowanie fauny niż w młodszych rowach. Mimo odrębności fauny w poszczególnych rowach zdarzają się nieliczne formy wspólne, np. jeden gatunek amfipoda znany jest z pięciu rowów pacyficznych i z rowu Porto-Rico. Przypuszczalnie ultraabyssalna fauna rozwinęła się z form eurybatycznych, co wskazuje, że rowy istnieją od bardzo dawnych czasów, gdyż rozwinęły się nie tylko wyłącznie ultraabyssalne gatunki i rodzaje, ale nawet rodziny. Skład fauny rowów jest bardzo różny, np. w Rowie Kurylskim 90% fauny (wagowo) składa się z węzowideł, w rowie Kermadec większość fauny to małże, a w rowie Tonga połowę fauny tworzą amfipody i izopody.

Zagadnienie pochodzenia i wieku fauny głębokomorskiej jest wielkim problemem biologii morza, paleontologii i geologii historycznej. Według poglądu ogólnie przyjętego, reprezentowanego na Kongresie przez L. A. Zenkewicza (Instytut Oceanologii AN ZSRR) fauna głębinowa ma być fauną starą, która wskutek nie zmieniających się warunków w głębinach mórz nie ulegała większym zmianom ewolucyj-

nym lub zmiany te były niezmiernie powolne. Z krytyką tej teorii wystąpili na Kongresie R. J. Menzies i J. Imbrie (Columbia University, USA). Według nich płytkowodne strefy w morzach mają więcej archaicznych typów niż strefy abyssalne, natomiast jednym paleozoicznym reliktem w strefie abyssalnej jest *Neopilina* (mięczak z grupy *Monoplacophora*). W płytkowodnej faunie jest więcej organizmów, które mają przodków w paleozoiku niż w faunie abyssalnej. W strefie abyssalnej jest więcej form trzeciorzędowych niż w strefie litoralnej. Najwięcej form archaicznych jest w faunie zamieszkującej szelf i stok kontynentalny. Fauna abyssalna składa się w 86% z form trzeciorzędowych, a tylko w 14% z typów mezozoicznych; jeśli pominie się otwornice, to fauna abyssalna nie zawiera żadnych typów paleozoicznych. Natomiast w strefie litoralnej 66% form należy do rodzajów mezozoicznych, a 4% do rodzajów paleozoicznych. Z tych to powodów badacze wymienieni nie są skłonni uważać faunę abyssalną za faunę starożytną.

Inny pogląd na temat wieku faun głębinowych wygłosił P. E. Cloud (Służba geologiczna USA). Według niego fauny fliszowe, zachowane w postaci śladów pelzania lub żerowania mają bardzo podobny charakter niezależnie od wieku; dowodzi to, że są to fauny głębokomorskie, które żyjąc w monotonicznych i nie zmieniających się warunkach nie uległy większym zmianom. Wiele form takich, jak *Paleodictyon*, *Zoophycus* itd. są właściwie takie same w utworach paleozoicznych, jak utworach wieku trzeciorzędowego.

Określenie batymetrii utworów kopalnych opiera się bardzo często na otwornicach. Z tego względu warto podać rezultaty otrzymane przez badaczy radzieckich (H. M. Saidowa) nad rozmieszczeniem otwornic. W północnym Pacyfiku otwornice aglutynujących jest dwa razy więcej w strefie abyssalnej (350 do 10 000 m) aniżeli w strefie batialnej, a 12 razy więcej niż w strefie płytkiej. W abyssale wyróżniono wyższą strefę obfitą w otwornice aglutynujące i głębszą (ultraabyssalną, poniżej 6000 m), która ma bardzo mało otwornic. Górny batiał (500—1400 m) ma różnorodny skład, ale w dolnym batiale (1400—3000 m) ilość otwornic aglutynujących wzrasta. Formy wapienne znikają na głębokości — 3000 m.

Charakter fauny morskiej zależy nie tylko od głębokości, oddalenia od brzegu, charakteru osadów, ilości i charakteru pożywienia, przeszłości fauny itd., ale też od chemicznych własności środowiska. Dlatego L. A. Zenkewicz wprowadza pojęcie biogeochemicznych prowincji.

Zagadnienia biogeografii morza były żywo na Kongresie dyskutowane, a także zagadnienia paleobiogeografii morza. Te ostatnie zostały włączone w program Kongresu w zrozumieniu, że dzisiejsze oceany, ich flora i fauna, sposób rozsiedlenia organizmów itd. są tylko etapem w wielkim procesie ewolucji oceanów. Głównym celem biogeografii¹ jest wyróżnienie jednostek regionalnych, zwanych zwykle biogeograficznymi prowincjami, scharakteryzowanych pewnymi wspólnymi cechami zespołów organicznych zasiedlających je. Jest jednym z celów dociekań biogeograficznych wyjaśnienie jak fauna (lub flora) jakiejś prowincji osiągnęła obecny skład. Są dwie grupy czynników wpływających na rozsiedlenie organizmów. Jedna jest związana z czynnikami geograficznymi, takimi jak

¹ Seminarium poświęconemu zasadom paleobiogeografii przewodniczył autor.

połączenia między morzami lub ich brak, właściwości fizyczne (głębokość, słoność, temperatura) itd. Druga grupa czynników obejmuje fizjologiczne możliwości organizmów do przystosowania się do różnych warunków środowiskowych i możliwości rozprzestrzeniania.

Jako przykład wpływu czysto geograficznych czynników na zróżnicowanie na prowincje mogą być podane badania W. P. Woodringa (USA) nad trzeciorzędowymi faunami obszaru karaibskiego (w obszarze tym homogeniczna fauna na skutek powstania bariery lądowej rozpadła się na dwie prowincje) oraz H. W. Menarda (USA) nad rolą głębokich mórz jako bariery dla migracji i czynnika izolacyjnego dla zespołów faunistycznych. S. W. Muller (USA) wykazuje, że w triasie i dolnej jurze nie istniały odrębne prowincje, borealna i południowa (Tetydy); ponieważ w permie istnienie takich prowincji jest dowiedzione, stwierdzenie Mullera nasuwa przypuszczenie, że wielka, środkowotriasowa transgresja, a więc czynnik geograficzny (zmiany linii brzegowej) umożliwiła intensywną migrację i wymieszanie się faun. Odwrotne zjawisko wynika z referatu Z. Kielan-Jaworowskiej (Polska — referat odczytany w nieobecności autorki), dotyczącego migracji trylobitów ordowickich. Dane, przytoczone w referacie mogą stanowić ilustrację faktu, że migracja pewnych organizmów płytkowodnych może być ułatwiona regresją i spływaniem morza. Dla klasyfikacji rozmieszczenia organizmów morskich podstawową cechą jest ich rozmieszczenie batymetryczne. W zoogeografii do by obecnej pierwszy podział na domeny litoralną, batypelagiczną i abysalną jest oparty na batymetrii, a te wielkie domeny faunistyczne dzielone są następnie na podstawie wpływu temperatury, na prowincje takie, jak tropikalna (np. litoralna tropikalna, batypelagiczna tropikalna), umiarkowana (umiarkowana litoralna, umiarkowana batypelagiczna), borealna itd. W jaki sposób określić głębokościowe zasięgi organizmów kopalnych, jakimi w tym celu posługuje się nauka metodami, jakie są możliwości i ograniczenie tych metod przedstawił w referacie C. Teichert (USA). W podobny sposób było przedstawione znaczenie temperatury i jej zmian dla przesunięć granic prowincji (T. W. Valentine, USA). Zagadnienie rozprzestrzeniania się organizmów morskich w dawnych epokach geologicznych, a szczególnie problem szybkości tego rozprzestrzeniania jest jednym z najważniejszych zagadnień nie tylko paleobiogeografii ale też geologii historycznej. Jeśli to rozprzestrzenianie jest wolne, podobne fauny różnych, odległych obszarów niekoniecznie muszą być tego samego wieku, jak się to ogólnie sądzi. Według Huxleya nie jest wykluczone, że np. dewońska fauna Azji wschodniej nie jest „dewońską” fauną europejską, ale sylurską fauną Europy, która dopiero w dewonie dotarła do odległego obszaru. W związku z tym zagadnieniem warto tu przytoczyć, że S. W. Muller (USA) wykazał iż trzy formy o bardzo różnych fizjologicznych możliwościach (stulbiopław, małż *Monotis salinaria* i amonit *Pinacoceras perma*) występują łącznie w takiej samej pozycji stratygraficznej w górnym triasie, w tak odległych od siebie obszarach jak Alpy, Kalifornia i Timor. Kilka referatów dotyczyło wpływów czynników facjalnych takich, jak ilość tlenu, substancji odżywczych, słoności, charakteru osadu na dnie, na wytworzenie zespołu organicznego; te czynniki nie mają bardzo wielkiego znaczenia w otwartych oceanach, ale znacznie większą rolę odgrywają w ograniczonych, półzamkniętych basenach;

w zoogeografii doby współczesnej wyróżnia się też prowincje wytworzone nie wyłącznie hydroklimatycznymi warunkami, zależnymi od szerokości geograficznej i głębokości, ale też innymi czynnikami, np. prowincja sarmacka, będąca potomną prowincją dawnej Tetydy, wytworzona w warunkach daleko posuniętego wysłodzenia wód. Wpływ ograniczonej cyrkulacji wód, wytworzony przez szczególne warunki tektoniczne, słabego dowozu substancji odżywczych i zwiększonej ilości dwutlenku węgla w basenie wytwarza szczególnie niekorzystne warunki dla fauny i zaznacza się w wytworzeniu szczególnego zespołu organicznego. Zespół takich warunków powtarzał się rekurencyjnie w ewolucji geosynklin od bardzo dawnych czasów i prowadził do tego, że w różnych czasach powstawały ubogie biota o specyficznym składzie, występujące w utworach fliszowych. Analiza tych warunków była przedmiotem referatu M. Książkiewicza (Polska). W jaki sposób zmiany temperatury i słoności w basenie Morza Śródziemnego wpływały na zmiany fauny i imigrację obcych elementów przedstawili J. M. Peres i J. Piccard (Francja).

Rafy koralowe, zajmujące określone położenie w systemie hydroklimatycznym globu dzięki swej stenotermiczności i stenobatymetrii, są oczywiście ważnym instrumentem w paleobiogeografii, nie dziwnego więc, że wiele uwagi im poświęcono. Według N. D. Newella (USA) rafy środkowego Atlantyku są w przeciwieństwie do raf oceanu Indyjskiego i Spokojnego zjawiskiem młodym, pogłaczalnym. Przedczwartorzędowe rafy Atlantyku nie wytrzymały obniżen temperatury epoki lodowej i wyginęły. Współczesne rafy są więc niedojrzałe, rosną znacznie wolniej i nie są kontynuacją dawnych raf. Przypuszczalnie przed czwartorzędem rafy środkowego Atlantyku były bujnie rozwinięte i dostarczały obfitego detrytus wapiennego do osadów szelfu, który wokół wysp Bahama jest wapienny od jury. Być może, że krawędź szelfu w tej strefie, przypominająca morfologią Wielką Rafę Australijską, jest zatopioną wielką rafą przedmioceniską. Interesujące rekonstrukcje paleobiogeograficzne zawarte są w referacie A. G. Fischera (Princeton Univ., USA). Opiera się on na studiach chińskiego badacza T. Y. H. Ma (Taiwan), który już dość dawno postawił tezę, że koralce rosnące w strefie eutropikalnej rosną jednolicie, natomiast koralce żyjące w zewnętrznych strefach pasa tropikalnego, gdzie zaznaczają się sezonowe zmiany temperatury, mają szkielety rytmicznie wstęgowane coś na podobieństwo rocznych pierścieni przyrostu u drzew. Analiza materiału zawartego w pracach Ma, dotyczącego rozmieszczenia koralu z grupy *Tabulata* okresu sylurskiego wskazuje, że w sylurze eutropikalna strefa mogła biec przez archipelag Franklina, Japonię, Koreę, Wietnam i wschodnią Australię, natomiast wschodnie Stany Zjednoczone i Europa leżały w strefie subtropikalnej. Z grubsza biorąc, wynika z tego, że równik w sylurze biegł wzdłuż 45 południka na półkuli wschodniej i 135 południka na półkuli zachodniej. Próby rekonstrukcji paleobiogeografii kambru, z przyjęciem daleko idących zmian położen biegunów i kontynentów przedstawił też A. R. Palmer (USA).

Zagadnienie położenia biegunów w przeszłości poruszało w czasie Kongresu wielu autorów, ale trzeba zaznaczyć, że podnoszono też z wielu stron, że rezultaty otrzymywane z badań tzw. magnetyzmu resztkowego mogą być różnie interpretowane, oraz, że nie ma dowodów, by oś obrotu Ziemi leżała w sąsiedztwie osi magnetycznej tak, jak jest to dzisiaj.

Roman Ney

POGRZEBANE GRZBIETY W GEOLOGII NAFTOWEJ

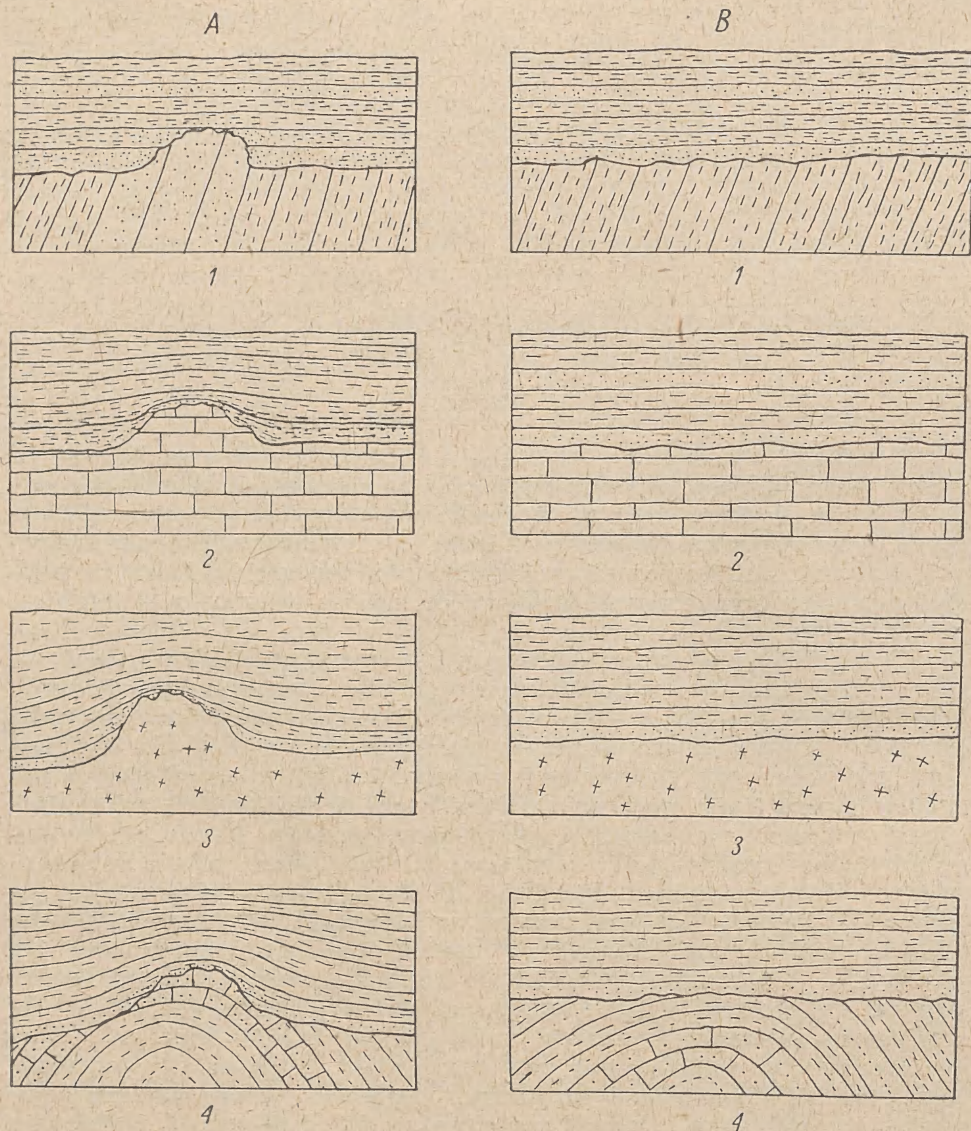
WSTĘP

W geologii strukturalnej wyróżnia się struktury powierzchniowe to znaczy takie, których budowę geologiczną da się prześledzić na podstawie studiowania odsłonień, bądź też na podstawie płytkich robót poszukiwawczych oraz struktury pogrzebane, które nie zawsze odzwierciedla powierzchniuwa lub przypowierzchniowa budowa geologiczna. Odkrycie i badanie struktur pogrzebanych możliwe jest dzięki wierceniom i badaniom geofizycznym.

W obrębie pogrzebanych struktur wyróżnia się pogrzebane grzbiety — (ang. *buried hills*, ros. *pogrebiennyj chrebt* albo rzadziej używany termin *pogrebiennyje podniatia*) — charakteryzujące się prawie zawsze mniej lub więcej antyklinalnym ułożeniem warstw osadów nadległych. W skrajnym przypadku gdy podczas sedimentacji grzbiet wystawał ponad poziomem morza, które stopniowo podnosiło się aż do jego całkowitego zakrycia, wówczas w nadkładzie pogrzebanego grzbietu warstwy o ile nie są spiętrzone kompakcyjnie mogą leżeć poziomo, jeżeli już po sedimentacji nie zostały zaburzone, rys. 1 A-1. Z drugiej strony w terenach o intensywnej tektonice fałdowej, jak np. w Karpatach w przypadku krycia jednych struktur przez drugie — czasem o nie koniecznie odmiennej tektonice — wprowadzony został do naszej geologii naftowej termin struktury piętrowej. W tym pojęciu te struktury nie są już nawet pogrzebanymi grzbietami, powstały bowiem w wyniku fałdowań.

Jeszcze dotąd w literaturze dość często mieszane są pojęcia pogrzebanego grzbietu i pogrzebanej struktury. Zasadnicze różnice pomiędzy pogrzebanym grzbietem i pogrzebaną strukturą ilustruje rys. 1, na którym pokazano przekroje różnych typów pogrzebanych struktur i grzbietów. Z powyższych przekrojów widać, że pogrzebany grzbiet jest szczególną formą pogrzebanej struktury, a tym samym jest terminem węższym. W przypadku pogrzebanego grzbietu skały starsze tworzą zwykle wypiętrzenie, tak zwaną wyniosłość morfologiczną, która w większości przypadków jest pochodzenia erozyjnego. Wyniosłość ta w swoim bezpośrednim nadkładzie posiada skały młodsze. Najczęściej taka wyniosłość morfologiczna ma swoje odbicie w skałach nadkładu, które może stopniowo ku górze zanikać, rys. 1 A-2.

W ostatnich latach coraz więcej uwagi zwraca się też na pogrzebane grzbiety (zwykle łagodne antykliny) nie odbijające się na powierzchni,



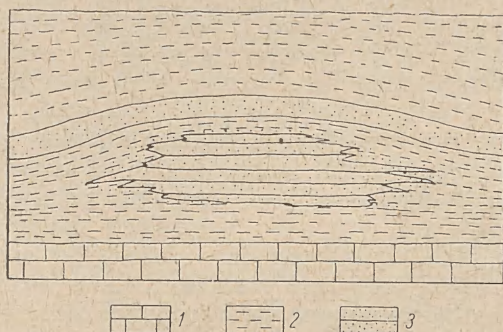
Rys. 1. Schematyczne przekroje geologiczne ilustrujące różnice zachodzące pomiędzy pogrzebanymi grzbiecami a pogrzebanymi strukturami

A-1 — Pogrzebany grzbiec. Warstwy w nakładzie leżą poziomo, A-2 — Pogrzebany grzbiec z odbiciem w nakładzie, A-3 — Pogrzebany grzbiec zbudowany ze skał krystalicznych. W nakładzie warstwy osadowe tworzą łagodną antyklinę, A-4 — Pogrzebany grzbiec powstały przez nierównomierne zerodowanie antykliny. Warstwy w nakładzie również posiadają układ antyklinalny,

B-1 — Pogrzebana struktura, w której warstwy zapadają stromo. W nakładzie warstwy leżą poziomo, B-2 — Pogrzebana struktura powstała w wyniku przerwy sedymentacyjnej i równego zerodowania warstw, B-3 — Pogrzebana struktura powstała przez osadzenie się warstw na równo zerodowanej płycie krystalicznej, B-4 — Pogrzebana struktura w formie antykliny o równo zerodowanej powierzchni

lub odbijające się słabo niezależne od struktur podłoża a powstające w osadach w których zachodzą szybkie zmiany facjalne na niedużych przestrzeniach (W. L. Russell — 1955). Są to np. soczewki piaskowców wśród ilów czy łupków, wapienie wśród ilów itp. Wapienie i piaskowce ulegają znacznie mniejszej kompaktacji aniżeli otaczające je ily. Stąd też tworzą one wyniosłości, zaś otaczające je ily uległszy znaczniejszej kompaktacji tworzą formy zapadnięte w stosunku do tych ostatnich, rys. 2.

Ze strukturami pogrzebanymi a zwłaszcza z pogrzebanymi grzbietami bardzo często związane są złoża ropy i gazu. Pułapkami są tu albo stare



Rys. 2. Pogrzebany grzbiet wytworzony przez różnicowaną kompaktę zachodzącą wskutek szybkich zmian facjalnych osadów
1 — Wapienie, 2 — Iły, 3 — Piaskowce i piaski

masywy pogrzebane albo antyklinalne sklepienia warstw nadległych. Powyższe zagadnienie jest dla nas szczególnie aktualne w fazie intensywnego rozpoznania wiertniczego terenów pozakarpackich. W tej dziedzinie nasza geologia naftowa ma już za sobą pewien oryginalny dorobek naukowy, (A. Tokarski — 1958, *O typach struktur wału metakarpackiego*, *Kwartalnik Geologiczny*, tom 2, nr 4).

TYPY POGRZEBANYCH GRZBIETÓW

W literaturze geologicznej, która traktuje o pogrzebanych grzbietach opisane są zwykle ich różne formy, najczęściej przy okazji opisywania budowy geologicznej poszczególnych regionów lub też przy opisie pól naftowych czy gazowych. W dostępnej mi literaturze zarówno starszej: S. Powers — 1926, C. W. Tomlinson — 1926, jak i nowszej: W. L. Russell — 1955, A. I. Levorsen — 1956 czy I. O. Brod — 1957¹ brak jest ogólniejszego a zarazem szerszego ujęcia zagadnienia pogrzebanych grzbietów. Nigdzie również dotąd nie spotkałem usystematyzowania pogrzebanych grzbietów na podstawie ich genezy. Problem ten jest zresztą bardzo trudny, ponieważ na powstanie określonego typu pogrzebanego grzbietu składają się nierzadko różne procesy geologiczne.

Podstawowymi i bezpośrednimi procesami geologicznymi, które prowadzą do powstania pogrzebanego grzbietu są: denudacja (erozja), sedy-

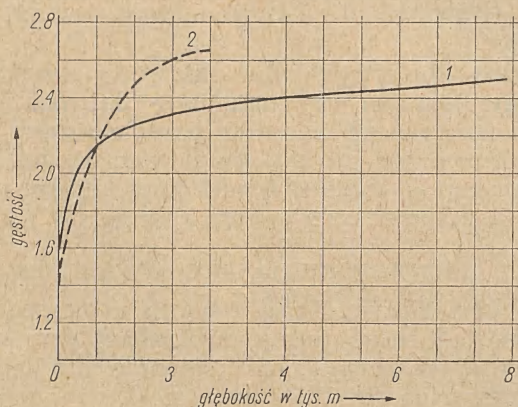
¹ I. O. Brod, N. A. Jeremienko — 1957, *Osnovy geologii nefti i gaza*. Moskwa.

mentacja i kompaktacja. Odgrywa tu pewną rolę czynnik tektoniczny ale nie jest on bezpośrednią przyczyną powstania pogrzebanego grzbietu. Poniżej opisano charakterystyczne typy pogrzebanych grzbietów w zależności od procesów geologicznych, które doprowadziły do ich powstania.

1. Pogrzebane grzbiety wytworzone przez zróżnicowaną kompaktację

Powstanie pogrzebanego grzbietu polega tu na nierównomiernej kompaktacji, zwanej z literatury angielskiej zróżnicowaną, która odbywa się głównie w czasie stadium diagenety osadu, W. L. Russell — 1955.

Powszechnie znane jest zjawisko kompaktacji osadów pod wpływem ciśnienia gromadzących się wyżej osadów jak i również wody. Pod wpływem kompaktacji z jednej strony dochodzi do zmniejszenia się objętości (grubości) osadu z drugiej zaś strony przez stwardnienie i skonsolidowanie osadu powstaje z niego skała — następuje proces diagenety. Ciśnienie powoduje, że w osadzie następuje zbliżenie się do siebie ziarn i cząsteczek i wycisnienie części wody, co z kolei prowadzi do zmniejszenia objętości osadu. Każdy osad pod wpływem kompaktacji zachowuje się inaczej. Iły i gliny pod wpływem kompaktacji mogą zmniejszyć swoją objętość nawet do 75%, średnio od 40 do 50%. Tak więc pierwotny osad iłu o grubości 10 m pod wpływem kompaktacji może zmniejszyć swoją grubość do 5 m. Niezdiagnozowane osady oprócz składu mineralogicznego różnią się pomiędzy sobą pierwotną porowatością². Istnieje pewna zależność pomiędzy pierwotną porowatością a kompaktacją. Ił posiada porowatość



Rys. 3. Wykres ilustrujący zależność gęstości skał od głębokości ich zalegania. Wg W. L. Russella — 1955 (*Structural Geology for Petroleum Geologists*, New York—Toronto—London)

1 — Krzywa zmian gęstości łupków z Week Island, 2 — Krzywa zmian gęstości łupków z Athy

pierwotną dochodzącą do 75% podczas gdy pierwotna porowatość piasku z reguły nie przekracza 40%. Zmiana objętości skały w czasie kompaktacji odbywa się kosztem porowatości. Im skały posiadają większą pierwotną

² Pierwotną porowatością nazywamy porowatość jaką posiada osad przed diagenetą.

porowatość tym ulegają one większej kompaktacji. Inaczej skały o dużej pierwotnej porowatości po kompaktacji ulegają dużemu zmniejszeniu objętości. Intensywność kompaktacji zależy oprócz tego od wielkości ciśnienia hydrostatycznego — grubości nadległych osadów. Z zasady ze wzrostem głębokości maleje porowatość skał, wzrasta zaś gęstość skały. Zależność pomiędzy gęstością łupków a głębokością ich zalegania ilustruje nam wykres na rys. 3, według W. L. Russella — 1955. Z wykresu tego wynika, że gęstość skały wzrasta w miarę zwiększania się nacisku z tym, że przy pierwszych kilkuset metrach głębokości gęstość łupków wzrasta szybko zaś później w miarę zwiększania się głębokości gęstość wzrasta powoli. Stąd krzywa obrazująca nam zmianę gęstości łupków z początku ma przebieg stromy, a następnie łagodny. Jeżeli przy tym wszystkim uwzględnimy jeszcze czynnik czasu to dojdziemy do wniosku, że gęstość osadu najszybciej wzrasta w początkowym stadium kompaktacji. Tłumaczy się to tym, że osad zaraz po depozycji zawiera najwięcej wody, która z początku jest łatwo usuwalna później zaś trudniej. Osad zatem coraz wolniej zmniejsza swoją objętość, następuje jego twardnienie oraz konsolidacja i stopniowo przechodzi w skałę.

Przy omawianiu kompaktacji trzeba również zwrócić uwagę na zależność jaka zachodzi pomiędzy zmniejszeniem się objętości (grubości) osadu a jego składem mineralnym. Osady wapienne i piaszczyste ulegają szybkiej konsolidacji aniżeli osady ilaste. Dodatek minerałów ilastych do piasku sprawia, że proces jego konsolidacji przebiega dłużej. I tak jeszcze dziś spotyka się kopalne ropy pochodzące z odległych epok geologicznych, które



Rys. 4. Przekrój geologiczny przez typową biohermę z obszaru Gór Sacramento w Nowym Meksyku, USA. Wg A. I. Levorsena — 1956 (*Geology of Petroleum*. San Francisco)

1 — Osady piętra Dona-Ana, 2 — Osady piętra Arcente. Piętro Alamogordo; 3 — Facja górnego szarego rogowcowego wapienia krynoidowego, 4 — Facja niebieskoszarego marglu, 5 — Facja zielonego krynoidowego piaskowca, 6 — Facja szarych krynoidów, 7 — Bioherma, 8 — Facja czarnych zbitych rogowcowych wapieni, 9 — Facja szarego iłowca, 10 — Formacja Caballero

dotąd nie przeszły w łupki. W łańcuchach tych zjawisko zmniejszenia się ich objętości pod wpływem kompaktacji jeszcze istnieje. To by znaczyło, że im większej kompaktacji ulega osad, tym proces ten trwa dłużej.

Jeżeli w osadzie występują zmiany facjalne na niewielkiej przestrzeni wówczas spotykamy się ze zjawiskiem zróżnicowanej to jest nierównomiernej kompaktacji. I tak jeżeli wśród iłów znajduje się stosunkowo gruba

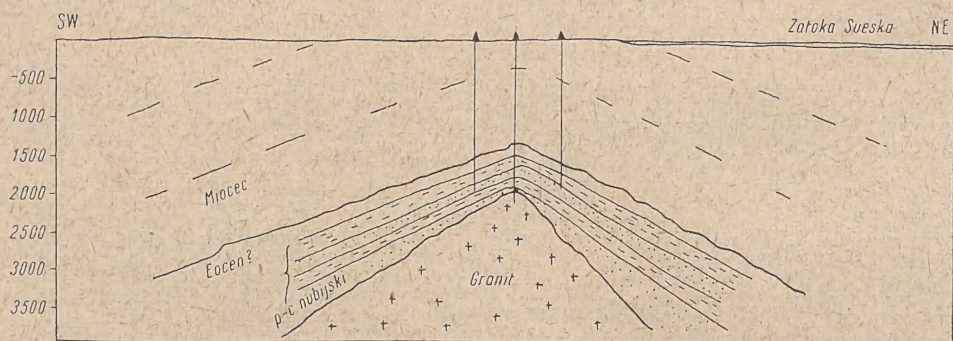
a niedługa soczewka wapieni, to podczas zróżnicowanej kompaktacji dochodzi do wytworzenia się łagodnej formy antyklinalnej, która w odpowiednich warunkach może stać się dogodną pułapką dla złóż bituminów. Dużą rolę odgrywają tu syngenetyczne wapienie pochodzenia organogenicznego.

Na rysunku 4 przedstawiona jest bioherma wieku dolnokarbońskiego z obszaru Nowego Meksyku, USA wg A. I. Levorsena — 1956. Szerokość jej u podstawy wynosi 1,5 km, zaś wysokość dochodzi do 60 m. W wyniku zróżnicowanej kompaktacji w skałach otaczających biohermę powstała forma antyklinalna, która zanika ku powierzchni. Tego typu biohermy w Północnym Teksasie zawierają złoża ropy, która gromadzi się bądź w samym masywie wapieni organogenicznych, bądź też w podniesionych skrzydłach skał otaczających biohermę.

2. Pogrzebane grzbiety związane z wyniosłością paleomorfologiczną

Pogrzebane grzbiety zaliczone do tej grupy są zjawiskiem dość powszechnym. Ze względu na genezę wyniosłości paleomorfologicznej w grupie tej można wydzielić dwie podgrupy, a mianowicie: a) Pogrzebane grzbiety związane z wyniosłością wytworzoną przez proces erozji, b) Pogrzebane grzbiety związane z wyniosłością pochodzenia rafowego.

a) Pogrzebane grzbiety związane z wyniosłością wytworzoną przez proces erozji. Do czynnika kompaktacji

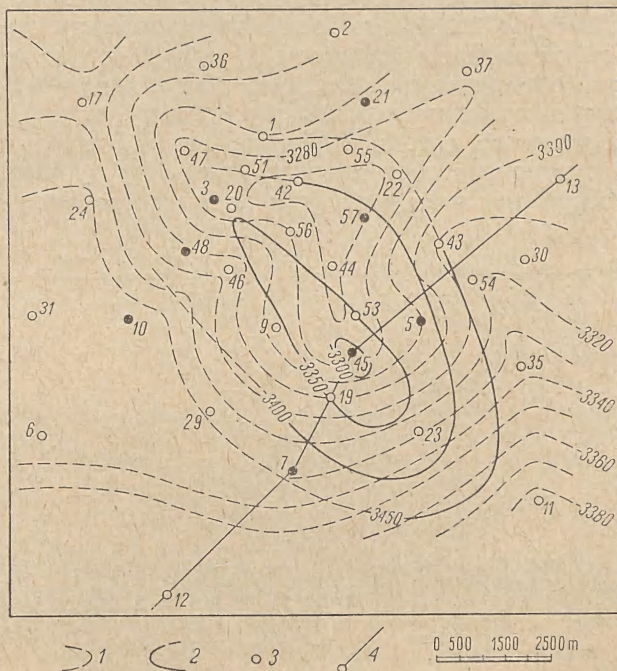


Rys. 5. Przekrój geologiczny przez pole Hurghada w Egipcie. Wg S. Powersa — 1926 (*Reflectet buried Hills in the Oil Fields of Persia, Egypt and Mexico*. Bull. American Ass. Petrol. Geol., nr 4 Oklahoma)

dochodzi tu czynnik erozji. Oba te czynniki warunkują powstanie pogrzebanego grzbietu. Erozja doprowadza do powstania grzbietu morfologicznego, zaś kompaktacja prowadzi do wytworzenia się nad grzbietem erozyjnym formy antyklinalnej w skałach młodszych. Na rys. 1A przedstawiono różne formy pogrzebanych grzbietów związanych z wyniosłościami paleomorfologicznymi pochodzenia erozyjnego. Warstwy młodsze nadległe nad grzbietem są przeważnie ułożone antyklinalnie, rys. 1 A-2, 3, 4, choć są również przypadki gdzie warstwy nadkładu leżą poziomo, rys. 1 A-1, dzieje się to wtedy kiedy pogrzebany grzbiet nie jest od razu całkowicie zalany przez morze a sedymentacja odbywa się wolno i stopniowo pokrywane są coraz to wyższe partie grzbietu. Sama wyniosłość

morfologiczna może być strukturalnie formą prostą, rys. 1 A-2, to znaczy warstwy skalne leżą poziomo, albo może być zaburzona tektonicznie, rys. 1 A-1, 4, jeszcze przed wytworzeniem się formy erozyjnej. Niekiedy grzbiet tworzą skały krystaliczne, rys. 1 A-3.

Najczęściej spotykane i najważniejsze dla geologii naftowej są pogrzebane grzbiety nad którymi wytworzyła się forma antyklinalna, a więc, które posiadają swoje odbicie w nadkładzie. Gdy wyniosłość morfologiczna



Rys. 6. Mapa strukturalna pogrzebanego grzbietu Ozek-Suat. Wg A. I. Ciatur'owa, — 1957 (*Nowyje dannyje o domiezoizskom składcatom osnowanii Ozek-Suat i prilegajuszczich rajonach*. „Geologija Niefti“, nr 8. Moskwa)

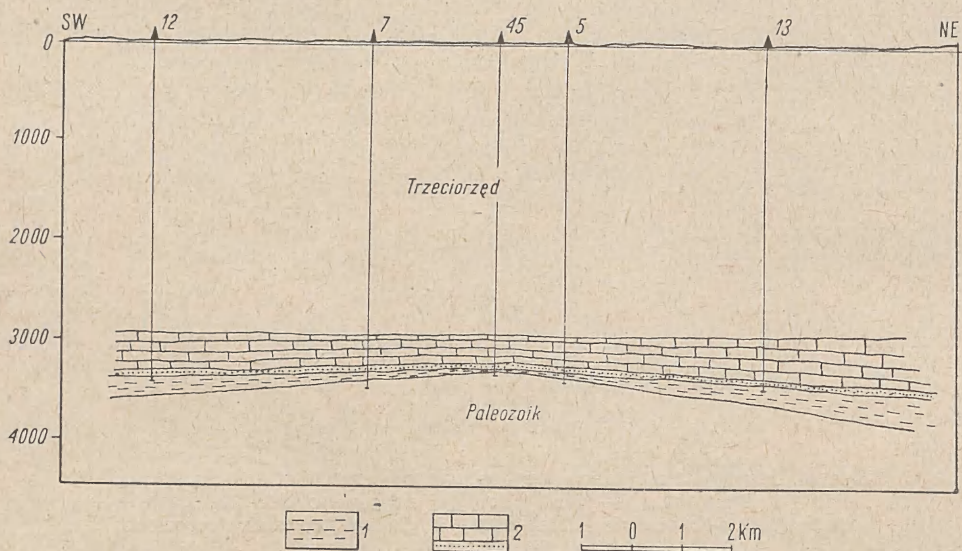
- 1 — Izohipsy spagu dolnej kredy, 2 — Izohipsy stropu paleozoiku,
- 3 — Otwory, które nawierciły paleozoik, 4 — Linia przekroju geologicznego (rys. 7)

jest cała zalana przez morze, wówczas osad układa się na niej w ten sposób, że jest grubszy na stokach a cieńszy na samym grzbiecie. Dużą rolę odgrywają tu również zsuwy podmorskie, dzięki którym niezdiagenezowane osady wędrują od szczytu wyniosłości po jej stokach na dół. Grubość osadów na skrzydłach wyniosłości wpływa dodatnio na wielkość ciśnienia hydrostatycznego, co z kolei oddziałuje na intensywność kompaktacji w kierunku jej wzrostu. Stąd sumaryczne zgniecenie nadkładu nad wyniosłością morfologiczną wskutek kompaktacji jest większe na skrzydłach pogrzebanego grzbietu zaś mniejsze nad nim samym. W tych warunkach nad wyniosłością paleomorfologiczną tworzą się formy antyklinalne powstające bez udziału czynnika tektonicznego. Niejednokrotnie

intensywność tych form ku górze zanika, antyklina staje się łagodniejsza, tak że na powierzchni może być niewidoczna, rys. 1 A-2.

Tego rodzaju pogrzebane grzbiety bywają doskonałymi pułapkami zawierającymi gaz i ropę i od dawna znane są w geologii naftowej. Ropa może gromadzić się tu zarówno w starym trzonie wyniosłości paleomorfologicznej, jak i również w antyklinalnie ułożonych warstwach nadkładu.

Przykładem może tu być złoże Hurghada w Egipcie, rys. 5, S. Powers — 1926. Odegrało ono poważną rolę w egipskim przemyśle naftowym w latach 1914 do 1938. Jego roczna wydajność wynosiła od 300 000 ton w początkowym okresie eksploatacji do 100 000 ton po jego zawodnieniu w końcowym okresie eksploatacji. Nad pogrzebanym grzbietem granitowym leżą tu piaskowcowo-ilaste utwory kredowe, wyżej zaś poza problematycznymi utworami eocenu zalegają osady miocenijskie wykształcone w facji ilastej z utworami chemicznymi. Począwszy od piaskowca nubijskiego, który bezpośrednio leży na granicie ku górze skrzydła antykliny



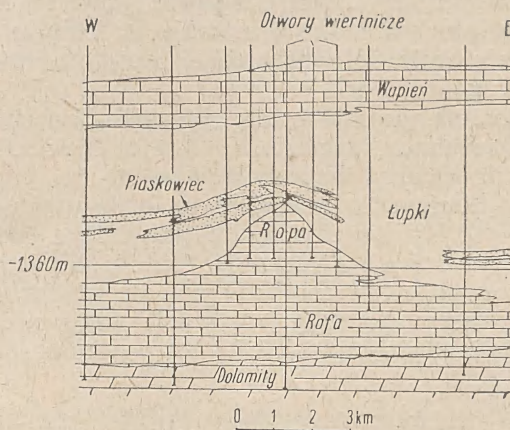
Rys. 7. Przekrój geologiczny przez pogrzebany grzbiet Ozek-Suat. Wg A. I. Ciaturowa — 1957

1 — Utwory jurajskie, 2 — Utwory kredowe

stają się coraz bardziej łagodne. Utwory kredowe zwiększają swoją miąższość na skrzydłach w miarę oddalania się od grzbietu struktury. Ropa występuje tu w pokrywie zwietrzelinowej grzbietu granitowego i w osadach piaskowcowo-ilastych, pokrywy kredowej.

Przemysł naftowy ZSRR ma duże osiągnięcia w dziedzinie poszukiwań roponośnych pogrzebanych grzbietów. W ostatnich latach we wschodnim Przedkaukazu została odkryta roponośna struktura Ozek-Suat, która jest typowym pogrzebanym grzbietem pochodzenia erozyjnego, rys. 6 i 7, A. I. Ciaturow — 1957. Najstarszymi stwierdzonymi utworami są tu słabo zmetamorfizowane łupki ilasto-piaszczyste zaliczone do środkowego

i górnego karbonu. Są one intensywnie pofałdowane, zapadają pod ziemnym kątem od 32 do 90°. Te utwory karbonu wyrzeźbione są w łagodny grzbiet erozyjny, rys. 6. Bezpośrednią pokrywą pogrzebanego grzbietu są tu utwory mezozoiczne zaliczone do jury i kredy. Utworów permu i triasu nie stwierdzono. Osady jury cienkie na grzbiecie struktury kilka-



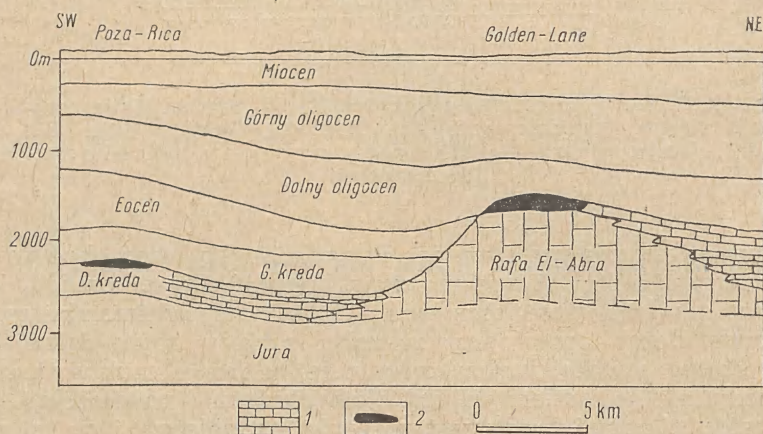
Rys. 8. Przekrój geologiczny przez złoże North Snyder. Złoże znajduje się w wapieniu rafowym. Zachodni Teksas, USA. Wg A. I. Levorsena — 1956 (Geology of Petroleum. San Francisco)

krotnie zwiększają miąższość na jej skrzydłach. To samo choć w mniej zaakcentowany sposób dotyczy utworów kredy. Powyżej osadów kredowych zalegają utwory trzeciorzędowe a to od warstw foraminiferowych do apszeronu. Jeżeli porównamy ze sobą izohipsy spągu dolnej kredy i izohipsy stropu paleozoiku przekonamy się, że mapa strukturalna spągu dolnej kredy nie jest wiernym odbiciem struktury powierzchni paleozoiku. Struktura dolnej kredy jest znacznie łagodniejsza i oś jej w stosunku do grzbietu paleozoicznego jest nieco przesunięta w kierunku północno-wschodnim. Utwory trzeciorzędowe pokrywające kredę leżą na niej niezgodnie i zupełnie płasko. Tak więc pogrzebany grzbiet Ozek-Suat jest od strony powierzchni doskonale zamaskowany. Ropa naftowa została tu stwierdzona w utworach jury i dolnej kredy. Obecnie przemysł naftowy ZSRR prowadzi dalsze rozwiercanie struktury jak i również intensywne poszukiwania podobnych struktur na całym obszarze Tersko-Kumskiej równiny nad Morzem Kaspijskim.

b) Pogrzebane grzbiety związane z wyniosłością pochodzenia rafowego. Przed rokiem 1930 w światowych poszukiwaniach naftowych nie kładziono specjalnego nacisku na struktury geologiczne związane z rafami. Po roku 1930 a szczególnie w latach 1940 do 1950 odkryto w świecie wiele złóż ropy i gazu związanych z rafami. Obecnie są eksploatowane wielkie pola naftowe związane z rafami głównie w USA (Zachodni Teksas, Nowy Meksyk), Kanadzie (Alberta), ZSRR i innych krajach. Ropa naftowa gromadzi się w szczycie masywu rafowego

oraz niejednokrotnie w antyklinalnie ułożonych warstwach przykrywających rafę. Masyw rafowy starszy od skał otaczających i nadległych wyraźnie zaznacza się w paleogeografii i spełnia rolę analogiczną do tej jaką spełnia grzbiet morfologiczny pochodzenia erozyjnego. Warstwy pokrywające rafę z jednej strony są izolatorem w stosunku do przepuszczalnych utworów rafowych, z drugiej strony z powodu kompaktacji mogą one tworzyć nad rafą antyklinalne sklepienie, w którym przy odpowiednich warunkach może dojść do nagromadzenia się bituminów o znaczeniu przemysłowym.

Przykładem tego rodzaju złóż może być złoże North Snyder na rafie Scurry Snyder w Zachodnim Teksasie, USA, rys. 8, A. I. Levorsen — 1956. Roponośna rafa Scurry Snyder ciągnie się na przestrzeni 37 km na obszarze okręgu Scurry. Szerokość jej u podstawy waha się w granicach od 6 do 13 km. Rafa wieku cenion rozwinięta jest na wapieniach zaliczanych do pensylvanianu a otoczona ilami i łupkami z wkładkami piaskowców słabo scementowanych. Nad tym leżą wapienie z fauną permską. Pułapką i kolektorem dla ropy jest grzbiet rafy posiadający w nadkładzie nieprzepuszczalne ło-lupki. Słabo scementowane piaskowce znaj-



Rys. 9. Przekrój geologiczny. przez rafę El-Abra w Meksyku. Wg A. I. Levorsena — 1956 (*Geology of Petroleum*. San Francisco)

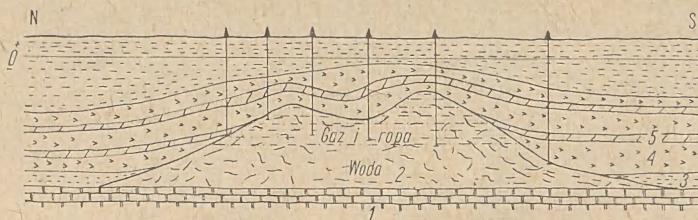
1 — Wapienie facji rafowej, 2 — Złóża ropy naftowej

dujące się w serii ilastej tworzą nad grzbietem rafy łagodną antyklinę ze śladami ropy. Antyklina ta powstała prawdopodobnie w wyniku kompaktacji osadów leżących nad rafą.

Złóża ropy naftowej związane z rafami są częstym zjawiskiem w Meksyku. Na rys. 9 przedstawiono złoże Golden-Lane, A. I. Levorsen — 1956. Znajduje się ono w wapiennej rafie El-Abra wieku środkowokredowego rozwiniętej na łagodnej antyklinie zbudowanej z utworów jurajskich. Rafa El-Abra formuje grzbiet ciągnący się na przestrzeni 80 km i szerokości około 1,5 km. Ten grzbiet rafowy jest w poprzecznym przekroju asymetryczny, jego skrzydło zachodnie jest bardziej strome, wschodnie zaś łagodniejsze. Ropa naftowa występuje tu w wapieniach w szczycie

rafi. Czynnikiem ekranującym są ilaste osady eocenu i dolnego oligocenu. Dotychczasowa produkcja złoża Golden-Lane wyniosła 150 mln m³ ropy. W kierunku południowo-zachodnim od pola Golden-Lane niespełna 15 km znajduje się młode pole naftowe Poza-Rica w wapieniach facji rafowej dolnej kredy. Zasoby tego pola oceniane są na 150 mln m³ ropy.

W ZSRR w przyuralskim rejonie naftowym znane są od dawna złoża ropy i gazu związane z pogrzebanymi grzbietami pochodzenia rafowego. W miejscowości Wierchnyje Czusowskije Gorodki jeszcze w roku 1929 prowadząc wiercenia za solą odkryto ropę naftową w wapieniach rafowych. Po wykonaniu dalszych wierceń doszło tu do rozpoznania wielkiego złoża ropy i gazu, rys. 10, A. W. Uljanow — 1955. Ropa naftowa



Rys. 10. Przekrój geologiczny przez złożo Iszimabajewo w Czusowskich Gorodkach. Przyuralski Okręg Naftowy, ZSRR. Wg A. W. Uljanowa — 1955 (*Geologija nieftiannyh i gazowych miestorożdenij*, Moskwa)

1 — Górny karbon — wapienie i dolomity. Perm; 2 — Diętro artyńskie — wapienie rafowe, 3 — Diętro kungurskie — osady ilaste, 4 — Diętro kungurskie gipsy, anhydryty i sole, 5 — Diętro kungurskie dolomity

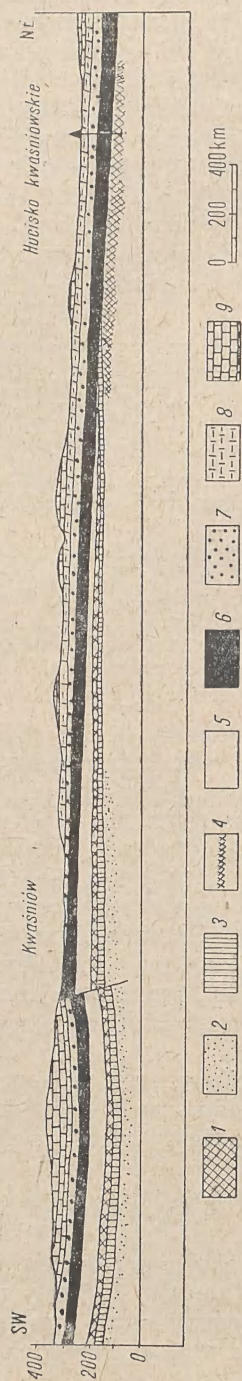
znajduje się tu w wierzchołkach pogrzebanych grzbietów pochodzenia rafowego zbudowanych z wapieni ramienionogo-mszywiolowych piętra artyńskiego. Złoża znajdują się tu na głębokości od 300 do 600 m pod powierzchnią ziemi, należą do złóż płytkich. W strukturze tej w nadległych nad pogrzebanymi grzbietami osadach ilastych z solami, gipsami i anhydrytami piętra kungurskiego zaznaczają się łagodne antyklinalne formy zapewne wytworzone przez kompakcję. Przy powierzchni osady ilaste leżą prawie zupełnie poziomo. Pomimo tego, że złożo to już dziś zostało prawie zupełnie wyczerpane i nie ma ono przemysłowego znaczenia jednak jego budowa jest wzorem dla rozpoznania innych złóż odkrytych w rejonie Wołgo-Uralskim; które dają dziś znaczną część produkcji naftowej ZSRR.

Pola naftowe związane z pogrzebanymi grzbietami pochodzenia rafowego są związane z pewnymi strefami w których istniały warunki do powstawania raf. Stąd też mają one ograniczone rozprzestrzenienie.

PRZYKŁADY POGRZEBANYCH GRZBIETÓW Z TERENU POLSKI

W geologii Polski pogrzebane grzbiety w pierwszym rzędzie związane są z wałem metakarpackim to jest według J. Nowaka — 1927³, równoleżnikową strefą wychodni skał paleozoicznych i mezozoicznych, których południową granicą jest pierwotny zasięg morskich utworów miocenu

³ J. Nowak, *Zarys tektoniki Polski*, Kraków 1927.



Rys. 11. Przekrój przez strukturę Kwaśniowa. Wg A. Tokarskiego — 1958 (Niepubl.)

1 — Dewon środkowy — dolomit, 2 — Piaszkowiec pstry środkowy, 3 — Ret — margle dolomityczne, 4 — Wapień muszlowy — warstwy gogolińskie, 5 — Wapień muszlowy — warstwy gorazdeckie, terebratulowe, karchowickie, dolomity kruszczonose, dolomity diploporowe, 6 — Kajper — ilowęgle i ily psre, 7 — dogger górny i newiz — wapienie, margle i ily, 8 — Argow — wapienie, 9 — Raurak — wapienie

przedkarpackiego. Granicę północną wału metakarpackiego tworzy południowy brzeg utworów lignitowych miocenu Polski Środkowej.

W związku z szeroką akcją wiertniczą prowadzoną od kilku lat na Ziemiach Polski są rozpoznawane struktury geologiczne typu pogrzebanych grzbietów, A. Tokarski — 1958 (*O typach struktur wału metakarpackiego*, Kwartalnik Geologiczny, tom 2, Warszawa), opisał kilka struktur noszących cechy pogrzebanych grzbietów znajdujących się w obrębie wału metakarpackiego. Są to struktury Rachowa, Rzejowic, Granic i wysad dewoński w Glinach koło Kluczy.

Z materiału geologicznego jaki został mi udostępniony przez Prof. A. Tokarskiego a opartego częściowo na pracach S. Z. Różyckiego i C. Nowak, z rejonu Ogrodzienca-Kwaśniowa wynika, że znajduje się tam pogrzebany grzbiet dewoński, rys. 11. Struktura Kwaśniowa leży w strefie izolowanych wychodni skał dewońskich ciągnących się od Dębника koło Krzeszowic w kierunku północno-zachodnim w stronę Klucz, Zawiercia



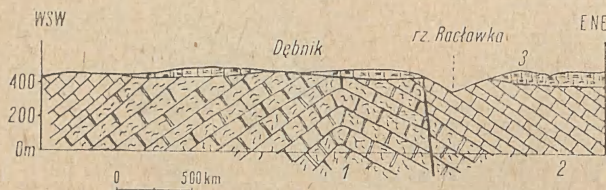
Rys. 12. Szkic rozmieszczenia wychodni dewonu na pogrzebanym grzbiecie Dębnicko-Siewierskim. Geologia wg St. Doktorowicza-Hrebnińskiego — 1955, uproszczona i uzupełniona przez autora (*Przeglądowa mapa geologiczna Polski*, ark. Kraków)

1 — Wychodnie dewonu, 2 — Karbon, 3 — Perm, 4 — Trias, 5 — Rów krzeszowicki, 6 — Ważniejsze uskoki, 7 — Otwory wiertnicze

i Siewierza na północno-wschodnim obrzeżeniu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. W tej strefie w różnych miejscach z pod pokrywy mezozoicznej wychodzą na powierzchnię utwory dewonu, rys. 12. Oprócz tego utworów dewonu z tej strefy znane są z wierceń. Jednym z takich punktów jest struktura Kwaśniowa. Utwory dewonu zostały nawiercone tu na

głębokości od 127 m do 135 m, (na której to głębokości wiercenie zatrzymano), jako dolomity szare i ciemne ze spękaniem i kawernami częściowo wypełnionymi kalcylem z drobnymi impregnacjami pirytowymi. Bezpośrednio nad dolomitami dewońskimi w wierceniu Hucisko Kwaśniowskie leżą psste ily kajpru z piaskowcami, zlepieńcami i wapieniem oolitycznym. W kierunku południowo-wschodnim od wiercenia w Hucisku Kwaśniowskim w stronę Kwaśniowa nad dolomitami dewońskimi rozwinęły się już inne ogniwa stratygraficzne, jak margle dolomityczne retu oraz wapień muszlowy. Tu dopiero nad tymi osadami leżą utwory kajpru. Tak więc idąc w poprzek struktury na południowy-wschód od kulminacji dewonu w Hucisku Kwaśniowskim na dewonie leżą coraz to inne ogniwa stratygraficzne. Mamy tu do czynienia z wyklinowaniem się poszczególnych serii osadów od skrzydła struktury do kulminacji pogrzebanego grzbietu. Struktura Kwaśniowa tworzy typowy pogrzebany grzbiet pochodzenia morfologicznego.

Przekrój struktury Kwaśniowa jest tylko jednym z poprzecznych przekroi strefy dębnicko-siewierskiej, która jako całość ma charakter pogrzebanego grzbietu. To regionalne wypiętrzenie morfologiczno-tektoniczne przykryte jest w różnych swoich częściach przez różne ogniwa stratygraficzne osadów młodszych. I tak np. w Dębniku, rys. 13, gdzie grzbiet



Rys. 13. Schematyczny przekrój geologiczny przez pogrzebany grzbiet w Dębnie

1 — Wapień i dolomity środkowego i górnego dewonu, 2 — Wapień węglowy, 3 — Piaski, zlepienie, margle i wapień — kelowej — oksford

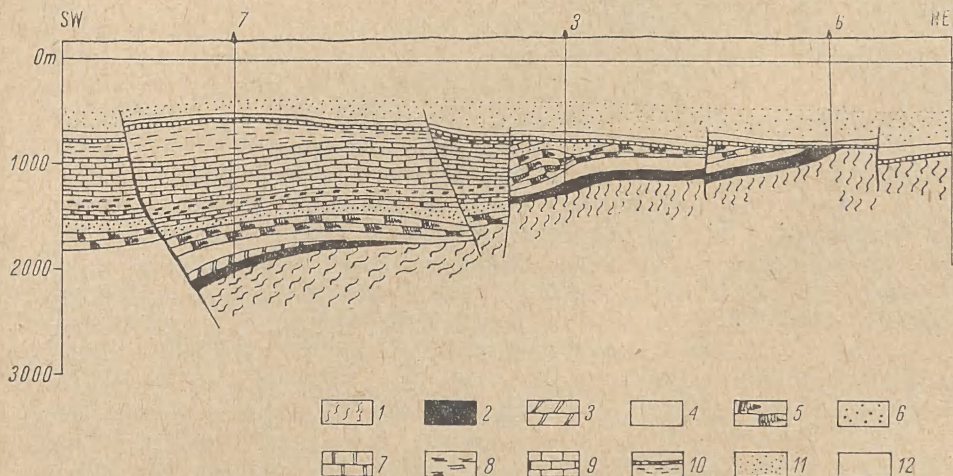
dewoński jest stosunkowo najlepiej poznanym dzięki licznym naturalnym odkrywkom i odsłonięciu go w kamieniołomie na jego kulminacyjnym wypiętrzeniu (kamieniołom główny), leżą piaskowce i zlepienie keloweju. Natomiast na skrzydłach tego grzbietu na dolomitach dewońskich leżą wapień dolnego karbonu. W innych miejscach grzbietu Dębnicko-Siewierskiego warunki układają się podobnie, z tym że pod jurą znajdują się jeszcze utwory triasu.

Grzbiet utworzony ze skał dewońskich i karbońskich reprezentuje fazę hercyńską zgodną z ogólnymi kierunkami fałdowań hercyńskich na naszych ziemiach. Miejscami w grzbiecie Dębnicko-Siewierskim struktury hercyńskie przebijają się przez nadkład mezozoiczny do dzisiejszej powierzchni. W całej tej strefie grzbietu Dębnicko-Siewierskiego znajdują się co prawda również formy tektoniczne przed lub po laramijskie o kierunkach zbliżonych do równoleżnikowych. Odziedziczyły one swoje kierunki prawdopodobnie od form hercyńskich podłoża.

Strefa pogrzebanego grzbieitu Dębnicko-Siewierskiego jest interesującą ze względu na możliwość akumulacji w niej węglowodorów. W dolomitach i wapieniach środkowego dewonu spotykane są znaczne nagromadzenia substancji bitumicznej. Prace poszukiwawcze winny tu objąć swym zasięgiem te części grzbieitu gdzie dewon jest przykryty. Wydaje się, że jednym z takich obszarów jest omówiony wyżej rejon Kwaśniowa.

Na Przedgórzu Karpat dzięki akcji poszukiwawczej Przemysłu Naftowego zostały ostatnio rozpoznane struktury wgłębne zbudowane z utworów mezozoicznych, paleozoicznych i przedkambryjskich. Niektóre z tych struktur mają charakter pogrzebanych grzbieitów.

Przykładem może być tu struktura Niwisk, rys. 14, która jest pogrzebanym grzbieitem typu morfologiczno-tektonicznego, ostatnio opracowywana przez A. Tokarskiego. Przedkambryjskie fylity tworzą tu trzon pogrzebanego grzbieitu. Nad nim ułożyło się transgresywnie bezpośrednie przykrycie pogrzebanego grzbieitu a to seria dewońsko dolno-karbońska. Dolny dewon to facja piaskowcowa z mułowco-ilastym wkładem u góry, który odpowiada serii plakodermowej. Środkowy i górny dewon wykształcony jest w formie dolomitów i wapieni. Pomiedzy dewonem i karbonem zaznacza się niezgodność fazy bretońskiej wyrażająca się nieraz w dość znacznym zerodowaniu utworów dewońskich i skrasowieniu stro-



Rys. 14. Przekrój geologiczny przez strukturę Niwisk. Wg A. Tokarskiego — 1959 (*Podmioceńska struktura Niwisk* — w oprac.)

1 — Prekambr, 2 — Dewon dolny, 3 — Dewon górny i środkowy, 4 — Wizen dolny, 5 — Wizen środkowy, 6 — Piaskowiec pstry, 7 — Wapień muszlowy, 8 — Kajper i retyk, 9 — Malm — niższa część, 10 — Torton dolny, 11 — Torton górny, 12 — Sarmat

powych skał węglanowych dewonu. Na dewonie leżą transgresywnie utwory detrytyczne dolnego wizeny a na nich utwory węglanowe środkowego wizeny. Nad karbonem w opisywanym przekroju struktury Niwisk zalega pstry piaskowiec w ułożeniu transgresywnym na ściętej powierzchni pohercyńskiej. Resztki utworów permskich w formie płatów zachowały się

w innych częściach struktury Niwisk. Na piaskowcu pstrym leżą utwory wapienia muszlowego rozwinętego tu w facji dolomityczno-wapiennej. Wyżej leży kompleks kajpru składający się z części dolnej ciemnoszarej mułowcowo-piaskowcowej i górnej w skład której wchodzi pstry pylity. Retyk reprezentowany jest przez czerwone piaskowce i wyżej leżące pstry pylity oraz brekcje. Kompleks kajpru i retyku ścięty jest przez wapienne utwory malmu z kelowem u dołu w południowo-zachodniej części omawianego przekroju, zaś przez utwory tortonu w północno-wschodniej części przekroju. Ilasto piaszczyste utwory tortonu i sarmatu dolnego tworzą kompleks wyższy zupełnie maskujący strukturę wgłębną.

W reprezentowanym przekroju przez strukturę Niwisk można wyróżnić cztery zasadnicze elementy. Są to: 1) przedkambryjski pogrzebany grzbiet, który w czasie przeddewońskim w paleomorfologii tego obszaru zaznaczał się jako wyniesienie morfologiczne; 2) bezpośrednia osłona pogrzebanego grzbietu składająca się ze skał dewońsko-karbońskich; 3) mezozoiczne pokrycie pogrzebanego grzbietu, które samo dla siebie tworzy pogrzebaną strukturę 4) mioceni nadkład zakrywający strukturę wgłębną jest on najwyższym elementem strukturalnym tego rejonu.

Objawy gazowo-ropne jakie uzyskano z głębszych elementów struktury Niwisk wskazują, że ten typ struktur jest obiecujący w poszukiwaniach na obszarze Przedgórze.

WZROST KRYSTAŁÓW PRZEDMIOTEM MIĘDZYNARODOWYCH
KONFERENCJI

Występujące w przyrodzie naturalne wielościanny wzrostu rozmaitych minerałów zwróciły na siebie uwagę jeszcze w zaraniu ludzkości. Gdy inne twory przyrodzone, jak zwierzęta i rośliny, drzewa i kamienie polne ograniczone są powierzchniami krzywymi, to płaskie ściany kryształów, ich połysk, przezroczystość, a czasem piękna barwa i znaczna twardość zwracały uwagę człowieka. Kryształom przypisywał człowiek moc nieziemską, używał ich jako amulety, klejnoty i ozdoby. Poszukiwał ich starannie, lecz przez czas dłuższy nie znajdował dla kryształów zastosowań użytkowych.

Początki zastosowania kryształów w technice są niedawne. Jeszcze w początkach bieżącego stulecia kryształy naturalne zaspokajały nieliczne potrzeby przemysłowe. Kryształy korundu Al_2O_3 , zwłaszcza jego odmian ozdobnych, jak rubinu i szafiru użyto na łożyska do zegarków, busoli, liczników elektrycznych itp. Rubinowe filiry znalazły zastosowanie do wyciągania grafitowych rdzeni do ołówków, a nawet do wyciągania drutów metalowych.

Znacznie praktyczniejsze i trwalsze są filiry diamentowe. Kryształy diamentu znajdują zastosowanie do obróbki szczególnie twardych stopów, hartowanej stali, do wiercenia twardych skał itp. Bez diamentu nie można wyobrazić sobie techniki współczesnej.

Kryształy kalcytu $CaCO_3$ zastosowano do budowy przyrządów polaryzujących do sacharymetrów, mikroskopów itd. Kryształy fluorytu CaF_2 , czystego i bezbarwnego, znalazły zastosowanie w budowie silnie powiększających achromatycznych obiektywów mikroskopowych oraz przyrządów i soczewek do spektrografów, szczególnie do prac w skrajnym nadfiolecie i w dalekiej podczerwieni.

Podobnie do celów optycznych używane są kryształy halitu $NaCl$ dzięki swej przezroczystości dla podczerwieni i kryształy kwarcu SiO_2 dzięki przezroczystości dla nadfioletu.

Kryształy kwarcu znalazły również zastosowanie w radiotechnice do stabilizacji długości fali stacji nadawczych, do utrzymywania łączności podmorskiej, do pomiaru głębokości morza i wykrywania przedmiotów znajdujących się w morzu, do budowy najdokładniejszych zegarów itp.

Wielkie zapotrzebowanie na kryształy doprowadziło do wyczerpania ich zasobów naturalnych na całym świecie; zwłaszcza podczas drugiej wojny światowej ujawnił się brak wielu kryształów naturalnych. Już w tym okresie, a szczególnie po zakończeniu wojny podjęto prace nad otrzymywaniem kryształów na skalę przemysłową. Prace te rozszerzają się w związku z rozwojem elektroniki i energetyki, automatyzacji i telemechaniki, optyki, obróbki tworzyw, budowy maszyn, przyrządów, mózgów elektronowych i sputników, które to dziedziny techniki stawiają coraz to nowe wymagania odnośnie do własności, stopnia czystości i wielkości kryształów.

Prace nad otrzymywaniem kryształów i dokładnym zbadaniem zjawisk wzrostu wiążą się ściśle z rozwojem krystalografii, mineralogii, chemii i metaloznawstwa; mają więc prócz praktycznego znaczenia, również doniosłe znaczenie teoretyczne. W okresie lat ostatnich notujemy szybki rozwój tych badań w krajach dbających o wzrost potencjału produkcyjnego.

Przed drugą wojną światową na techniczne otrzymywanie i stosowanie kryształów kładziono duży nacisk w Niemczech i w Japonii. Podczas wojny rozbudowują się badania w Anglii, Związku Radzieckim i w Stanach Zjednoczonych A. P. Współpraca angielsko-amerykańska, zapoczątkowana w czasie wojny, przetrwała do dziś. W Związku Radzieckim natomiast badania rozwijały się niezależnie.

Początkowo wyniki badań naukowych i naukowo-technicznych nie były publikowane. Stopniowo dała się odczuć potrzeba wymiany doświadczeń i spostrzeżeń. Dlatego zaczęto organizować konferencje poświęcone wyłącznie wzrostowi kryształów. Pierwsza wielka konferencja została zwołana w dniach 12—14.IV.1949 r. w Anglii, i odbyła się z udziałem przeszło 300 uczestników. Na tej konferencji rozważano: teorię wzrostu kryształów, powstawanie zarodków i wzrost, zmiany we wzroście kryształów, syntezę kryształów i jej aspekty techniczne, w przeszło 40 referatach i w licznych wypowiedziach dyskusyjnych.

Następna konferencja odbyła się w Cooperstown w Stanach Zjednoczonych w dniach 27—29.VIII.1958 r. Ta ostatnia konferencja była finansowana przez amerykańskie siły lotnicze oraz przez General Electric Co. Na konferencję zaproszono 50 specjalistów ze Stanów oraz 15 specjalistów zagranicznych z Anglii, Belgii i NRF.

Związek Radziecki zorganizował dwie tego rodzaju konferencje w Moskwie. Obie konferencje zostały zorganizowane przez Instytut Krystalografii AN ZSRR, pierwsza w dniach 5—10.III.1956 r., druga 23.III.—1.IV.1959 r.

W pierwszej konferencji wzięło udział 400 uczestników radzieckich i 2 gości z Czechosłowacji, a w drugiej — 600 uczonych radzieckich i 20 gości z Czechosłowacji, Bułgarii, Chin, Węgier, NRD i Polski. Z tego widać odmienną zasadę rekrutacji uczestników. O ile w krajach kapitalistycznych udział w konferencji ogranicza się ostatnio do niewielkiej liczby specjalistów, to w Związku Radzieckim organizatorzy starają się o jak najszerszy w nich udział zainteresowanych. Ekskluzywnym zjazdom na Zachodzie przeciwstawia się ekspansywne gromadzenie wszystkich, komu problem wzrostu kryształów jest bliski.

Materiały z konferencji są publikowane, co umożliwia orientację w tematyce. Liczba referatów wygłaszanych i dyskutowanych jest pokaźna. Na konferencji w Cooperstown wygłoszono 43 referaty. Na I moskiewskiej — 83 referaty, na II moskiewskiej — przeszło 100.

Celem I moskiewskiej konferencji było ogólne zapoznanie się z potrzebami tych działów fizyki, metalurgii, elektroniki i innych nauk technicznych, których postęp wiąże się z otrzymywaniem i stosowaniem dużych kryształów jednorodnych. Otrzymywanie takich kryształów wymaga z kolei wszechstronnego poznania zjawiska krystalizacji. Z 43 ogłoszonych drukiem (*Rost kristallow*, I t. 1957) referatów najwięcej dotyczy aparatury i sposobów otrzymywania kryształów. Spora ich grupa dotyczy doświadczalnych badań procesu krystalizacji; stosunkowo najmniej uwagi poświęcono teorii wzrostu kryształów.

Z okresu między konferencjami pochodzi II tom wydawnictwa *Rost kristallow*, zawierający głównie prace o aparaturze i otrzymywaniu kryształów, w tej liczbie interesującą monografię korundu.

Druga konferencja nie przyniosła zasadniczej zmiany w tematyce obrad, choć poczyniono poważne starania w kierunku rozszerzenia strony teoretycznej zagadnienia. Prócz uczonych radzieckich, interesujące referaty z dziedziny molekularnej teorii wzrostu kryształów wygłosili goście bułgarscy: Kaiszew i Bliznakow.

Z obrad konferencji wynikało, że teoria wzrostu kryształów nie nadąża za osiągnięciami doświadczalnymi. Osiągnięcia te dotyczą nie tylko otrzymywania kryształów o znanych własnościach, lecz w oparciu o krystalochemię pozwalają ustalić związki lub grupy związków perspektywiczne pod względem określonych własności. Na przykład dotychczas, bliżej poznano około 20 substancji wykazujących własności piezoelektryczne, z których około 10 substancji znalazło zastosowanie przemysłowe. Tymczasem jest cały szereg związków, które mogą wykazywać własności piezoelektryczne i mogą też znaleźć zastosowanie w technice. Trzeba tylko opracować sposoby ich krystalizacji i własności te zbadać na większych kryształach.

W uchwałach II konferencji wyraźnie podkreślono, że zakres prac z dziedziny wzrostu kryształów nie zaspokaja jeszcze potrzeb Związku Radzieckiego; dlatego zaproponowano:

1. Utworzenie kolektywów zdolnych do twórczej pracy naukowej, jednoczących fizyków, chemików, fizykochemików, mineralogów i przedstawicieli nauk technicznych o wysokich kwalifikacjach oraz zapewnienie tym kolektywom najkorzystniejszych warunków pracy.

2. Kształcenie kadry naukowców w dziedzinie wzrostu kryształów przez:

- a) rozszerzenie i pogłębienie zasadniczego przygotowania specjalistów przy katedrach krystalografii, krystalochemii i fizyki kryształów na trzech wytypowanych uniwersytetach. Na tychże uczelniach należy rozszerzyć bazę doświadczalną przez utworzenie współczesnych pracowni syntezy kryształów i ich badania.

- b) zwiększenie liczby aspirantów przyjmowanych do Instytutu Krystalografii AN.

3. Ożywienie działalności wydawniczej w dziedzinie wzrostu kryształów przez szybkie i tanie wydawanie prac radzieckich i tłumaczeń.

4. Produkcję typowej aparatury do otrzymywania kryształów.

5. Umocnienie współpracy z krajami demokracji ludowych.

6. Utworzenie nagrody imienia Wulfa za wybitne prace z dziedziny wzrostu kryształów.

7. Zorganizowanie następnej konferencji w 1962 r.

Na tle osiągnięć i planów zagranicznych nader skromnie przedstawia się polska rzeczywistość. Brak bowiem publikacji z dziedziny wzrostu kryształów, niewiele też dzieje się w pracowniach badawczych. Przemysł nie wyszedł jeszcze poza próby i korzystanie z kryształów importowanych. Nawet plany perspektywiczne na najbliższe 17 lat nie przewidują istotnego polepszenia tego stanu rzeczy.

Oczywiście w dziedzinie otrzymywania kryształów nie możemy wzorować się na mocarstwach, jak np. Związku Radzieckim, lecz Belgia czy Czechosłowacja dają przykład możliwy do naśladowania w naszych warunkach. W Czechosłowacji czynny jest ośrodek w Turnowie, zajmujący się przede wszystkim syntezą korundu do celów zdobniczych i technicznych, a ponadto wprowadza się tam produkcję wielu innych kryształów.

Już samo śledzenie postępu badań nad wzrostem kryształów bywa niekiedy fascynujące, zwłaszcza współzawodnictwo w tej dziedzinie pomiędzy Wschodem a Zachodem. Każde posunięcie jednej strony wywołuje żywą reakcję drugiej, utrzymaną w formach najzupełniej poprawnych. Gdy AN ZSRR opublikowała zbiór 43 referatów z I Konferencji, w ciągu kilku tygodni amerykańskie przedsiębiorstwo

dokumentacyjne Consultants Bureau Inc. w Nowym Jorku sporządziło przekład angielski, a w kilka miesięcy później odbyła się wzmiankowana konferencja w Cooperstown. Liczba referatów opublikowanych z tej konferencji (*Growth and Perfection of Crystals*) wynosi — nie wiadomo, przypadkowo czy też celowo — również 43 referaty.

Przez szereg lat najważniejsze prace ogłaszane na Zachodzie z dziedziny wzrostu kryształów były tłumaczone na rosyjski i wydawane jako *Sborniki statiej*. Obecnie wspomniane Consultants Bureau wydaje tłumaczenia prac rosyjskich z tej dziedziny wykonane w technice offsetowej.

Współzawodnictwo dotyczy nie tylko formy publikacji, lecz i ich treści. Analiza tego wykroczyłaby jednak poza ramy krótkiego sprawozdania. Pozostawiam ją czytelnikom również z tego powodu, iż być może już samo zapoznanie się z pracami wykonanymi dotychczas zachęci kogoś do porzucenia biernej roli obserwatora i skłoni do włączenia się w nurt tej dyscypliny rozwijającej się w sposób gwałtowny.

W badaniu i w obróbce kryształów poważną rolę mają badania rentgenostrukturalne. Metoda Lauego pozwala w łatwy sposób stwierdzić, czy mamy do czynienia z kryształem pojedynczym, ponadto często bywa stosowana do określania kierunku, w jakim kryształ ma zostać pocięty do obróbki. Metoda Lauego jest na przykład bardzo przydatna przy cięciu gruszek korundu syntetycznego.

Do określania orientacji płytek piezokwarcowych zastosowano jeszcze przed kilkunastu laty spektrometr rentgenowski z licznikiem Geigera. Wszakże najciekawsze prace dotyczą badania kryształów mieszanych oraz przemian fazowych.

Wreszcie znalazło tu zastosowanie precyzyjne oznaczanie stałych sieciowych. Frank-Kamieniecki na II Konferencji Moskiewskiej referował opracowaną metodę, która pozwalała określać stałe sieciowe kwarcu z dokładnością 0,00 02 kX. Wykazał tą drogą, że drobne domieszki Al i Fe powiększają parametry sieciowe w kryształach syntetycznych: a o 0,00 12, c o 0,00 16 kX.

Badania wzrostu kryształów ułatwia powszechnie stosowana fotografia i kinematografia mikroskopowa. Szeroko też używany bywa mikroskop elektronowy. Jeżeli uwzględnimy ponadto poważne potrzeby w zakresie aparatury do syntezy kryształów, to dojdziemy do wniosku, że postępu badań nad wzrostem kryształów nie da się osiągnąć ubocznie, na marginesie innych badań lub w drodze partyzantki naukowej.

Wszechstronne wyposażenie techniczne i materiałowe, współpraca specjalistów nauk pokrewnych i podstawowych stają się możliwe jedynie w większych jednostkach organizacyjnych. Taką jednostką jest Instytut Krytalografii AN ZSRR, odpowiedzialny organizator badań naukowych również w dziedzinie wzrostu kryształów. Prócz badań ogólnych nad tworzeniem się i wzrostem kryształów, w Instytucie prowadzono przez szereg lat prace nad udoskonaleniem aparatury do syntezy rubinu i to zarówno w znanej już postaci gruszek, jak i w postaci cienkich prętów dogodniejszych do cięcia i obróbki. Innym zagadnieniem, podjętym i rozwiązany przez Instytut, była hydrotermalna synteza kwarcu pod ciśnieniem rzędu 1000 atmosfer.

Metody otrzymywania kryształów opracowane w tym Instytucie są przekazywane bądź bezpośrednio do przemysłu, bądź też do instytucji branżowych, afiliowanych w pewnym stopniu przy Instytucie Krytalografii. Należy tu Centralne Laboratorium Piezotechniki i Instytut Surowca Piezooptycznego. Owa jednak rozbudowana organizacja, zatrudniająca w każdej instytucji setki wykwalifikowanych specjali-

stów, nie zaspokaja jeszcze w pełni potrzeb przemysłu radzieckiego. Z tego wszystkiego wynika, że kryształy zasługują na więcej uwagi niż poświęcaliśmy im dotychczas, w pewnym bowiem zakresie decydują one o postępie kultury materialnej i przemysłu.

Antoni Laszkiewicz

II KONFERENCJA NAUKOWA INSTYTUTÓW NAFTOWYCH POLSKI, CZECHOSŁOWACJI I WĘGIER, POŚWIĘCONA ZAGADNIENIOM GEOCHEMII I MIKROBIOLOGII NAFTOWEJ ORAZ CHEMII STOSOWANEJ W KOPALNICTWIE NAFTOWYM

W dniach od 30 listopada do 5 grudnia 1959 odbywały się w Instytucie Naftowym w Krakowie obrady w ramach II Konferencji Naukowej instytutów naftowych Polski, Czechosłowacji i Węgier z udziałem przedstawicieli instytutów naftowych Związku Radzieckiego, Niemieckiej Republiki Demokratycznej oraz Francuskiego Instytutu Naftowego.

Pierwszą tego rodzaju konferencję zwołano w październiku 1957 w Brnie. Myśl organizowania tych konferencji powstała w wyniku bezpośrednich kontaktów pracowników naukowych wyżej wspomnianych instytutów-organizatorów, w celu wymiany wzajemnej doświadczeń uzyskanych w jednej z najmłodszych dotychczas gałęzi nauki i techniki, jaką jest geochemia naftowa. Tak zwane geochemiczne metody poszukiwawcze zainicjowane w latach 1932 w ZSRR i Niemczech rozwijały się do okresu ostatniej wojny światowej praktycznie tylko w ZSRR. Dopiero po wojnie zaczyna się zaznaczać rozwój tych metod w innych krajach a między innymi w Polsce (1949), w Czechosłowacji (1951), na Węgrzech (1953).

II Konferencja Naukowa w Krakowie zgromadziła 109 uczestników, w tym 29 przedstawicieli nauki i techniki z krajów demokracji ludowej i Francji. Organizatorzy Konferencji, tj. Instytuty Polski, Czechosłowacji i Węgier oraz przedstawiciele instytutów zaproszonych z pozostałych krajów, wygłosili łącznie 41 referatów i komunikatów. Podobnie jak i w czasie I Konferencji w Brnie tematyka obrad została rozszerzona i oprócz zagadnień geochemicznych i geomikrobiologicznych, wprowadzono również zagadnienia chemii stosowanej w kopalnictwie naftowym. Dlatego też obrady prowadzono w dwu odrębnych sekcjach, z których sekcja geochemii i geomikrobiologii stanowiła zasadniczy trzon obrad.

Spomiędzy wygłoszonych referatów na szczególną uwagę zasługują trzy obszernie referaty naukowców radzieckich z tego powodu, że obrazują one całokształt zagadnień geochemicznych opracowywanych współcześnie w ZSRR.

W pierwszym z nich prof. M. F. Dwali z Instytutu Naftowego w Leningradzie, omówił: *Kierunki i zadania badań geochemicznych w geologii naftowej*. Referent dzieli badania geochemiczne stosowane w geologii naftowej na trzy zasadnicze kierunki:

- 1) geochemię poszukiwawczą w celu wydzielenia obszarów i pojedynczych struktur pod kątem widzenia ich perspektywności dla lokalizacji wierceń poszukiwawczych (jako uzupełnienie danych geologicznych i geofizycznych).

- 2) badania geochemiczne (zalicza się tutaj również i wszelkiego rodzaju badania radiometryczne) w trakcie prac poszukiwawczych — w tym etapie prac, kiedy złożo zostało już znalezione a wiercenia poszukiwawczo-kontrolujące mają je przygotować do rozpoczęcia wierceń eksploatacyjnych.

3) badania geochemiczne w kompleksie prac poszukiwawczych dla oceny perspektyw roponośności rejonów z nieokreśloną jeszcze wartością przemysłową.

Autor kładzie główny nacisk na podstawy teoretyczne, które stosuje się przy ocenie roponośności. Uważa przy tym, że dla opracowania właściwych, trwałych podstaw, niezbędne jest uwzględnienie w badaniach geochemicznych wszystkich ogniw złożonego układu, jakim jest: ropa — gaz — substancja organiczna w skałach — woda skała. W swym obszernym referacie autor omawia niektóre wyniki badań wspomnianego wyżej zespołu geochemicznego, przeprowadzonych ostatnio w ZSRR.

Zbliżony do powyższego referatu temat poruszył doc. dr J. J. Głogoczowski z Instytutu Naftowego w Krakowie omawiając zagadnienie: *Możliwości określania warunków fizyko-chemicznych środowiska sedymentacji na podstawie badań geochemicznych*. Referent uważa, że dla oceny warunków fizyko-chemicznych środowiska sedymentacji, pod kątem widzenia ich roponośności, konieczną jest znajomość następujących wskaźników geochemicznych: różne formy żelaza (Fe^{2+} , Fe^{3+} , Fe_s , Fe_{calc}), potencjał utleniająco-redukcyjny, siarka wolna, siarczany, węgiel organiczny, bituminy i kwasy humusowe. W dalszej części swego referatu autor przytacza dwa przykłady wykorzystania tej metody dla oceny środowiska sedymentacji (rejony Radomsko i Barycz).

W drugim z referatów radzieckich N. I. Jeremienko z Instytutu Naftowego w Moskwie przedstawił: *Niektóre wyniki badań geochemicznych WNIGNI w zakresie pochodzenia ropy naftowej*. Szczególnie szeroko omówił referent wyniki badań nad zagadnieniem przemian, jakie zachodzą w substancji organicznej w osadach mórz współczesnych aż do osadów paleogenu włącznie. Tak np. stwierdzono doświadczalnie, że substancja organiczna występująca w osadach współczesnych lub czwartorzędowych w środowisku redukcyjnym ulega zmianom analogicznym do powstawania ropy naftowej. Uważa się, że substancja organiczna stanowi wraz z całym zespołem skalnym ściśle związany kompleks, warunkujący nie tylko kierunek przemian tej substancji organicznej, ale także substancja organiczna wywiera wpływ na przemiany chemiczne zespołu mineralnego.

Trzeci z referentów G. A. Mogilewski z Instytutu Naftowego w Moskwie przedstawił: *Niektóre prawidłowości w rozmieszczeniu gazów ziemnych i mikroorganizmów w rejonie złóż ropnych i gazowych zachodniej Baszkirii i północno-zachodniego Przekaukazia*. Autor jest twórcą tzw. metody zdjęć biologiczno-gazowych, stosowanych dla poszukiwania złóż ropy i gazu. Długoletnie prace zespołu współpracującego z autorem pozwalają na stwierdzenie, że bakterie utleniające propan oraz węglowodory ciężkie znajdujące w wodach wglębnych (górny horyzont wód) stanowią charakterystyczny wskaźnik występowania złóż ropy i gazu w głębi ziemi. Referent przytoczył również bardzo ciekawe wyniki doświadczeń, z których wysnuwa wniosek, że obecność bakterii utleniających węglowodory gazowe wywiera zasadniczy wpływ na dyfuzję tych węglowodorów poprzez warstwy skalne.

Zagadnienia mikrobiologii naftowej przedstawili w swych komunikatach: dr S. Járányi z Budapesztu, który przedstawił: *Badania nad pochodzeniem bituminów w glebie*, oraz mgr J. Karaskiewicz z Krakowa który przedstawił: *Przegląd prac Zakładu Geochemii IN w zakresie badań mikrobiologicznych*. Podobną tematykę poruszał komunikat dr M. Dostalek z Brna O możliwości stwierdzania ciągłości złoża ropnego przy pomocy mikroorganizmów.

Osobną grupę tematów stanowiły zagadnienia hydrogeochemiczne, mianowicie:

O geochemii wód węglanych oraz skał osadowych malej niziny naddunajskiej mówił inż. M. Michaliček z Brna, który przedstawił również referat O hydrogeochemicznych badaniach powierzchniowych fliszu wschodnio-słowackiego oraz faldów dukielsko-użockich.

Mgr J. Gumułka z Krakowa przedstawiła obszerną pracę: O perspektywach roponośności Pomorza w świetle badań hydrogeochemicznych. Rejon badań obejmował ponad 12000 km² między Wisłą, Notecią, wybrzeżem morskim a Koszalinem. Aspekty geologiczne tego problemu przedstawił inż. J. Strzetelski.

Prof. dr A. Tokarski przedstawił *Strukturalne podstawy prac hydrogeochemicznych w jednostce magurskiej*. Pozostałe referaty i komunikaty dotyczyły zagadnień związku anomalii geochemicznych występujących na powierzchni ziemi ze złożem (dr L. Stegena z Budapesztu) oraz strony analitycznej metod geochemicznych (A. Gedeon i G. Roschak z Budapesztu).

Ciekawe referaty wygłosili jeszcze Dr L. Graf z Nagykanizsa (Węgry) *Geneza i pokrewieństwo rop węgierskich Transdanubii*, mgr J. Złotnicka z Krakowa *Możliwości wykorzystania składu jakościowego pierwiastków śladowych popiołów rop dla korelacji horyzontów ropnych*, inż. J. Tańar z Budapesztu, który przedstawił *Wyniki badań radiometrycznych wykonanych na Węgrzech*.

Biorąc pod uwagę tematykę wygłoszonych na II Konferencji referatów daje się zauważyć wzrost zainteresowania zagadnieniami podstawowymi: głównie warunkami genezy rop i bituminów oraz migracji produktów przemiany substancji organicznej w środowisku skalnym. Mniejszy był natomiast udział tematów omawiających geochemiczne metody poszukiwawcze, jak: zdjęcia powierzchniowe gazowe hydrogeochemiczne, bitumiczne i inne. Zaznacza się pewnego rodzaju wypełnianie istniejącej dotychczas luki pomiędzy stosowanymi już w praktyce przemysłowej zdjęciami powierzchniowymi a geochemią środowiska skalnego, w którym powstaje i ulega przemianom ropa naftowa.

W sekcji chemii stosowanej w kopalnictwie naftowym tematem referatów były zagadnienia: cementów, płuczki wiertniczej, hydraulicznego szczelinowania po kładów, wtórne metody eksploatacji itp.

Poza obradami przewidzianymi programem zajęć uczestnicy Konferencji prowadzili ożywioną dyskusję na terenie Zakładu Geochemii, w czasie zwiedzania laboratoriów.

Po zakończeniu obrad uczestnicy konferencji wzięli udział w wycieczkach do nowo odkrytych pól naftowych i gazowych w rejonie Dąbrowy Tarnowskiej.

J. J. Głogoczowski

N. A. Dobrotin — *Promieniowanie kosmiczne*, Warszawa 1958, Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Tłum. z jęz. rosyjskiego Helena Hofmokl.

Recenzent polskiego wydania książki Dobrotina *Promieniowanie kosmiczne* znajduje się w dość kłopotliwej sytuacji. Zważywszy: książka ta ukazała się w r. 1954 w ZSRR, zasadniczy więc jej tekst pochodzi co najmniej sprzed 6 lat. Wydanie polskie ukazało się w cztery lata później (!), a więc gdy książka w znacznej swej części poważnie się zdeaktualizowała. Recenzja ta zaś z kolei powstaje z półtorarocznym opóźnieniem, co jeszcze bardziej w oczach recenzenta musi wyjaskrawić pewne jawne anachronizmy zawarte w omawianej pozycji. Dokonajmy jednak pobieżnego choćby przeglądu książki Dobrotina.

Zawartość tę można podzielić na trzy zasadnicze części. Pierwsza z nich (obejmująca pierwszy rozdział książki pt. „Ogólna charakterystyka podstawowych własności promieniowania kosmicznego”) poświęcona jest omówieniu prehistorii badań nad promieniami kosmicznymi oraz pewnych o nich podstawowych wiadomości. Ma ona więc charakter historyczno-informacyjny i z tego też tytułu najmniej się może do dziś zestarzać.

Druga część pracy mogłaby obejmować rozdziały od drugiego do siódmego. Rozdziały II—IV zawierają omówienie dalszych podstawowych własności promieniowania kosmicznego, przy czym jednak autor wyraźnie już tu wiedzie nas w kierunku tego, co dziś nazwalibyśmy fizyką cząstek elementarnych. Rozumiem przez to, że wiele miejsca poświęca się tu pewnym zagadnieniom, które nie są charakterystyczne, właśnie dla cząstek wchodzących w skład promieniowania kosmicznego, i jako takie rozważanych lecz po prostu dla wszelkich cząstek szybko się poruszających. Chodzi tu więc raczej nie o zjawiska typowe dla promieni kosmicznych, lecz o własności indywidualnych cząstek, jakie się w tym promieniowaniu znajdują. Rozważania tego rodzaju rosną w miarę posuwania się w głąb książki: rozdział V poświęcony jest mezonom μ , rozdział VI pewnym metodom eksperymentalnym badania cząstek elementarnych, wreszcie rozdział VII po prostu „Cząstkom elementarnym różnych typów i ich własnościom”. O umieszczeniu tego rodzaju materiału w książce o promieniach kosmicznych trudno mieć oczywiście pretensję do autora. Z pewnego punktu widzenia fizyka cząstek elementarnych stanowi główną bazę pojęciową fizyki promieni kosmicznych, podobnie np. jak stanowi ją dla fizyki jądra atomowego. Pewne partie materiału zawartego w książce są jednak chyba bardzo luźno związane z problematyką charakterystyczną dla fizyki promieni kosmicznych (np. partie poświęcone omówieniu ciężkich mezonów i hiperonów). Nie w tym jednak rzecz. Gorzej że partie te są — postępując od rozdziału V do VII — coraz bardziej przestarzałe, zarówno od strony eksperymentalnej, gdzie brak omówienia pewnych, obecnie bardzo ważnych i popularnych metod badawczych (nie ma np. żadnej wzmianki o komorach pęcherzykowych) jak też i od strony teoretycznej. Nie chcę przez to wmawiać w autora, że powinien swą książkę bardziej zmatematyzować, bo to pewnie miałyby się z jego zamiarami. Jednakże

pewne fenomenologiczne zasady, które rzucają przecież nieco światła na najbardziej podstawowe zagadnienia cząstek elementarnych powinny się chyba znaleźć w jego książce. I tu znów recenzent musi się znaleźć w kłopotcie, skoro bowiem uważa, że tego rodzaju problemy nie są wcale charakterystyczne dla fizyki promieni kosmicznych, i że w ogóle (na dobrą sprawę) nie należą do tematu, to można je było całkiem pominąć. Nie sposób jednak zaznaczyć, że pewne istotne z punktu widzenia promieni kosmicznych zagadnienia (dotyczące szczególnie oddziaływania mezonów π z materią jądrową) są już obecnie zupełnie zdeaktualizowane i brzmią w ujęciu Dobrotina archaicznie. Wypada tu mieć pretensję do autora, że przynajmniej nie opatrzył tej części książki szeregiem przypisów, które by mogły jej treść bardziej uaktualnić, skoro z jakichś względów nie można było jej od nowa dla polskiego wydania napisać. Wystarczy tu powiedzieć, że informacje zawarte w starych już przecież „Mezons and Fields“ Bethego i Hoffmanna są w porównaniu z Dobrotinem nowościami naukowymi.

Trzecia część książki zawiera wreszcie fizykę promieni kosmicznych. Mowa tu o takich rzeczach, jak pierwotne promieniowanie kosmiczne i efekty geomagnetyczne (rozdział VIII), jak wielkie pęki powietrza (rozdział IX), pęki elektronowo-jądrowe i ogólny obraz procesów zachodzących przy przechodzeniu promieni kosmicznych przez atmosferę (rozdział X), a wreszcie pasjonujące zagadnienie pochodzenia promieni kosmicznych (rozdział XI). I tu pewne partie książki wyraźnie się zestarzały (szczególnie problem zderzeń najwyższej energii), ale autor starał się tę część swej książki uaktualnić opatrując ją szeregiem przypisów. Przypisy te nie pozwalają wprawdzie na wyrobienie sobie zwartego i systematycznego poglądu na współczesny stan badań w tej dziedzinie, lecz przynajmniej nie zostawiają czytelnika przy problemach sprzed 6–7 lat.

W całości książka Dobrotina jest pozycją niewątpliwie pożyteczną. Jest ona napisana przystępnie, ujmując rzecz „od jajka“, może więc służyć (przy wszystkich zastrzeżeniach) jako wprowadzenie do fizyki promieni kosmicznych. Na polskim bezrybiu wydawniczym stanowi więc ona przysłowiowego raka. Autor wykazuje bowiem w wielu wypadkach głęboką znajomość tematu, popartą chyba własną pracą badawczą. Niekiedy jednak gubi się w szczegółach, przez co nie uwypukla się dostatecznie zasadniczy zrab danego problemu.

Względna dawność książki Dobrotina ma jeszcze inną konsekwencję, dość zresztą nieoczekiwaną. Książka ta bowiem pisana była w dawnych dobrych czasach, kiedy istniała jeszcze Przodująca Nauka i Przodujący Uczeń, i kiedy trzeba było Walczyć i Przewycięzać. Autor z zadania tego wywiązuje się bez zarzutu, choć przyznać trzeba, że stanowisko jego nie jest jeszcze zbyt zasadnicze. Dlatego tylko niekiedy, niekiedy mógłby być irytujący, gdybyśmy nie zdawali sobie sprawy ze specyficznej atmosfery, w której ową książkę pisał.

Tłumaczenie polskie książki Dobrotina jest w zasadzie — jak na potrzeby tej publikacji — zupełnie poprawne, szczególnie na tle całego szeregu innych tłumaczeń PWN (straszny Landau i Smorodinski).

Grzegorz Białkowski

SPIS TREŚCI

Elliot W. Montroll — Sto lat mechaniki statystycznej	87
Józef Werle — O narodzinach i śmierci cząstek elementarnych	95
Bolesław Gomółka — Księżyc	101
Andrzej Deloff — Antymateria	117
Marian Książkiewicz — Geologia morza na I Międzynarodowym Kongresie Oceanograficznym	127
Roman Ney — Pogrzebane grzbiety w geologii naftowej	143

KRONIKA NAUKOWA

Antoni Łaszkiewicz — Wzrost kryształów przedmiotem międzynarodowych konferencji	159
Jan J. Głogoczowski — II Konferencja naukowa instytutów naftowych Polski, Czechosłowacji i Węgier, poświęcona zagadnieniom geochemii i mikro- biologii naftowej oraz chemii stosowanej w kopalnictwie naftowym . . .	163

RECENZJE

Grzegorz Białkowski — N. A. Dobrotin — Promieniowanie kosmiczne . . .	167
---	-----

WSZECHŚWIAT

Bogato ilustrowany miesięcznik. Najstarsze polskie czasopismo wychodzące od roku 1882. W artykułach popularnonaukowych omawia zagadnienia z zakresu:

- biologii, medycyny, rolnictwa, leśnictwa,
- przyrody nieożywionej, głównie astronomii, nauk o Ziemi oraz współczesnej fizyki i chemii.

Zamówienia na prenumeratę przyjmują:

- oddziały i delegatury „Ruchu“
- urzędy pocztowe i listonosze
- Przedsiębiorstwo Upowszechnienia Prasy i Książki „Ruch“, Kraków, ul. Worcella 6. konto PKO nr 4-6-777.

Cena prenumeraty rocznej zł 72,—

**Warunki prenumeraty czasopisma pt.
KOSMOS Seria B — Kwartalnik**

Cena w prenumeracie zł 60,— rocznie, 30,— półrocznie

Zamówienia i wpłaty przyjmują:

1. Centrala Kolportażu Prasy i Wydawnictw „Ruch“, Warszawa, ul. Srebrna 12, konto PKO Nr I-6-100.020.
2. Urzędy pocztowe.

Prenumerata ze zleceniem wysyłki za granicę 40% drożej. Zamówienia dla zagranicy przyjmuje Przedsiębiorstwo Kolportażu Wydawnictw Zagranicznych „Ruch“, Warszawa, ul. Wilcza 46, konto PKO Nr I-6-100.024.

Bieżące numery do nabycia w księgarniach naukowych „Dom Książki“ oraz w Ośrodku Rozpowszechniania Wydawnictw Naukowych Polskiej Akademii Nauk — Wzorcownia Wydawnictw Naukowych PAN — Ossolineum — PWN, Warszawa, Pałac Kultury i Nauki (wysoki parter).

Cena zł 15.—