

ROCZNIK LXVI.

1948.

ZESZYT 1.

KOSMOS

Seria B.

PRZEGLĄD ZAGADNIENÍ NAUKOWYCH

WYDANO Z ZASIĘKU MINISTERSTWA OŚWIATY

W T O R U N I U

WYDAWCA: POLSKIE TOWARZYSTWO PRZYRODNICZE
IM. KOPERNIKA

Spis treści:

	Str.
Józef Witkowski: Zagadnienie Życia w świetle nowoczesnej Fizyki i Chemii	1
Henryk Szański: Pochodzenie płazów	21
Jadwiga Ackermannówna: Gruczoły jadowe i jady zwierzęce	49

Adres redakcji: Toruń, ul. Sienkiewicza 30/32.

Redagują: Prof. Dr Edward Passendorfer, Prof. Dr Jan Zabłocki

KOSMOS

CZASOPISMO POLSKIEGO TOWARZYSTWA PRZYRODNIKÓW IM. KOPERNIKA

Seria B

PRZEGLĄD ZAGADNIENIŃ NAUKOWYCH

POD REDAKCJĄ E. PASSENDORFERA I J. ZABŁOCKIEGO

ROCZNIK LXVI

ROK 1948

ZESZYT 1.

JÓZEF WITKOWSKI (POZNAŃ)

Zagadnienie Życia w świetle nowoczesnej Fizyki i Chemii

(odczyt wygłoszony na posiedzeniu Pol. Tow. Przyrodników im. Kopernika
w Poznaniu w dniu 28 stycznia 1947 r.)

Procesy biologiczne są niezmiernie zawile. Nie możemy po dziś dzień odpowiedzieć na zasadnicze pytanie, czy materia żywa podlega osobnym prawom, czy też życie sprowadza się bez reszty do zjawisk fizyko-chemicznych?

Rozwiązanie tego pytania zaczęto od strony fizyko-chemicznej. Wobec nieustannego szybkiego rozwoju fizyki i chemii, prace są wciąż jeszcze w toku, ale próby syntezy i to poczynione przez wybitnych fizyków, jak Jordan, Schrödinger, Delbrück i inni, już istnieją.

To, o czym tu będzie mowa stanowi przeważnie reminiscencje z odczytu Erwina Schröedinger'a, wygłoszonego w Zürichu we wrześniu 1946 r. (Uzupełnienia: Schröedinger „What is Life“, Z. v. Bertalanffy, Jordan i inni).¹

¹ Za niektóre poglądy dotyczące makrostruktury organizmu oraz za końcowe rozważania odpowiedzialność ponosi autor.

Organizm żywy może być rozpatrywany z dwojakiego punktu widzenia: mikrokosmicznego i makrokosmicznego.

W pierwszym przypadku obowiązują prawa fizyki kwantowej z jej indeterministycznym podłożem. W odniesieniu do biologii, w szczególności do genetyki, otrzymujemy nowe oświetlenie procesów życiowych, tzw. biologię kwantową, rozpatrującą subtelą strukturę materii żywej. Ustala ona łączność pomiędzy światem molekuł a komórką żywą, za czym zdają się przemawiać krystaliczne formy virusów (Stanley Wyckoff). W przypadkowości statystycznej szuka ona rozwiązania dziedziczności, ewolucji form, wolnej woli.

Organizm, jako makrostruktura podlega niezłomnym prawom fizyki i chemii i z punktu widzenia niektórych procesów życiowych, może być rozpatrywany, jako mechanizm. Rzeczą fizyki jest wskazać zasady funkcjonowania takiego mechanizmu biologicznego.

Rozpatrzmy kolejno oba te poglądy.

Dzięki pracom biologów i genetyków wiemy już tyle o materialnej strukturze i funkcjach organizmów żywych, że możemy odpowiedzieć na pytanie, dlaczego dzisiejsza fizyka i chemia nie są w stanie wyjaśnić przestrzenno - czasowych procesów zachodzących w organizmie.

Ugrupowania atomów oraz ich wzajemne oddziaływania w żywym organizmie różnią się zasadniczo od tych zespołów atomowych, które są przedmiotem badań chemika i fizyka. Prawa tam występujące mają charakter statystyczny; ich zakres działania rozciąga się na zespoły atomów martwej materii, nie sięga jednak w dziedzinę struktury materii żywej. Najważniejszą częścią komórki żywej jest nitka chromosomowa, którą Schroedinger ujmuje, jako kryształ aperiodyczny. Pomiedzy nim a kryształem zwykłym, periodycznym, tym fascynującym i skomplikowanym tworem martwej przyrody, istnieje obrazowo taka różnica, jak pomiędzy monotennie powtarzającym się wzorem ściennej tapety, a gobelinem Rafaela, zachwycającym widza przepychem barw, śmiałością rysunku i głęboością artystycznego ujęcia. Bliżej podszedł do kry-

sztatu aperiodycznego chemik-organik, który w swych badaniach napotyka coraz bardziej skomplikowane struktury drobinowe.

Popełniliśmy błąd ciekawości, odsłaniając jedną z ostatnich konkluzyj, do których dochodzi fizyk w swych rozważaniach nad żywą materią. Pozostaje nam przeto odbyć wraz z nim drogę myślową, która prowadzi do tych końcowych wniosków.

Pierwsze zagadnienie natury metrycznej, które nasuwa się przy zestawieniu tworów żywych, np. nas samych, ze światem atomów; przedstawia ich małość w porównaniu z nami, albo odwrotnie — wielkie rozmiary nasze w porównaniu z atomem. Średnice atomów leżą w granicach od 1 do 2 Angströmów ($\text{\AA} = 10^{-10}\text{m}$), materiał zaś potrzebny nam na uszycie ubrania wynosi okragło 600 miliardów milinodów ($\text{\AA}$)². Rozmiary atomów w stosunku do nas są tak małe, że niemożemy ich ani widzieć, ani słyszeć, ani wyczuć. Gdyby było inaczej, gdyby organizmy nasze reagowały na ruchy chaotyczne molekuł, system nasz nerwowy nie doznałby nigdy wypochnięcia, a mózg nie byłby w stanie pełnić swej funkcji myślenia. Myśl bowiem nosi w sobie cechy porządku i może operować tylko materiałem wrażeń, mającym już pewien stopień organizacji. Oznacza to, że zjawiska makroskopowe, zachodzące tak wewnątrz organizmu, jak i w świecie zewnętrznym, muszą podlegać ścisłym prawom fizycznym. Ale ścisłe prawa fizyki i chemii są prawami statystycznymi, a więc przybliżonymi, działającymi sprawnie, tj. ze znikomo małym prawdopodobieństwem odchylenia, dopiero wówczas, gdy ilość wchodzących w grę atomów jest bardzo wielka. Stopień możliwego odchylenia od prawa podaje „zasada pierwiastka kwadratowego”. Jeśli ilość molekuł wynosi n to niedokładność praw fizyki i chemii zawarta jest w granicach prawdopodobnego błędu względnego rzędu $1/\sqrt{n}$. Przy $n=100$ błąd względny wynosi 10%, ale już przy $n = 1000\,000$ błąd ten stanowi tylko 1/10%.

Rozważania te prowadzą nas do wniosku, że wieloatomowa struktura organizmu żywego chroni go przed przypad-

kowością, panującą w mikrokosmosie. Jeszcze lat temu 30 taki pogląd wydawał się całkiem uzasadniony faktami biologicznymi. Wszak nie tylko wyższe organizmy, ale nawet poszczególne składowe ich elementy-komórki przedstawiały się jako zespoły olbrzymiej ilości atomów, dających całkowitą gwarancję, że prawa fizyki i chemii będą respektowane z zachowaniem rygorystycznych warunków fizyki statystycznej. Dziś jednak patrzymy na te rzeczy inaczej. Stwierdziliśmy, że w żywym organizmie dominującą rolę odgrywają tak niezmiernie małe grupy atomowe, że w stosunku do nich prawa statystyczne nie mogą być spełnione. Grupy te są odpowiedzialne za całość ontogenetycznego rozwoju organizmu, kontrolują one również charakterystyczne cechy jego funkcjonowania. Każdy organizm posiada swe centra kierownicze; w skład ich wchodzi właśnie takie mikrogrupy atomowe, o czym przekonać może następujące doświadczenie. Bakterie giną pod wpływem światła ultrafioletowego. Proces zabijania bakterij z punktu widzenia korpuskularnej struktury światła przedstawia się następująco. Bakteria jest ostrzeliwana kwantami światła. Większość tych kwantów padających na bakterię nie czyni jej szkody; tylko jeden wśród milionów tych mikro-pocisków jest śmiertelny dla niej — trafia bowiem w jej centrum kierownicze. Trudność trafienia w to centrum i śmiertelność jednokwantowej dawki energii świadczą niezbicie o mikrostrukturze owego centrum.

Znaczenie i rolę mikrogrup atomowych w rozwoju i życiu organizmu wyświeśla nam najlepiej nowoczesna genetyka. Wiadomo, iż cały plan i egzekutywa rozwojowa przyszłego organizmu zawarte są w jednej komórce — zapłodnionem jajku. Właściwie, chodzi tu nawet nie o komórkę ale o jej jądro. W normalnym stanie komórki przedstawia się to jądro w postaci siatki chromatynowej. W okresie życiowo ważnych funkcij — mitozy i mejozy — widoczne są wyraźnie niteczki albo pałeczki. Są to chromozomy, występujące w ilościach bardzo różnych, lecz stałych dla gatunku i osobnika. Człowiek posiada ich 48 tj. 2 zespoły identyczne po 24 każdy, (zespół

diploidalny). Zespoły mogą być podwójne, potrójne i wielokrotne (poliploidalne) jak np. u róż. U istot płciowych pary chromosomowe mają każda dwa identyczne elementy z wyjątkiem jednej pary, o różnych elementach X i Y, występującej w męskiej gamecie i decydującej o płci.

Rozwój organizmu odbywa się przez podział komórek, t.zw. mitozę. Proces podziału szybki na początku staje się potem wolniejszym i około 60-ciu procesów podziału wystarcza, aby osiągnąć ilość komórek tworzących ciało dorosłego człowieka. Przy mitozie każda z nowopowstałych komórek otrzymuje dwa identyczne zespoły chromosomowe, będące dokładną kopią zespołów komórki macierzystej. Podwójność zespołu chromosomowego zostaje utrzymana poprzez wszystkie procesy mitozy i stanowi najbardziej wybitną cechę mechanizmu genetycznego. Istnieje jeden jedyny wyjątek z tej reguły — jest to mejoza.

W okresie rozwojowym organizmu zostaje zarezerwowana jedna grupa komórek, która później służy do wytwarzania gamet — męskich albo żeńskich — potrzebnych do reprodukcji. Przy mejozie następuje redukcja zespołów chromosomowych komórki macierzystej wskutek czego pochodne komórki, tj. gamety, posiadają zespoły pojedyncze — haploidalne. Przy procesie zapłodnienia, gamety męska i żeńska dają znów komórkę o dwóch zespołach tj. komórkę diploidalną. Mejozę należy uważać za najbardziej decydujący akt w procesie rozmnażania się organizmów. Każdy z nas otrzymuje połowę swego dziedzictwa po ojcu, połowę po matce. Dalsze wyjaśnienie procesu dziedziczenia natrafia na trudności. Np. zespół chromosomowy ojcowski może być wierną kopią zespołu odziedziczonych po dziadku albo babce itd. Zagadnienie komplikuje się jeszcze przez proces krzyżowania się nitów chromosomowych w komórkach diploidalnych, przy którym podobne, tj. homologiczne chromosomy mogą wymieniać pomiędzy sobą poszczególne części; wskutek tego zespół ojcowski może zawierać chromosomowe elementy zarówno dziadka jak i babki. Na materiale doświadczalnym nad muchą octową

Drosophila została dzięki temu umiejscowiona siedziba właściwości dziedzicznych w poszczególnych elementach liniowych nitki chromosomowej, jest to tzn. gen-nosiciel ściśle określonych cech dziedzicznych. Na podstawie badań genetycznych cytologicznych Darlington określa rozmiary jednego genu; jest to mniejwięcej kostka o boku wynoszącym 300 Å. Na przestrzeni 300 Å możemy umieścić od 100 do 150 atomów, tak iż gen, według Darlingtona, składa się z niewielu więcej niż miliona atomów. Jest to podług mniemania czołowych genetyków, jak Halden i Darlington, rodzaj molekuly proteinowej, w której każdy atom, pierwiastek i pierścień heterocykliczny odgrywają rolę mniej lub więcej podobną do tej, którą znamy z chemii organicznej. Dla nas jest rzeczą ważną, że ilość atomów zawartych w takiej molekule jest z punktu widzenia zasady pierwiastka kwadratowego za mała, aby miały zastosowanie prawa statystyczne fizyki i chemii. Zadziwiająca jest przy tym wszystkim stałość tego ustroju drobinowego, o czym świadczą cechy dziedziczne. Znana jest trwałość elementów fenotypu, przejawiająca się po przez długie pokolenia, np. słynna warga Habsburgów. Całkowita niezmiennosc genów zaprzeczałaby jednak zarówno procesom przystosowywania się jak i selekcji, procesom odgrywającym zasadniczą rolę w przyrodzie.

Przy badaniu pewnej cechy populacji jednorodnej, stwierdzamy odchylenia od cechy normalnej, tj. najczęściej powtarzającej się; takie odchylenia noszą nazwę fluktuujących wariacji. Grupują się one w sposób ciągły. Graficzne przedstawienie tych odchylen z uwzględnieniem ich częstotliwości prowadzi do znanych każdemu „krzywych częstotliwości“, odbiegających mniej lub więcej od krzywej błędów przypadkowych, tzw. krzywej Gaussa. Darwin widział w wariacjach pole dla działania naturalnej selekcji. Wiemy dziś, że ten pogląd jest błędny, gdyż wariacje są przypadkowe i nie mogą być dziedziczone. Z początkiem XX stulecia holender de Vries wykazał istnienie wariacji nieciągłych, którym dał nazwę mutacji. Mutacje przenoszą się na potomstwo — są dziedziczne. Występują one u nielicznych osobników populacji — kilka

pro mille — i przejawiają się jako zmiany znaczniejsze cech indywidualnych, jako skoki bez stopni przejściowych w danej populacji. Mutacje przypominają fizykowi kwantyzację energii, a teoria mutacyj — teorię kwantów. Selekcja naturalna stosuje się do mutacyj i one właśnie powinny figurować na miejscu darwinowskich wariacyj. Mutacja związana jest ze zmianą odnośnej części chromozomu tj. genu. Zmiana ta dotyczy tylko genu jednego zespołu, homologiczny gen drugiego zespołu pozostaje przytem nietknięty. Taką zmianę genotypu można stwierdzić na potomstwie, pochodzącym od osobnika dotkniętego mutacją i osobnika wolnego od mutacji. Zgodnie z zasadami teorii kombinacyj, połowa potomstwa wykaże typ normalny, pozostała będzie dotknięta mutacją; nazwiemy je mutantami.

Proces dziedziczenia mutacyj nie jest jednak tak prosty, jak tu przedstawiono. Z dwóch zespołów chromozomowych mutantą jeden jest normalny, drugi posiada gen dotknięty mutacją; cechy zewnętrzne takiego osobnika, jego fenotyp, mogą kształtować się według normalnego, lub według mutowanego zespołu chromozomowego. Mówimy wtedy, że mutacja jest recesywną, względnie dominującą. Aby mutacja recesywna doszła do głosu w fenotypie musi ona występować w obu zespołach, tj. zarówno ojciec jak i matka muszą być dotknięci mutacją w odniesieniu do danego genu. U kwiatów barwa dominuje nad brakiem jej. Kwiat będzie biały tylko wówczas, gdy w obu zespołach chromozomowych zawarty będzie recesywny biały gen. Barwa czerwona natomiast występuje zarówno wtedy, gdy oba zespoły posiadają dominujący gen czerwony, jak i wówczas, gdy tylko jeden zespół zawiera ów gen. Rozróżnianie takich osobników możliwe jest tylko przez obserwacje potomstwa. Gen czerwony w obu zespołach chromozomowych przejawia się barwą czerwoną potomstwa; obecność czerwonego genu w jednym tylko zespole zdradzi się częściowo czerwonymi, częściowo białymi potomkami. O osobnikach posiadających jednakie cechy zewnętrzne, lecz różniących się w zespołach chromozomowych, pod względem

mutacji, genetyk mówi, że mają one jednaki fenotyp, lecz różne genotypy.

Mutacja może być albo korzystna, albo szkodliwa dla ewolucji organizmów. Przyroda eksperymentuje przy pomocy mutacji, przyczem istnieje ogólna tendencja utrzymania mutacji korzystnych oraz eliminowania szkodliwych. Mutacje są rzadkim zjawiskiem, co i powinno mieć miejsce, jeśli mutacje mają odgrywać jakąś rolę w procesie naturalnej selekcji. Aby prowadzić rodzaje ku rozwojowi, wszelkie innowacje wprowadzane przez przyrodę w produkcji organizmów powinny być wypróbowane pojedynczo i zależnie od wyników przyjęte, lub odrzucone.

Z czynników zewnętrznych powodujących mutacje należy wymienić: wpływ ciepła oraz promienie pozafiołkowe, rentgena i neutronowe. Pod tym względem genetycy posiadają obfity materiał doświadczalny nad muchą *Drosophila*. Szczególnie ważne są tu dwa prawa odkryte przez Timofiejewa. Z jego pierwszego prawa: „Ilość osobników dotkniętych mutacją jest proporcjonalną do dawki promieni“ należy wnioskować, że mutacja nie jest wynikiem procesu stopniowej akumulacji działania promieni, lecz wydarzeniem pojedynczym, zachodzącym w chromozomach poddanych działaniu promieni. Na pytanie: czym jest to wydarzenie? znajdujemy odpowiedź w drugim prawie Timofiejewa. Brzmi ono następująco: „Przy zmianie długości fali od miękkich promieni X do twardych promieni γ współczynnik proporcjonalności w pierwszym prawie jest wielkością stałą“. Świadczy to, że owym procesem zachodzącym w chromozomach pod wpływem promieni jest ionizacja mikrogrupy atomów, jaką stanowi gen. Rozmiary genu możemy wyznaczyć w sposób następujący: Jeśli dawka np. 50 000 jonów na cm^3 powoduje jedną mutację określonego genu, to objętość tej trafionej mikrostruktury nie będzie większa niż $1/50\,000 \text{ cm}^3$ (przykład fikcyjny). Tą drogą Delbrück i Timofiejew znajdują, że gen zawiera około 1000 atomów; są to rozmiary 10 razy mniejsze niż otrzymane przez Darlingtona drogą genetyczną i cytologiczną.

Tak małe rozmiaru genu, uzyskane ściłą metodą fizyczną, stawiają nas wobec zasadniczego pytania. Jak wytłumaczyć z punktu widzenia fizyko-chemicznego nadzwyczajną odporność mikrostruktury, jaką jest gen, na destrukcyjne wpływy ośrodka? Niezmiennność swej budowy atomowej zachowuje przecież gen przez długie stulecia, poprzez pokolenia, przy temperaturze około 37°C i budowa ta nie ulega zniszczeniu przez np. nieustanne bombardowanie ze strony sąsiednich molekuł będących w ruchu cieplnym. Przysłowie mówi: „krak krukowi oka nie wykole“. Jedyną możliwą do przyjęcia hipoteza jest więc ta, że gen jest sam molekułą! Chemii oddawna znana była wysoka stabilność budowy molekuły, lecz były to fakty przeważnie natury empirycznej. Podstawy teoretyczne dla zrozumienia sił, wiążących ze sobą atomy w ustroju drobinowym, dała dopiero teoria kwantów. Lat dwadzieścia temu Heitler i London opracowali teorię wiązań chemicznych, opartą na najnowszych zdobyczach teorii kwantów.

Przedkwantowa nauka wyznawała zasadę ciągłości — *natura non facit saltus!* W przeciwieństwie do tego teoria kwantów oparta jest na braku tej ciągłości w mikrokosmosie. Stwierdzono to najpierw w stosunku do energii. W warunkach makrokosmicznych zmiana stanu energetycznego danego ciała odbywa się w sposób ciągły. Np. ciało rozżarzone promieniuje światło i ciepło w sposób ciągły. Inaczej zachowuje się atom — promieniuje, lub absorbuje energię porcjami, tzw. kwantami; zawsze musi to być całkowita ilość kwantów, lecz przenigdy ułamek kwantu. Przejście z jednego stanu energetycznego do drugiego odbywa się więc skokami — *natura facit saltus!* Dotyczy to nie tylko energii. W mikroukładzie wszelkie cechy charakteryzujące jego stany geometryczne, czy mechaniczne są też skwantyzowane. Mikroukład może przyjmować różne i liczne stany, lecz nie ciągłe. Przejście z jednego stanu do drugiego odbywa się drogą „skoku kwantowego“. Każdemu z tych stanów przypisujemy tzw. poziom energii. Przy przejściu z niższego do wyższego poziomu energia musi być dostarczona układowi zzewnątrz. Przy odwrotnym

przejściu układ sam oddaje energię. Pomiedzy nie ciągłym szeregiem stanów pewnego zespołu atomów może istnieć stan, któremu odpowiada najniższy poziom energii. Zespół atomów w takim stanie tworzy drobinę. Drobiną ta posiada pewną stabilność, gdyż wszelka zmiana w rozmieszczeniu tworzących ją atomów oznacza przejście do wyższego poziomu energetycznego i wymaga dostarczenia energii zzewnątrz. Ilość energii potrzebna do przejścia z najniższego do następnego dopuszczalnego poziomu charakteryzuje stopień stałości molekuly.

Dla naszych celów biologicznych wchodzi w rachubę stałość drobin przy różnych temperaturach. Załóżmy, że molekula znajduje się na swym najniższym poziomie energetycznym. Aby dokonać przejścia do wyższego poziomu energii trzeba dostarczyć drobinie energii tj. trzeba ją ogrzać, poddać bombardowaniu cieplnemu innych mikro-układów. Ponieważ ruchy cieplne są nieuporządkowane, zawierają element przypadkowy zarówno co do kierunku jak i prędkości, więc przejście do wyższego poziomu energetycznego nie zachodzi natychmiast; dla każdej temperatury ośrodka ogrzewającego istnieje pewien średni czas, po upływie którego drobiną uzyskuje zasób energii potrzebny do przejścia na ten wyższy poziom; jest to tzw. czas wyczekiwania. Teoria wykazuje, że czas wyczekiwania jest proporcjonalny do różnicy energii rozpatrywanych poziomów W i odwrotnie proporcjonalny do energii ruchu cieplnego ośrodka tj. do kT , gdzie k jest stałą Boltzmannna, zaś T temperaturą absolutną. Niewielkim zmianom stosunku W/kT odpowiadają duże zmiany czasu wyczekiwania; np. przy $W/kT=30$ czas wyczekiwania wynosi 1/10 sekundy; przy $W/kT=50$ czas wyczekiwania będzie 16 miesięcy, przy $W/kT=60$ czas wyczekiwania stanowi już 30000 lat.

Drogą ogrzewania możemy spowodować przejście drobin z niskiego poziomu energii do wyższego. Przejścia te są skwantyzowane. Wyższe poziomy energetyczne mogą bardzo nieznacznie się różnić od niskiego stabilnego stanu i być same stanami posiadającymi duży stopień trwałości. Nas będą interesowały takie przejścia do wyższego poziomu, przy któ-

rych następuje zmiana w rozmieszczeniu atomów tworzących drobinę, czyli przejścia do izomeru. Chemia zna liczne przykłady izomerii, które są regułą, a nie wyjątkiem. Im bardziej złożona jest drobina, tem więcej jest możliwych form izomerii. Takie formy różnią się poziomem energetycznym, właściwościami fizycznymi i chemicznymi. Izomery mogą mieć strukturę stabilną, aczkolwiek nie znajdują się na najniższym poziomie energetycznym. Nie mają one tendencji do samorzutnego powrotu do układu odpowiadającego najniższemu poziomowi. Tłumaczy się to tym, że przejście od izomeru do układu o najniższym poziomie odbywa się poprzez tzw. próg, tj. poziom energetyczny wyższy od każdego z rozpatrywanych; przejście od izomeru do normalnej drobin i odwrotnie, wymaga więc wprowadzenia do ustroju drobinowego energii zzewnątrz. Dla naszych celów biologicznych w grę wchodzi jedynie tylko tego rodzaju stabilne izomery.

W świetle przytoczonych tu poglądów fizyko-chemicznych gen w strukturze swej jest olbrzymią drobiną, mogącą przyjmować postaci stabilne izomeryczne, tworząc pod względem energetycznym szereg nieciągły, tj. skwantyzowany. Przegrupowania izomeryczne nie muszą obejmować koniecznie wszystkich atomów genu, lecz mogą dotyczyć tylko pewnej grupy tego zespołu atomowego. Progi energetyczne pomiędzy poszczególnymi konfiguracjami muszą być dostatecznie wysokie, aby uczynić przejście z jednej konfiguracji do drugiej zjawiskiem rzadkim. W biologicznej transkrypcji będą to spontaniczne mutacje.

Ktoś mógłby jednak zapytać, czy drobina jest jedyną trwałą strukturą zespołu atomów? Czy ciała stałe, np. metale, lub kryształy nie zachowują niezmienności swego kształtu w przeciągu tysiącleci, ba, nawet okresów geologicznych? Otóż według Schroedingera te trzy rodzaje zespołów atomowych nie różnią się zasadniczo między sobą. Utarte szkolne poglądy na stan stały, płynny, gazowy mają jedynie sens praktyczny, lecz teoretycznie są całkiem błędne. Granice po-

między strukturalnymi stanami materii muszą być przeprowadzone całkiem inaczej. Oto Schroedingerowski szemat:

Molekuła — Ciało stałe — Kryształ

Gaz — Ciecz — Stan amorfny

Tzw. ciała stałe amorfne albo nie są ciałami istotnie stałymi, albo zaś nie są amorfne. W tzw. amorfnych włóknach węgla drzewnego stwierdzono przy pomocy rentgena strukturę grafitową, a więc węgiel drzewny jest ciałem stałym o strukturze krystalicznej. Tam gdzie niema struktury krystalicznej, mamy do czynienia z cieczą o dużym stopniu lepkości. Brak dokładnie zdefiniowanego punktu topnienia i ukrytego ciepła topnienia świadczą o tym, że mamy do czynienia nie z prawdziwym ciałem stałym. W drobinie siły utrzymujące poszczególne tworzące ją atomy, są tego samego rodzaju co i siły, działające pomiędzy atomami ciała stałego albo krystalicznego. Drobiną posiada więc taką samą trwałość budowy jak i kryształ. Istotna różnica w budowie materii polega na tym, czy atomy są związane pomiędzy sobą siłami Heitler-Londona, czy nie. W ciele stałym i w drobinie siły te występują pomiędzy atomami. W gazie mono-atomowym (np. pary Hg) sił tych niema. Niema ich i w gazach molekularnych, aczkolwiek wiążą one atomy w samych drobinach gazu.

Zwykłą, nieskomplikowaną drobinę, możemy uważać, jako element ciała stałego. Wychodząc z takiego elementu istnieją dwie drogi, prowadzące do bardziej złożonych struktur o właściwościach ciała stałego. Pierwsza polega na powtarzaniu tego samego szematu architektonicznego w trzech kierunkach przestrzennych; widzimy to na przykładach kryształów zwykłych. Ze względu na okresowość przestrzenną takiej budowy możemy je nazwać kryształami periodycznymi. Drugi sposób budowy polega na tworzeniu rozległych i bardziej złożonych agregatów bez powtarzania tego samego szematu przestrzennego z zachowaniem jednak właściwości statycznych poszczególnych elementów budowy. Tak zbudowane są złożone drobin organiczne. Schroedinger nazywa ten typ struktury molekularnej, w przeciwieństwie do kryształu periodycznego,

kryształem aperiodycznym. Wysuwa on hipotezę, że gen, albo nawet i cała nitka chromozomowa, jest aperiodycznym kryształem, vel aperiodycznym ciałem stałym.

Przegrupowania wewnętrzne poszczególnych grup atomowych z nieznacznymi odchyleniami od ich poziomów energetycznych, prowadzące do izomeru całości, rzucają światło na szyfr dziedziczności zawarty w zespołach chromozomowych. Prosty rachunek wykazuje, że nawet przy niewielkiej ilości grup atomowych w genie-molekule mamy bardzo wielką ilość możliwych kombinacji ugrupowań atomowych; biologicznie zaś biorąc, olbrzymią ilość szematów rozwojowych przyszłego organizmu. Jako ilustracja niech służy następujący przykład: operując 5-cioma różnymi elementami i grupami zawierającymi do 25 elementów, otrzymujemy $4 \cdot 10^{17}$ różnych kombinacji. W genie, który jest tworem przestrzennym, ilość różnych kombinacji może być praktycznie niewyczerpalną.

Konfrontując model genu, który zawdzięczamy fizykowi Delbrück'owi, z faktami empirycznymi, musimy odpowiedzieć na pytanie, czy zapewnia on genowi znany nam już, nadzwyczaj wielki stopień jego trwałości. Jest to równoznaczne z pytaniem, dotyczącym wysokości progu energetycznego zmian izomerycznych. Odpowiednie wartości winny być wielokrotnościami średniej energii cieplnej otoczenia, tj. kT . Otóż wszystkie drobiny ciał znanych chemikom posiadają dość znaczny czas istnienia. Jeśli przypomnimy sobie, że dwukrotnemu zwiększeniu progu energetycznego (stosunku W/kT) odpowiada zmiana czasu wyczekiwania albo trwania w granicach od 1/10 sekundy do 30000 lat, to otrzymujemy olbrzymie okresy dla niezmienności genu, w zupełności odpowiadające wszelkim wymogom genetyka.

Zmiany konfiguracji atomów w poszczególnej części genu nie należą więc do zjawisk częstych; zachodzą one według zasad kwantowych i przedstawiają sobą skoki kwantowe w poziomach energetycznych, odpowiadające skokom spontanicznym mutacyj de Vries'a.

Jakie są przyczyny mutacji z punktu widzenia fizyka? Materiał doświadczalny, oparty na ionizacji przy pomocy promieni rentgena, przemawia przeciw możliwości powstawania naturalnych mutacji drogą ionizacji wywołanej radioaktywnością gleby, powietrza, lub promieniami słonecznymi albo kosmicznymi; wszystkie te czynniki są za słabe. Pozostaje ruch cieplny molekularny ośrodka, co dobrze tłumaczy względną rzadkość mutacji. W zgodzie z teorią jest znany genetykom fakt, że wzrost temperatury ośrodka w mniejszym stopniu wpływa na geny mutowane sztucznie, aniżeli na geny dzikie, tj. normalne.

Sztuczne mutacje, uzyskiwane przez naświetlenie promieniami rentgena, Schroedinger uważa za zmiany poziomu energetycznego o charakterze eksplozyjnym. Ionizacja spowodowana promieniami rentgena wyzwala olbrzymie ilości energii rzędu 30 elektronowolt, co przekracza kilkanaście razy energię potrzebną dla przebycia progu energetycznego. W wyniku należy oczekiwać nie tylko zmiany struktury genu, ale nawet uszkodzenia chromosomowych elementów. Potwierdzają to doświadczenia nad muchą *Drosophila*. Mutacje uzyskane przez naświetlenie promieniami rentgena (w amerykańskich doświadczeniach Hanson'a i Heys'a na 20 milionów naświetleń uzyskano 400 mutantów) są prawie wszystkie ujemne; uszkodzenia skrzydeł i inne kalectwa występują u potomstwa. Zrozumiałym staje i taki szczegół: promienie rentgena jednakowo wpływają na geny mutowane, jak i naturalne (w przeciwieństwie do wpływu temperatury). W samej rzeczy, przy energii 30 elektronowolt jest sprawą obojętną, czy próg energetyczny układu genu-molekuły wynosi 1 lub 2 elektronowolt.

Wszystko to prowadzi nas do wniosku, że model Delbrück'a jest w zgodzie z materiałem doświadczalnym.

Model ten ma jednak charakter szematu i nie można od niego oczekiwać, by wyjaśnił nam całkowicie mechanizm genetyczny. Według mniemania Schroedingera, substancja organiczna, aczkolwiek podlega znanym nam prawom fizyki i chemii, zawiera nie jedną jeszcze tajemnicę i podlega być może

innym nieznanym dotyczącym prawom fizyki, odkrycie których jest rzeczą przyszłości.

Model drobinowy genu powstał na tle konieczności pogodzenia nadzwyczajnej trwałości genu z jego bardzo małymi rozmiarami. Wysoki stopień organizacji drobin, oparty na równowadze stałej sił wewnętrznych, chroni ją dostatecznie przed niebezpieczeństwem nieuporządkowanego świata ruchów termicznych. Drobinę cechuje więc wewnętrzny porządek w przeciwieństwie do chaosu otoczenia. Pewną analogię możemy upatrywać w żywym organizmie, jako całości. Można określić życie, jako uporządkowany stan substancji materialnej, trwającej w tym stanie organizacji przy nieustannym procesie wydzielania energii. Żywy zaś organizm zda się być makroskopowym układem, który pod pewnymi względami przypomina te czysto mechaniczne stosunki, które występują we wszystkich materialnych układach przy zbliżaniu się ich do temperatury absolutnego zera, tj. do stanu, gdy zanika całkiem chaotyzm ruchu cieplnego. Następujące rozważania będą miały za cel wyjaśnienie tego twierdzenia.

Mówimy, że substancja materialna żyje, gdy się porusza, wymienia materię z otaczającym ją ośrodkiem i to w przeciągu znacznie dłuższego czasu, niżby trwał ruch martwej substancji materialnej tychże rozmiarów i w podobnych warunkach. Ruch takiej martwej materii ustaje z powodu różnych tarć, wyrównania różnic potencjałów elektrycznych, chemicznych oraz wyrównania różnic temperatury. Końcowe stadium jest stanem trwałym, w którym nic się nie dzieje. Fizyka nazywa to stanem równowagi termodynamicznej, albo stanem maksymalnej entropii. Faktycznie taki stan zostaje szybko osiągnięty, teoretycznie rzecz biorąc, trzeba długich okresów czasu, aby nastąpiło ostateczne wyrównanie i przejście do istotnego stanu maximum entropii.

W przeciwieństwie do tego żywy organizm unika takiego szybkiego przejścia do stanu maximum entropii. Ta właściwość żywego ustroju wydawała się zawsze tajemniczą, tak

niezrozumiałą i tajemniczą, że przypisywano ją działaniu nadprzyrodzonej siły (*vis vitalis*, *entelechia*, itd.).

W jaki sposób unika ustrój żywy szybkiego przejścia do stanu maximum entropii? Odpowiedź brzmiała: przez metabolizm tj. wymianę; lecz czego? Dawniej uważano, że jest tu mowa o wymianie substancji materialnej, potem zastąpiono materię energią. Z punktu widzenia fizyka i jedno i drugie powiedzenie jest pozbawione sensu. Przecież ustrój dojrzały cechuje zarówno stałość ilości substancji materialnej, jak i energii; zwykły proces wymiany niczego nam nie wyjaśnia. Jakie jest więc prawidłowe określenie fizyczne procesu chroniącego ustrój przed stanem maximum entropii, czyli przed śmiercią? Każdy proces odbywający się w przyrodzie oznacza wzrost entropii dla tego układu, w którym ów proces zachodzi. Ponieważ w żywym organizmie stale odbywają się procesy, więc entropia organizmu stale wzrasta; może on unikać stanu max. entropii tylko przez pozbywanie się tej entropii nazewnątrz, albo, wyrażając się algebraicznie, przez przyswajanie sobie zzewnątrz entropii ujemnej. Entropia nie jest pojęciem ze świata abstrakcyj, jest to wielkość realna, fizyczna, nad którą możemy przeprowadzać dokładne pomiary. Przy temperaturze absolutnego zera entropia każdego ciała jest zerem. Przy przejściu z jednego stanu do drugiego, przez stopniowe udzielanie ciału bardzo małych, elementarnych ilości ciepła dQ , entropia wyraża się jako suma wyrazów: dQ/T , w którym T jest temperaturą absolutną ciała na początku każdego elementarnego procesu. Istnieje inne jeszcze ujęcie entropii, ujęcie statystyczne podane przez Boltzmann'a i Gibbs'a. Jeśli przez D oznaczmy stopień dezorganizacji mikrostruktury danego ciała to *Entropia* = $k \cdot \log D$ (k jest wzmiankowaną już poprzednio stałą Boltzmann'a). Układ w którym istnieje pewien stopień organizacji może być porównany z uporządkowaną talią kart; tasowanie kart narusza początkowy porządek i wprowadza na jego miejsce element przypadkowy tj. nieporządek, dezorganizację. Entropia może być określona, jako miara tasowania mikroelementów danego układu.

Równanie $Entropia = k \cdot \log D$ może być przepisana w postaci: $-Entropia = k \cdot \log (1/D)$, co możemy interpretować słowami: Entropia ze znakiem ujemnym jest miarą organizacji układu. Tym samym zdanie poprzednie: „ustrój żywy chroni się przed śmiercią przez przyswajanie sobie zzewnątrz entropii ujemnej“ może być wypowiedziane w bardziej zrozumiałej formie: „ustrój żywy chroni się przed śmiercią przez przyswajanie sobie organizacji zzewnątrz“. Istotnie, wyższe zwierzęta przyswajają sobie organizację w postaci wysoce uporządkowanych struktur materialnych, jakimi są związki organiczne służące im za pokarm. Wydzielają ten pokarm w postaci związków o wiele mniej zorganizowanych. Rośliny czerpią negatywną entropię z promieni słonecznych itd. Każdy żywy ustrój możemy więc rozpatrywać, jako zespół uporządkowany, który czerpie ten porządek zzewnątrz; w nieco odmiennym sformułowaniu: organizm żywy jest maszyną służącą do uzyskiwania organizacji z organizacji. Maszyny, którymi posługujemy się, oparte są, zdawałoby się, na innej zasadzie — uzyskania organizacji z dezorganizacji. Wystarczy pomyśleć tylko o maszynach parowych, które przetwarzają nie uporządkowany ruch molekularny cieplny w uporządkowany ruch mechaniczny. Właściwie mówiąc są to pozory; porządek z nieporządku jest tylko stadium w funkcjonowaniu maszyny parowej. Energię mechaniczną wytwarza ona z energii chemicznej paliwa. Wyjściowe i końcowe stadium są takie same: tu ukryta zorganizowana energia chemiczna — tam jawna zorganizowana energia mechaniczna. Mamy więc funkcjonowanie analogiczne do organizmu żywego. Lecz ta analogia jest dość banalna. Możliwe jest inne podejście do funkcji organizmu i inne bardziej ciekawe porównania.

W przyrodzie martwej znamy wiele procesów cyklicznych. Procesy takie wygasają z czasem, gdyż i tu działa fatalna zasada entropii. Ruchy planetarne są zazwyczaj uważane jako przykład idealnego procesu cyklicznego, wiecznie trwającego, *perpetum mobile* pierwszego rodzaju, z nieustanną huśtawką pomiędzy energią kinetyczną, a energią potencjalną. Jest to

tylko złudzenie, narzucone nam ziemską miarą czasu. W kosmicznej skali czasu ruchy planetarne ulegają powolnemu wygasaniu. Zwolna działają tu siły przyptywowe, opór atmosfery międzyplanetarnej, ciśnienia promieni, które energię ruchu orbitalnego przetwarzają w nieuporządkowany molekularny ruch cieplny. *Atropos* fizyki dzisiejszej podcina powoli porządek nieba.

Przyroda trzyma się uporczywie procesów cyklicznych, jakgdyby chciała stworzyć tu iluzję wieczności. Życie jest też oparte na cyklizmie i też swego rodzaju złudzeniem trwałości.

Jak wytłumaczyć z punktu widzenia fizyki dużą na miarę zjawisk fizyko-chemicznych trwałość procesów cyklicznych, zachodzących w żywym organizmie? Odpowiedź na to daje nam trzecie prawo termodynamiki tzw. Zasada Nernst'a. Zasada Nernst'a powstała jako prawo empiryczne, lecz dziś znajduje swe uzasadnienie w teorii kwantów. Mówi ona, że entropia układu materialnego przy temperaturze absolutnego zera jest zerem. A więc, ruchy cykliczne układu materialnego przy temperaturze absolutnego zera są jakgdyby wyjęte spod działania prawa entropii. Mogą one trwać nieokreślenie długo. Prawie wieczny ruch planet znajduje w zasadzie Nernst'a swe wyjaśnienie. Powstaje pytanie, czy zasada Nernst'a nie może mieć zastosowania do cyklizmu życia? Czy długotrwałość procesów cyklicznych zachodzących w organizmie żywym nie jest następstwem tego prawa? Wiemy, że przy wielu reakcjach chemicznych, odbywających się przy temperaturze pokojowej, entropia odgrywa niesłychanie małą rolę (to było właściwie punktem wyjścia w rozważaniach Nernst'a). A więc, istnieją procesy, do których już przy normalnych temperaturach możemy zastosować z dostatecznym przybliżeniem zasadę Nernst'a. Procesy, którymi posługuje się przyroda w organizmach żywych dla zwolnienia biegu czasu (miernikiem czasu jest wzrost entropii), są właśnie procesami, podpadającymi pod wyjątkowe warunki trzeciej zasady termodynamiki. Tak często używane porównanie organizmu żywego do mechanizmu zegarowego znajduje tu swe usprawiedliwie-

nie. Mechanizm zegarowy pracuje praktycznie też w warunkach zera absolutnego, ale, jak wyraża się Schrödinger, różnica polega na tym, że każde kółko mechanizmu ustrojowego nie jest fabrykatem niezgrabnych rąk ludzkich, lecz najprecyzyjniejszym majstersztykiem, który kiedykolwiekbydź został wykonany według zasad wynalezionej przez samego Boga mechaniki kwantowej.

Jesteśmy u końca naszych rozważań. Uczyńmy więc ogólny przegląd sytuacji zarówno na polu biologii jak i fizyki.

Fizyka w znacznym stopniu wyprzedziła nauki biologiczne. Światopogląd fizyki uległ tak rewolucyjnym zmianom, że nie-fizykowi trudno zorientować się w nowych sposobach myślenia i nowym ujmowaniu zjawisk przyrody.

Świat codziennego doświadczenia wraz z jego utartymi przez tysiąclecia pojęciami i metodyką myślenia został poraz pierwszy porzucony w poszukiwaniu nowych dróg i nowych perspektyw w Einstejnowskiej teorii względności. Wyszło bowiem najaw, że poglądy klasyczne były zabarwione subiektywizmem obserwatora, że zawierały implicite sprzeczne z doświadczeniem założenie nieskończonej szybkości rozchodzenia się światła. Teoria względności dała obraz świata wolny od tych błędów i założeń. Do nowych rzeczy, do nowych poglądów trzeba się przyzwyczaić; dlatego też i dziś jeszcze nowy bezosobowy pogląd teorii względności dla wielu jest abstrakcyjny i obcy.

Materiał doświadczalny, dotyczący świata atomów, zmusił fizyków do dalszej rewizji poglądów. Odkrycie nieciągłości w tym świecie okazało się istotną jego cechą, obejmującą geometrię i mechanikę mikro-ustroju wraz w pojęciem czasu. Naruszone zostało pojęcie przyczynowości, a miejsce determinizmu zastąpiła w mikrokosmosie zasada indeterminizmu.

Myśl o istnieniu przyczynowości w zjawiskach przyrody oparta jest na założeniu, że możliwym jest obserwowanie zjawisk bez ingerencji obserwatora. Podawać przyczynę pewnych skutków można tylko wówczas, jeśli można obserwować i jedno i drugie, nie naruszając przebiegu zjawisk. W tym sen-

sie przyczynowość praktycznie istnieć może tylko w układach makroskopowych. W fizyce atomowej każda obserwacja połączona jest z ingerencją obserwatora, co zgóry było do przewidzenia. Najdelikatniejszy sposób obserwacji elektronu polega na oświetleniu go promieniami światła, co przy małej masie elektronu równoznaczne jest z uderzeniem maczugą bliźniego, celem stwierdzenia jego obecności. Ponieważ przestrzenno-czasowy opis zjawiska jest możliwy tylko przez obserwacje, wynika stąd, że przestrzenno-czasowy opis mikrostruktur oraz prawo przyczynowości wzajemnie się wykluczają, czyli są komplementarne. Zjawiska świata atomów nie mogą być obserwowane i opisywane tak jak to ma miejsce w świecie makrokosmosu. Jeśli chcemy zachować szemat myślenia stamtąd zapożyczony i opisywać zjawiska w ramach czaso-przestrzennych, zmuszeni jesteśmy wprowadzić zasadę indeterminizmu, a opisowi całokształtu tych zjawisk nadać charakter statystyczny.

Zasada komplementaryzmu posiada dla badania zjawisk życia fundamentalne znaczenie. Mówi ona, że opis mikro-procesu, zachodzącego w żywym organizmie nie może być ujęty w ramach przyczynowości oraz ciągłości fizyki klasycznej. W takim opisie będą istniały luki; jedyne wyjście polega na ujęciu całości takich procesów metodami statystycznymi. Komplementaryzm fizyczny można uzupełnić komplementaryzmem biologicznym: Badanie procesów organizmu żywego nie jest możliwe bez naruszenia tychże procesów. Badanie biologiczne posiada tym samym bardzo mały margines, o ile chcemy uniknąć śmierci badanego organizmu. A biolog nie może uznawać zasady „*mors magister vitae*”,

Fizyka nowoczesna przekreśliła poglądy materializmu; *l'homme machine* przestał istnieć. Na jego miejsce wprowadzono statystycznie funkcjonujący organizm-kalejdoskop, w którym przypadek układu mniej lub więcej ciekawe wzory chromozomowe. Czy to rozwiązuje zagadkę życia? Można w to wątpić!

HENRYK SZARSKI

Pochodzenie płazów

(Na podstawie wykładu habilitacyjnego wygłoszonego dn. 20. V. 1946 r. przed Radą Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego U. J.)

Zagadnienie pochodzenia płazów rozpada się na dwie kwestie odrębne. Sądzimy, że od płazów pochodzą wszystkie pozostałe kręgowce lądowe, płazy zaś są z pośród kręgowców lądowych najpierwotniejsze i najstarsze. Dlatego odszukanie przodków płazów jest odnalezieniem również przodków wszystkich kręgowców lądowych.

Jednak także i obecnie, współcześnie z człowiekiem żyją na ziemi płazy. Obecni przedstawiciele tej grupy różnią się napewno znacznie od tych zwierząt, które były przodkami gadów, a przez to również ptaków i ssaków. To też pochodzenie płazów współczesnych jest problemem samoistnym, może trudniejszym od poprzedniego.

Przodkami płazów były ryby. Co do tego nie możemy mieć wątpliwości, gdyż zarówno dane anatomiczno-porównawcze, jak i embriologiczno-porównawcze i paleontologiczne wyraźnie o tym mówią. Kwestią do rozstrzygnięcia będzie jedynie, która z grup ryb dała początek płazom. Aby na to odpowiedzieć, trzeba zdać sobie sprawę przede wszystkim z największych różnic dzielących płazy od ryb, by wiedzieć, które cechy ryb mogą wskazywać na ich pokrewieństwo z płazami.

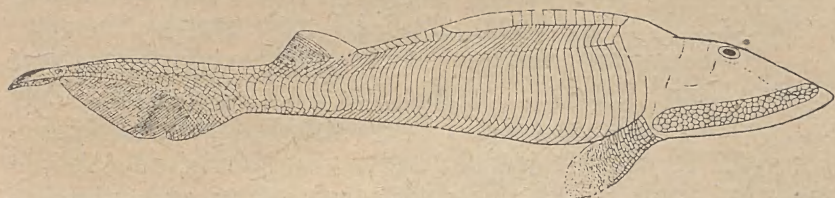
Przede wszystkim więc zwrócimy uwagę na to, że płazy posiadają organy umożliwiające im oddychanie powietrzem atmosferycznym, a mianowicie płuca, które u ryb współczesnych

trafiają się tylko wyjątkowo. W związku z tym, daleko idące różnice między rybami i płazami napotykamy w układzie krwionośnym. Płazy posiadają odnóża, umożliwiające poruszanie się po lądzie stałym, skóra ich utraciła łuski, zyskała natomiast pewną — choć niewielką — odporność na wysychanie. Daleko idące różnice wskazują organy zmysłów. Oczy płazów widzą dalej, posiadają powieki i specjalne gruczoły zwilżające rogówkę. Organ słuchu posiada urządzenie przewodzące i wzmacniające drgania dźwiękowe, w postaci błony bębenkowej, połączonej z organem zmysłowym specjalną kostką. Większość obecnie żyjących ryb nie może wciągnąć do jamy gębowej wody, ani powietrza przez nozdrza, gdyż otwory te nie komunikują z jamą gębową. U wszystkich kręgowców lądowych istnieją nozdrza tylne (*choanae*), otwory, którymi jama nosowa łączy się z jamą gębową, dzięki czemu powstaje specjalna droga dla powietrza oddechowego, które może ominąć otwór ustny. Cecha ta jest dla naszych rozważań bardzo ważna, gdyż obecność lub brak nozdrzy tylnych można stwierdzić u zwierząt kopalnych. Dlatego też obecność nozdrzy tylnych i budowa szkieletu odnóży, to główne kryteria na których opieramy się przy rozważaniu problemu pochodzenia płazów.

Zwróćmy uwagę na ryby żyjące w sylurze i dewonie, a więc wtedy, gdy powstały pierwsze kręgowce lądowe. Ówcześnie żyjące ryby można uporządkować przez zaliczenie ich do pięciu wielkich grup: *Agnatha*, czyli kręgoustę, *Elasmobranchii*, s. *Hypostomi* czyli spodoustę, *Dipnoi* czyli dwudyszne, *Crossopterygii* czyli trzonopłetwe i *Actinopterygii* czyli promieniopłetwe.

Agnatha, kręgowce pozbawione szczęk, zwykle nie są zaliczane nawet do ryb, tak dalece różnią się od pozostałych kręgowców organizacją (Fig. 1). Możemy je pozostawić na uboczu, gdyż zapewne nie były bezpośrednimi przodkami płazów. Zwierzęta te nie posiadają szczęk, nozdrza ich są nieparzyste i ułożone w linii środkowej ciała, grupa ta różni się więc zasadniczo od zwierząt czworonożnych.

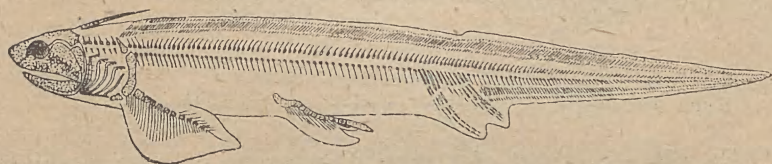
Bliższe już kręgowcom lądowym są tak zwane ryby spoudoste, do których zaliczamy z pośród żyjących obecnie, zrosłogłowy, rekiny i płaszczy. Ryby te posiadają nozdrza pa-



Rys. 1

Hemicyclospira murichinoni, przykład kręgowca bezszczękowego. Z Berga.

rzyste, lecz nie posiadające komunikacji z jamą gębową, silne szczęki homologiczne ze szkieletem łuków skrzelowych i wyraźne odnóża w postaci płetw parzystych (Fig. 2). Ilość łuków skrzelowych jest zwykle ograniczona, podobnie jak u czworonogów. Zasadniczą różnicą między kręgowcami lądowymi, a współczesnymi nam rybami spoudostymi jest brak skostnień u tych ostatnich. Szkielet ich jest zbudowany wyłącznie z chrząst-



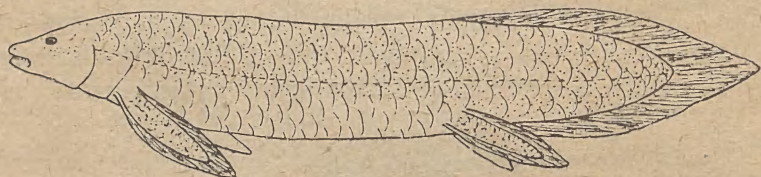
Rys. 2

Ryba spoudosta: *Pleuracanthus sessilis*. Karbon i perm. Płetwy piersiowe zbudowane wedle typu „archipterygium“. Wedle Franza.

ki. Mamy jednak prawo sądzić, że u przodków obecnych płaszczy i żarłaczy, u ryb spoudostych żyjących w erze paleozoicznej kości były obecne. Jednak układ kości, a specjalnie kostnych płyt podskórnych, które tworzyły pancerz głowowy u niektórych pierwotnych ryb spoudostych, różni się zasadniczo od budowy czaszki ryb kostnoszkieletowych i kręgowców lądowych. Oprócz tego ryby spoudoste nie posiadają płuc, ani

pęcherza pławnego, dlatego też należy przypuszczać, że nie pośród nich znajdowali się bezpośredni przodkowie płazów. Jest natomiast rzeczą bardzo prawdopodobną, że ryby spodu-
uste są przodkami pozostałych grup ryb, a wskutek tego dal-
szymi odległymi przodkami również i czworonogów.

Najważniejsze grupy ryb, które musimy teraz rozpatrzyć to dwudyszne (*Dipnoi*), i trzonopłetwe (*Crossopterygii*). Żyły wprawdzie wówczas także i ryby promieniopłetwe (*Actino-
pterygii*), te ostatnie jednak możemy wykluczyć od dalszych
rozważań, gdyż tworzą one zwartą grupę form, prowadzących
bezsprzecznie do współczesnych nam jesiotrów, karp i szczu-
paków. Pozostają do rozpatrzenia tylko ryby dwudyszne, któ-
rych trzy gatunki żyją jeszcze obecnie i są dość dobrze poz-
nane i ryby trzonopłetwe, wymarłe prawie w zupełności. Obie
te grupy łączy obecność nozdrzy tylnych, stąd wraz z kręgow-
cami lądowymi tworzą one jednostkę *Choanata*.



Rys. 3

Ryba dwudyszna: *Epiceratodus forsteri*. Wedle Norman a.

Na pierwszy rzut oka ryby dwudyszne są bardzo zbliżo-
ne swą organizacją do płazów. Ponieważ nieliczni przedstawi-
ciele tej grupy przetrwali do dzisiaj nie potrzebujemy opierać
się wyłącznie na skamielinach. Ryby dwudyszne (Fig. 3) po-
siadają płuca, homologiczne płucom płazów. Układ naczyń
krwionośnych w związku z tym jest odpowiednio zmodyfiko-
wany, serce zaś posiada przegrodę, dzielącą przedsionek i ko-
mórę na części prawą i lewą, co prawda w sposób niezupeł-
ny, lecz dokładniejszy niż u płazów. Jama nosowa komunikuje
z jamą gębową przy pomocy nozdrzy tylnych. Wprawdzie
Broman (1939) wykazał niedawno, że obecnie żyjące ryby

dwudyszne nigdy nie pobierają powietrza przez jamę nosową, lecz posługują się otworem ustnym przy oddychaniu powietrzem, jednak spostrzeżenie to odnosi się naturalnie tylko do nielicznych form współczesnych, zaś obecność połączenia jamy nosowej z jamą gębową, co stwierdzono u wszystkich ryb dwudysznych, powoduje, że proces oddychania przez jamę nosową mógł łatwo pojawić się u tych zwierząt. Widzimy więc, że zasadnicze szczegóły budowy, bo obecność płuc, nozdrzy wewnętrznych i budowa układu krążenia stawiają ryby dwudyszne blisko kręgowców lądowych. Ważną rzeczą jest również podobieństwo w rozwoju między płazami i rybami dwudysznymi. Te ostatnie przechodzą bowiem przez stadium larwy, bardzo podobnej do kijanek płazów i posiadającej skrzela zewnętrzne (Fig. 4). Interesującym szczegółem są również rozmiary komórek, bardzo duże u płazów i u ryb dwudysznych.



Rys. 4

Larwa ryby dwudysznej (*Lepidosiren*). Wedle Kerra z Clausa.

Jednak w pozostałych cechach budowy, są ryby dwudyszne prawdziwymi rybami. Całe życie funkcjonują u nich skrzela mimo że niekiedy zredukowane, ciało pokryte jest rybią łuską, narządy zmysłowe są przystosowane do środowiska wodnego, a co najważniejsze, budowa czaszki nie przypomina czaszki kręgowców lądowych, lecz przez zrośnięcie górnej szczęki z czaszką mózgową raczej zbliża się do czaszki zrostogłowów (*Holocephali*). Stoi to prawdopodobnie w związku z wyraźnym przystosowaniem ryb dwudysznych do twardego pokarmu, które wywarło zasadniczy wpływ na budowę ich szczęk i uzębienia (Gregory 1913). Zęby ryb dwudysznych mieszczą się również na podniebieniu w postaci dużych płytek kostnych.

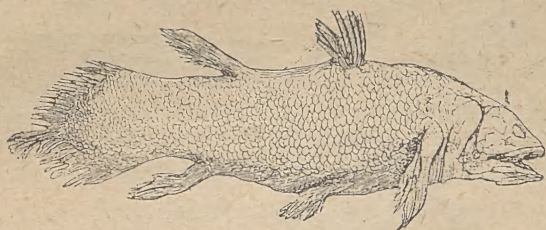
Przystosowanie to występuje już u pierwotnych dwudyszných paleozoicznych, to też należy przypuszczać, że ryby te są wprawdzie spokrewnione bardzo blisko z przodkami płazów, jednak same tymi przodkami być już nie mogły.

Ten sam wniosek nasuwa również rozpatrzenie budowy płetw parzystych ryb dwudyszných i porównanie ich z odnóżami kręgowców lądowych. Kończyny ryb dwudyszných zbudowane są wedle tak zwanego „typu archipterygium“. Płetwa typu archipterygium posiada kształt wydłużonego trójkąta, krótką podstawą zrosniętego z ciałem ryby. Wzdłuż trójkąta ciągnie się oś chrzęstna, a od niej odgałęziają się dwa szeregi elementów szkieletowych. Szkielet takiej płetwy podobny jest więc do gałązki jodły. Z takiego typu płetwy starano się wyprowadzić (Gegenbaur 1896-1900, Braus 1906, Naef 1926) odnoże kręgowców lądowych. Tego rodzaju płetwy są bowiem elementem archaicznym, spotykanym u wielu ryb paleozoicznych, między innymi u niektórych kopalnych spoduustych (Fig. 2).

Jednak nie udało się odszukać form kopalnych u których budowa płetw wskazywałaby na ewolucję w kierunku postulowanym przez Gegenbaura. Znaleziono natomiast płetwy innego typu, zbliżone bardzo budową do odnoża prymitywnych kręgowców lądowych u dewońskich ryb trzonopłetwych. Obecnie też te właśnie ryby uważamy za przodków zarówno ryb dwudyszných jak i kręgowców lądowych.

Niestety ryby trzonopłetwe (*Crossopterygii*) możemy opisywać prawie wyłącznie na podstawie skamielin. Sądzone wprawdzie, że afrykańskie ryby z rodzajów *Polypterus* i *Calamoichthys* można uważać za ryby trzonopłetwe i na ich podstawie starano się wnioskować o budowie trzonopłetwych wymarłych. Jednak nowsze wyniki badań systematycznych (Berg 1940) wyjaśniły, że rodzaje te należy umieścić wśród ryb promieniopłetwych. Niedawno zaś istotnie odnaleziono (J. L. B. Smith) żyjącego przedstawiciela *Crossopterygii* (*Latimeria chalumnae* Smith, Fig. 5), jednak jedyny dotychczas złowiony osobnik jest niedostatecznie poznany.

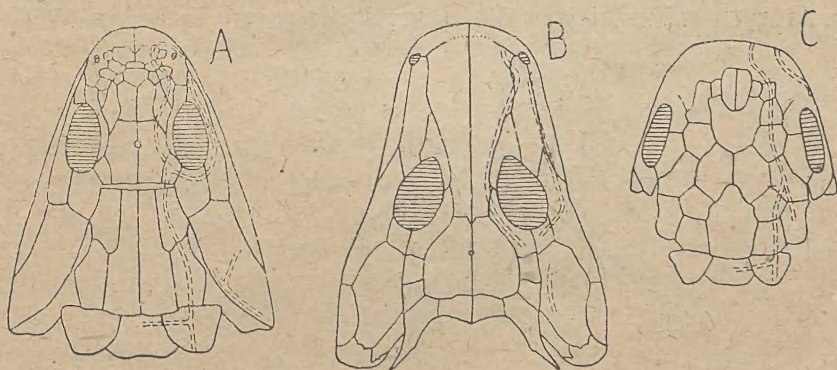
Ryby trzonopłetwe były w dewonie bardzo pospolite. Kształt ich ciała nie różnił się zbytnio od ryb nam współczesnych. [Charakterystyczną ich cechą było rozdwojenie płetwy grzbietowej] na dwa odrębne płaty. Układ kości czaszki



Rys. 5

Latimeria chalumnae Smith. Ryba trzonopłetwa. Wedle Foster-Coopera.

ryb trzonopłetwych odpowiadał zasadniczemu typowi spotykanemu zarówno u większości pozostałych ryb promieniopłetwych, jak i u pierwotnych płazów (Fig. 6). Ciało było pokryte

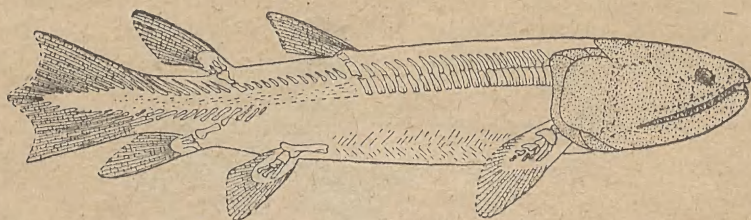


Rys. 7

Porównanie układu kości czaszki u A. — ryby trzonopłetwej (*Osteolepis*), B — płaza (*Paleogyrinus*), C — ryby dwudyszej (*Dipterus*). Z Watsona.

szeregami romboidalnych łusek. Szczególną uwagę musimy zwrócić na te cechy, które zbliżają ryby trzonopłetwe do zwierząt czworonożnych. Płetwy parzyste były u tych zwierząt sil-

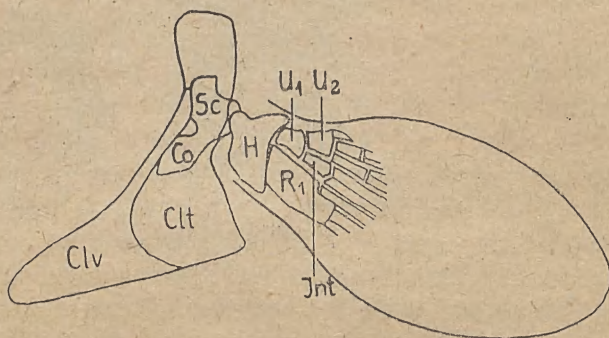
nie rozwinięte, a co najważniejsze, posiadały silnie wykształconą mięsistą podstawę, opatrzoną dobrze rozwiniętym szkieletem. U niektórych form napotykamy tendencję do wydłuża-



Rys. 7

Eusthenopteron. Ryba trzonopłetwa z dewonu. Wedle Gregory'ego z Romera.

nia się mięsistego płata podstawowego w ten sposób, że płetwa upodabnia się do typu archipterygium, formy te uważamy za spokrewnione z przodkami ryb dwudysznych. U innych, z których najważniejsze dla naszych rozważań są rodzaje *Eu-*



Rys. 8

Szkielet płetwy piersiowej *Sauripterus taylori* Hall. Wedle Gregory'ego, nieco uproszczony. Clt — clethrum, Clv — clavicula, Co — coracoideum, H — humerus, Int — intermedium, R¹ — radius, Sc — scapula, U₁ — ulna, U₂ — ulnare.

sthenopteron (Fig. 7) i *Sauripterus*, żyjące w górnym dewonie, widzimy rozrastanie się płata podstawowego w ten sposób, który wydaje się zbliżać płetwę do pierwotnego odnóża lądowego.

Szkielet takiej płetwy wykazywał wprost uderzające podobieństwo do szkieletu odnóża pierwotnego płaza (Fig. 8). Łączył się bowiem z pasem barkowym czy miednicowym tylko w jednym punkcie, a składał się z szeregu elementów, których ilość wzrastała w miarę oddalania się od podstawy — podobnie, jak to widzimy u czworonogów: jeden element kostny stanowi szkielet ramienia, czy uda, dwa stanowią szkielet przedramienia, lub podudzia, z trzech kości składa się pierwszy szereg kostek napięstka czy stępu itd. Naturalnie u *Sauripterus* czy *Eusthenopteron* nie odnajdujemy odpowiedników wszystkich tych kości. Istnieje jednak zasadnicza zbieżność ogólnego planu. Oba te rodzaje nie mogą zresztą być bezpośrednimi przodkami płazów choćby dlatego, że występowały głównie w górnym dewonie, gdy równocześnie żyły też i pierwotne płazy.

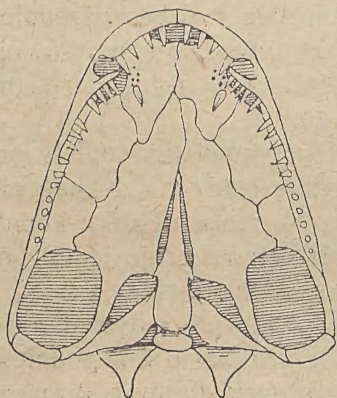
Drugą ważną zbieżnością między rybami trzonopłetwymi i płazami jest obecność płuc. Naturalnie ślady tak delikatnych organów jak płuca nie mogły się zachować u okazów kopalnych. Na obecność płuc u tych zwierząt wskazuje jednak obecność nozdrzy tylnych, które tworząc komunikację między jamą uszną i jamą nosową służyły zapewne do wdychania do płuc powietrza atmosferycznego. W końcu warto jest podnieść budowę dużych zębów, charakterystycznych dla tych drapieżnych ryb. Zęby te miały bowiem szczególną strukturę szkliwa, podobną do tej jaką spotykamy u niektórych najstarszych płazów.

To też powszechnie uważa się obecnie, że płazy pochodzą z pierwotnych ryb trzonopłetwych.

Nasze wiadomości o pierwotnych płazach czerpiemy głównie z obfitych złazisk górnego karbonu. Występują jednak wtedy równocześnie już trzy główne rzędy płazów kopalnych: *Lepospondyli*, *Phyllospondyli* i *Labiryntodontia*, różniące się

od siebie głównie sposobami skostnienia kręgów. Powstanie płazów musiało się więc odbyć znacznie wcześniej, prawdopodobnie w dewonie. Ostatnio odszukano szczątki płazów także w górnym dewonie (Säve-Söderbergh 1932). Szczątki te nie są na tyle obfite, aby dały nam dokładne pojęcie o ówczesnych czworonogach, można je jednak bez wątpienia zaliczyć do jednego z trzech rzędów, a mianowicie do *Phyllospondyli*. Wykazuje to, że pod koniec dewonu płazy były już zróżnicowane, a więc musiały powstać wcześniej, najprawdopodobniej w dolnym dewonie.

Z najstarszych płazów znamy tylko szczątki czaszki. Na czaszce tej widzimy jednak kilka bardzo interesujących szczegółów (Fig 9). Przedewszystkim uderzająca jest budowa organów



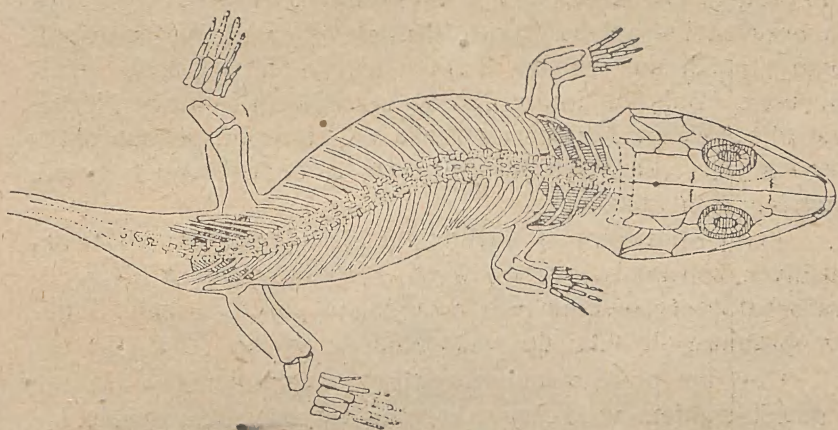
Rys 9.

Spód czaszki płaza *Ichthyostega* z górnego dewonu. Wedle Romera.

powonienia. Jak już wspomniano, u ryb końcoustych (*Teleostomi*) nozdrza znajdują się na grzbietowej stronie czaszki i nie mają komunikacji z jamą gębową. Trudno było wyobrazić sobie stadia przejściowe, prowadzące od tej budowy do stosunków spotykanych u zwierząt oddychających płucami. Wy tłumaczenie procesów przekształcania znajdujemy dopiero u najstarszych płazów. Zarówno zewnętrzne, jak i wewnętrzne nozdrza znajdują się tutaj na brzusznej stronie czaszki, położone

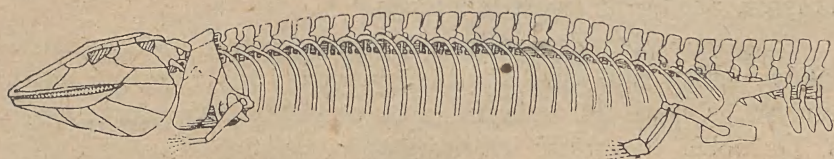
bardzo blisko siebie, oddzielone tylko od siebie wyrostkiem kostnym. Taka budowa daje podstawy do snucia przypuszczeń co do sposobu powstania nozdrzy tylnych. Przodkowie ryb kwapłetwych i płazów, mieli zapewne nozdrza umieszczone na spodniej stronie czaszki, w bliskości otworu ustnego.

go. Nozdrza były podzielone paskiem skóry na otwór wlotowy i wylotowy, taką budowę mają na przykład nozdrza współczesnych ryb spodoustych. Jeśli u takiego zwierzęcia otwór wylotowy przesunie się nieco w kierunku doogonowym, to



Rys. 10
Diplovertebron, Górny karbon. Z Watsona.

otworzy się już wewnątrz jamy gębowej, wskutek czego powstaną nozdrza tylne, takie jak u górno dewońskich płazów. Dalsze, wtórne, przesunięcie nozdrzy zewnętrznych na górną stronę czaszki, dałoby w wyniku stosunki obecne u ryb kwa-



Rys. 11
Eogyrinus attheyi. Karbon. Z Watsona.

stopłetwych i współczesnych nam kręgowców lądowych. Warto jednak podkreślić, że u znanych nam ryb trzonopłetwych nozdrza zewnętrzne były umieszczone zawsze na grzbietowej

stronie czaszki, a nozdrza tylne wewnątrz jamy gębowej, jama nosowa tych zwierząt była więc lepiej przystosowana do oddychania powietrzem atmosferycznym niż jama nosowa współczesnych im prymitywnych płazów. Istnieje jednak również pogląd (Jarvik 1942), w myśl którego nozdrza położone na brzusznej stronie czaszki u *Ichthyostega* nie mają nic wspólnego z nozdrzami tylnymi, których u tego płazu byłoby zupełnie brak. Dalszym interesującym szczegółem budowy płazów jest obecność resztek kości wieczka skrzelowego, utworu obecnego u wszystkich ryb końcowstych, a nieobecnego u innych znanych nam płazów.

Płazy spotykane w karbonie wykazują już tak wiele różnorodnych kierunków rozwojowych, że byłoby rzeczą niemożliwą scharakteryzowanie tych zwierząt w paru słowach. Dlatego ograniczę się tutaj do wskazania na ryciny (Fig. 10 i 11).

Obecnie powinniśmy rozpatrzyć zagadnienia związane z powstawaniem w szczepie kręgowców przystosowań do życia lądowego.

Cechy różniące kręgowca lądowego od ryby nie powstały jak widzieliśmy nagle, wszystkie równocześnie, tak, że nowa forma od razu znalazła nowe środowisko, ląd, na którym nie musiała współzawodniczyć z formą macierzystą, lecz zostały nagromadzone w ciągu długich okresów czasu po kolei, a dopiero ich suma dała płaza, zwierzę związane jeszcze wprawdzie z wodą swym rozwojem embriologicznym, lecz w stanie dorosłym zdolne do życia lądowego.

Zapewne pierwszą cechą „lądową”, w tym szeregu nabytków, która pojawiła się między rybami, były organy oddechowe, służące do wykorzystania powietrza atmosferycznego. Jak sobie wyobrazić ich powstanie? W dobrze utlenionej wodzie wystarcza zupełnie oddychanie skrzelowe i płuca są rybom nie potrzebne. Inaczej jest jednak wtedy, gdy z jakichś powodów ilość tlenu w wodzie maleje. Okoliczności takie trafiają się najczęściej w wodach śródlądowych, słodkich, gdzie właśnie jak wiemy, żyły pierwotne ryby trzonopłetwe. Woda słodka może się stać nieodpowiednia do oddychania wskutek

dwu zjawisk klimatycznych: powodzi i posuchy. Powódź powoduje zwykle zamulenie i zanieczyszczenie wód, posucha zaś, specjalnie połączona z upałem, powodować może ogromne zmniejszenie się powierzchni zalanej, co w połączeniu z silnym rozwojem roślinności może spowodować przejściowy brak tlenu w wodzie i masową śmierć zwierząt wodnych.

W tych warunkach możliwość zużytkowania tlenu atmosferycznego jest jedynym sposobem utrzymania się przy życiu. To też jest zrozumiałe, że powstanie płuc dało ogromną przewagę tym zwierzętom, które je posiadały, tym bardziej, że właśnie w paleozoikum klimat odznaczał się zmiennymi okresami susz i deszczów, przypominał w tym względzie klimat współczesny niektórych krajów tropikalnych.

Podobne, analogiczne, lecz nie homologiczne, przystosowania do zużytkowania powietrza atmosferycznego spotykamy również u obecnie żyjących ryb końcoustych, jak *Anabas*, *Periophthalmus*, czy *Saccocirrus*, zamieszkujących okolice podzwrotnikowe. Pochodzenie organów umożliwiających oddychanie powietrzem wymienionym rybam, jest jednak od pochodzenia płuc zasadniczo odmienne.

Pierwsze formy posiadające zawiązki płuc nie miały zapewne dostosowanego do ich obecności aparatu krążenia. Serce nie posiadało przegrody, to też naturalnie wykorzystanie oddychania płucnego było u form pierwotnych przypuszczalnie bardzo niedoskonałe. Dostosowanie krążenia do obecności płuc szło zapewne etapami. W pierwszym etapie płuca otrzymały własną tętnicę i żyłę — tak było u wspólnych przodków płazów i ryb dwudysznych, w drugim etapie powstały urządzenia przeciwdziałające mieszanii się krwi w sercu — te powstały już niezależnie u płazów i ryb dwudysznych, wskazują bowiem zasadnicze różnice.

Pierwsze ryby posiadające płuca pobierały powietrze oddechowe pyskiem, podobnie jak to czynią duszące się karpie. Dla zwierzęcia wodnego, nie mogącego wody opuścić, ten sposób oddychania jest jednak niewygodny. Łatwo przy nim o zalanie płuc wodą. To też jako wczesne przystosowanie po-

jawiają się nozdrza tylne, tworzące nową drogę oddechową dla powietrza, łatwą do oddzielenia od wody.

W końcu problem zasadniczy, problem odnóży. Ryby posiadające płuca prawdopodobnie chętnie przebywały na przybrzeżnych płyciznach i łąkach. Najbujniejsza flora i najobfitsza fauna rozwija się bowiem nie na głębinie, gdzie woda jest najzimniejsza i bardzo ruchliwa, a każdy drapieżnik ma łatwy dostęp, lecz przy brzegach, na pograniczu otwartej wody i bagna. Tak było zapewne i w paleozoikum. Woda na płyciznach jest jednak zwykle słabo utleniona, to też ryby nie mogące sobie dopomóc w oddychaniu powietrzem atmosferycznym, nie mogą się tam zapuszczać. Na płyciźnie zaś lub na bagnie, trudno jest się poruszać wyłącznie przy pomocy ogona, konieczna jest pomoc odnóży i to nam tłumaczy wykształcenie mięsistego płata podstawowego na płetwach ryb trzonopłetwych.

Tutaj możemy się znowu powołać na analogiczne zastosowania w budowie płetw, na które napotykamy u współczesnych nam ryb promieniopłetwych, skłonnych do życia przy brzegach i mających organy umożliwiające im oddychanie powietrzem atmosferycznym. Podobnie zbudowane płetwy mają *Anabas* i *Periophthalmus*.

Zmieniona nieco płetwa pozwala wprawdzie na niedalekie wędrówki po bagnie, nie jest jednak jeszcze odnożem czworonoga. Można jednak sądzić, że ryby w miarę rozwoju odnóży odbiegały coraz to dalej w głąb moczarów, a później łądów. Ich środowisko bytowania zmieniał się zapewne równoległe do ewolucji odnóży i organów wewnętrznych. Jednak niektórzy uczeni twierdzą co innego (Romer 1936). Wczesne płazy posiadające już zupełnie typowe odnoża zwierząt łądowych, żyły prawdopodobnie dalej w wodzie o czym świadczą: obecność ich szkieletów wśród typowych osadów słodkowodnych, istnienie w powierzchniowych kościach głowy kanałów zmysłowych, tak zwanego zmysłu linii bocznej charakterystycznego dla kręgowców wodnych, a w końcu także i pożywienie składające się najczęściej z ryb. Stałoby się zatem przed

paradoksem: zwierzęta przystosowały się do życia na lądzie, lecz pozostały w wodzie. Romer stara się sprzeczyć te wyjaśnić w sposób następujący: Dewoński klimat obfitował w sezonowe posuchy. W wypadku krótkotrwałej suszy wystarczyć może zwierzętom przebywającym w zepsutej wodzie, umiejętność oddychania tlenem atmosferycznym, jeśli jednak długotrwała posucha spowoduje zupełny zanik zbiornika, wodne zwierzęta przeżyć tego nie mogą. Uratować je może tylko opuszczenie zbiornika i wyszukanie innego w sąsiedztwie. Jeśli zaś taki sezonowy zbiornik zapełni się napowrót wodą, pozostanie niezamieszkały, jeśli zwierzęta nie przywędrują do niego powietrzem lub lądem. Dlatego umiejętność sprawnej wędrówki lądowej jest warunkiem opanowania niektórych środowisk wodnych. Swój sukces w walce o byt zawdzięczają więc płazy wedle Romera nie opanowaniu lądu, lecz przystosowaniu się do wykorzystania sezonowo wysychających zbiorników słodkowodnych.

Dopiero następnym etapem ewolucji byłoby definitywne opuszczenie wody i przeniesienie się na ląd. Wtedy zapewne dopiero powstały rozliczne wtórne przystosowania, jak zmiany w organach słuchu i wzroku, w skórze. Wtedy zmienił się kształt ciała, a odnóża rozwinęły się dalej. Jednak wiele grup płazów nigdy definitywnie wody nie opuściło, lecz pozostało w niej na stałe, lub nawet wtórnie się przystosowało do środowiska wodnego. Te wtórne przystosowania występują na całej przestrzeni życia tej grupy zwierząt, znane nam są zarówno z górnego węgla (Fig. 11) jak i czasów obecnych (*Amphiuma*, *Siren*).

Pod wpływem ogromnych zdobyczy nauki o wydzielaniu wewnętrznym zwrócono uwagę na to, że płazy przechodzą w swym rozwoju przez stadium larwy zwanej kijanką, która jest podobniejsza do ryby niż okaz dojrzały, podobieństwo to zaś zmniejsza się szybko podczas przeobrażenia wywołowanego przez gruczoł tarczycowy. Harms (1929) przekonał się również, że przy pomocy karmienia tarczycą można niektóre ryby, o ziemnowodnym trybie życia (*Blennius*, *Periophthalmus*) skłonić do przedłużania pobytu na lądzie.

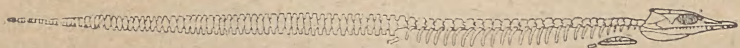
Na tych faktach opiera się mniemanie (Harms 1. c.), że w powstaniu płazów decydującą rolę odegrało zwiększenie się aktywności gruczołu tarczowego. Można być jednak przeciwnego zdania. Sembrat (1929) stwierdził, że tarczycy ryb działa podobnie do tarczycy kręgowców lądowych, a podawana kijankom powoduje przeobrażenie. Istnieją gatunki płazów, u których cały rozwój przebiega w jaju, nic podobnego do przeobrażenia nie da się wysledzić, a rozwój organów normalnie zależnych od działania tarczycy (np. wzrost odnóży) wyprzedza powstanie gruczołu tarczowego. (*Eleutherodactylus nubicola*, Lynn 1936). Pod wpływem tarczycy znikają w czasie przeobrażenia także takie narządy, które są wyłączną własnością kijanek, u ryb zaś nie występują jak np. wargi i zębki rogowe, lub też takie organy, które tylko u pewnych płazów ulegają redukcji jak np. ogon u kijanek płazów bezogonowych. W końcu wiemy, że w rozwoju niektórych ryb (*Apodes*, *Pleuronectidae*), u których występuje stadium wolno żyjącej larwy, działanie tyreoidyny wyzwała metamorfozę, upodabniającą zwierzę do formy dojrzałej (Sklower 1930). Wszystko to pozwala również przypuszczać, że ryby z których płazy powstały, przechodziły w swym rozwoju przez stadium larwy, podobnie jak wiele ryb współczesnych, między innymi *Dipnoi*. Przeobrażenie larwy mogło być już wówczas uzależnione od działalności gruczołu tarczowego, zaś larwa ta uległa w czasie rozwoju szczepowego daleko idącym modyfikacjom, dzięki którym szereg procesów uzależnionych od działania tarczycy wzrastał ustawicznie, co w końcu doprowadziło do wykształcenia tak szybkiego i radykalnego procesu przeobrażenia, jaki widzimy u niektórych płazów współczesnych.

Jest rzeczą bardzo interesującą, że w przeciwieństwie do wyczerpującej prawie znajomości procesów, które odbyły się w zaraniu ery paleozoicznej i doprowadziły do powstania kręgowców lądowych, nasza znajomość historii tych rzedów płazów, które dotrwały do dzisiaj jest fragmentaryczna, poglądy na pochodzenie tych zwierząt są bardzo rozbieżne, zaś nowe znaleziska kopalne, zamiast ułatwić rozwikłanie piętrzących się zagadnień jeszcze bardziej je komplikują.

Obecnie żyjące płazy należą do trzech wyraźnych grup, między którymi brak form przejściowych: *Gymnophiona*, czyli *Apoda* — płazy beznogie, *Caudata*, czyli *Urodela* — płazy ogoniaste i *Salientia* czyli *Anura* — płazy bezogonowe.

Płazy beznogie stanowią niewielką grupę zwierząt podobnych z kształtu do dużych dżdżownic, lub małych węży. Żyją w glebie, lub ściółce leśnej krajów podzwrotnikowych. Pożywienie ich ma skład podobny do pożywienia kreta. W budowie ciała zwraca uwagę obecność łusek kostnych w tkance łącznej skóry i silne sklepienie czaszki, dwie cechy upodabniające te zwierzęta do płazów kopalnych. Sądzone niegdyś, że ta struktura czaszki nie jest cechą pierwotną, lecz wtórnym przystosowaniem do podziemnych warunków życia, przyczym przypuszczano, że formy te są spokrewnione z płazami bezogonowymi i ogoniastymi.

Ostatnio jednak najlepszy znawca tej grupy, Marcus, (Marcus, Stimmelmayer u. Porsch 1935) wysunął pogląd, że płazy beznogie pochodzą bezpośrednio od podobnych form żyjących w permie (*Aistopoda*, fig. 12), należących do *Lepospondyli*, nie są zaś zupełnie spokrewnione z pozostały-



Rys. 12

Sauropleura (*Aistopoda*). Karbon. Wedle Steina, z Romera.

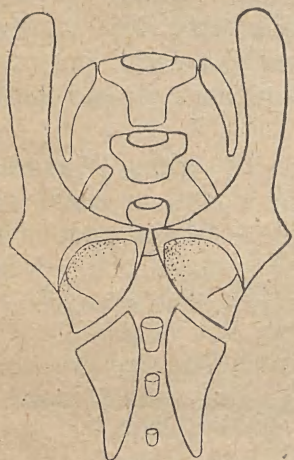
mi płazami współczesnymi. Wedle tego badacza należałoby *Gymnophiona* zaliczyć wprost do *Lepospondyli*. Mielibyśmy więc w obecnej faunie przedstawicieli grupy uznanej za dawno wymarłą.

Pogląd ten nie napotkał na sprzeciwy, nie można jednak być zupełnie pewnym, że odzwierciedla on istotnie przebieg ewolucji. Teoria Marcusa oparta jest wyłącznie na danych anatomiczno - porównawczych i embriologicznych. Na całej przestrzeni mezozoikum i trzeciorzędu nie odszukano żadnych

szczałków kopalnych, któreby świadczyły o historii płazów beznogich. Dane anatomiczne i embriologiczne są więc jedy-
nymi. Jak łatwo jednak ich interpretacja może ulec zmianie
po odszukaniu nowych skamielin świadczą obecne poglądy
na pochodzenie pozostałych grup płazów współczesnych.

Zarówno płazy ogoniaste, jak i bezogonowe były do nie-
dawna znane jako wykopaliska dopiero od dolnej kredy,
w postaci dość nikłych szczątków. Uderzająca była mała zmien-
ność tych zwierząt. Formy kopalne różnią się bardzo niezna-

cznie od istot dziś żyjących, odno-
si się to szczególnie do płazów
ogoniastych, których pewne ro-
dzaje nie uległy zmianie od wcze-
snego trzeciorzędu do dzisiaj. Fakt
ten wskazuje na dawne różnico-
wanie na grupy i późniejszą sta-
bilizację tych zwierząt. Kiedy jed-
nak różnicowanie to nastąpiło,
do której grupy zwierząt kopal-
nych należeli przodkowie żab, ro-
puch, traszek i salamander, na to
pytanie odpowiedź budowano w
braku materiałów kopalnych wy-
łącznie na podstawie anatomii
porównawczej. Na tych podsta-
wach sądzono, że wspólnymi
przodkami obu grup były *Branchiosauridae* (Fig. 14) niewielkie
zwierzęta wodne podobne z po-
kroju do dużych salamander,



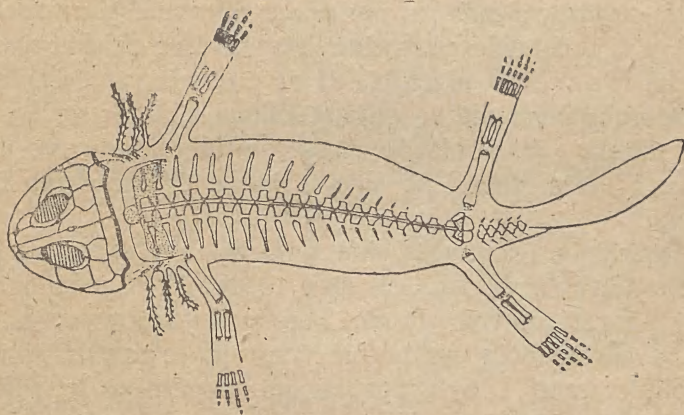
Rys. 13

Pas miednicowy i odcinek koń-
cowy kręgosłupa *Protobatra-
chus massinoti*. Wedle
Piveteau.

żyjące w permie i zaliczane do *Phyllospondyli*. Rozwój
zaś i różnicowanie prowadzące do powstania form współ-
czesnych miał się odbyć w triasie i w jurze (Noble 1931).

Tymczasem w r. 1936 odnalazł paleontolog francuski J.
Piveteau zwierzę kopalne, nazwane przez niego *Protoba-
trachus*, w dolnym triasie Madagaskaru i stwierdził, że zwierzę

to było bezsprzecznie przodkiem obecnych płazów bezogonowych. Sam ten okaz zasługuje nawet na zaliczenie go do tej grupy systematycznej. Czaszka *Protobatrachus* ma budowę typową dla płazów bezogonowych, jest silnie spłaszczona i ma ogromne otwory w podniebieniu. Zwierzę to nie posiadało ogona, jednak kręgi leżące za kością krzyżową nie są jeszcze zrosnięte (Fig. 13). Da się wyróżnić co najmniej cztery trzony po kości krzyżowej. Nogi tylne są nieco dłuższe od przednich, daleko im jednak jeszcze do tej długości jaką osiągają u zwierząt współczesnych. Kości przedramienia i podudzia są niepozzrastane z sobą.



Rys. 14

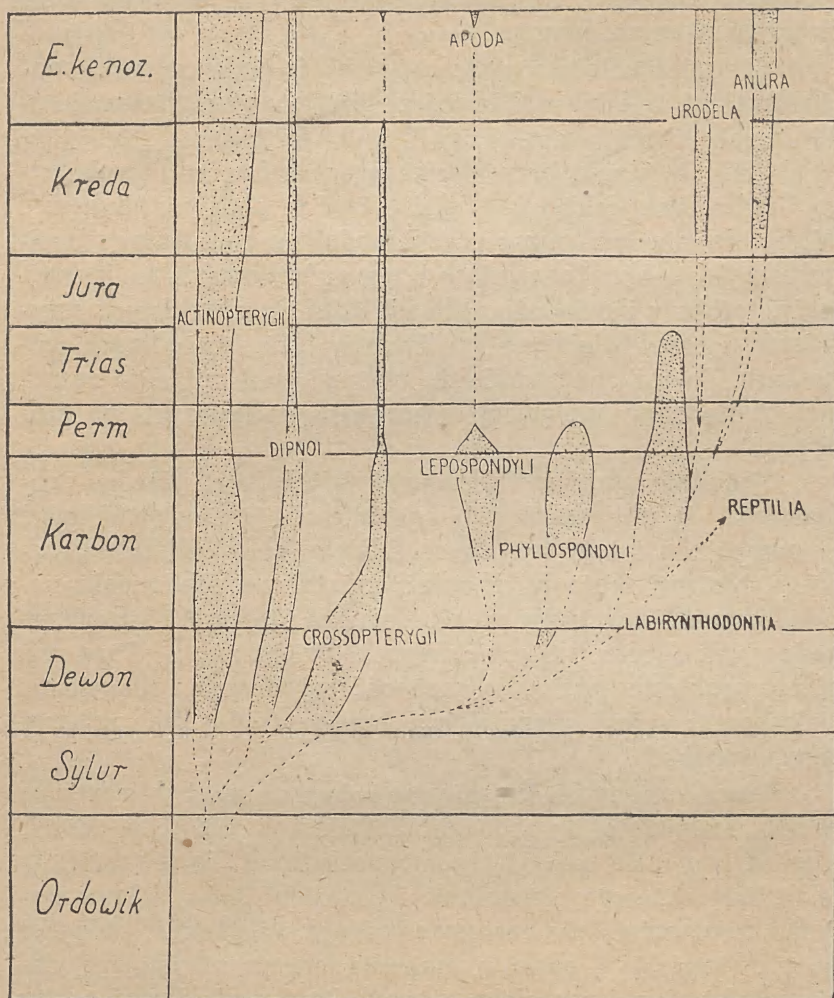
Branchiosaurus. Dolny Perm. Z Romera.

Skoro więc znajdujemy przodka żab w dolnym triasie, trudno nam przypuścić, by zwierzęta te mogły pochodzić z *Branchiosauridae*, które jeszcze w permie nie wskazywały niczym na tendencje ewolucyjne, zbliżające je do płazów bezogonowych. Rozbieżność budowy między *Branchiosauridae* i *Protobatrachus* jest zbyt duża. To też jeden z najlepszych znawców paleontologii płazów, Sæve-Söderbergh (1936) wyprowadza *Salientia* nie z *Branchiosauridae*, lecz z tej samej grupy, która dała początek gadom, a mianowicie z *Labi-*

ryntodontia. Wszystkie zbieżności, które dają się odszukać u *Branchiosauridae*, *Caudata* i *Salientia* polegają jego zdaniem tylko na konwergencjach.

Jeszcze radykalniejszych zmian domaga się paleontolog niemiecki Herre (1935) w poglądach na pochodzenie płazów ogoniastych. Nie na podstawie nowych odkryć, lecz opierając się na rewizji starych opisów, skamielin znanych oddawna, przesuwając Herre powstanie *Caudata* na środek paleozoikum. Wedle jego opinii do typowych płazów ogoniastych należy zaliczyć niektóre zwierzęta, znane z permu, a nawet z górnego karbonu. Wobec tego naturalnie *Caudata* również nie mogą być wyprowadzane z permskich *Branchiosauridae*. Co więcej, na podstawie rozważań anatomiczno-porównawczych dochodzi Herre do przekonania że *Caudata*, a także *Salientia* i *Gymnophiona* nie są spokrewnione z żadną ze znanych nam z karbonu grup płazów, lecz rozwinęły się z ryb samodzielnie i niezależnie i to nawet nie z *Crossopterygii*, lecz z *Dipnoi*.

Naturalnie te rewolucyjne poglądy napotkały na silny sprzeciw (Stromer 1935, Kuhn 1938). Zbieżność budowy między poszczególnymi grupami kręgowców lądowych jest zbyt duża, by można było przypuścić, że grupy te powstały na drodze polifiletycznej i były pozbawione wspólnego przodka lądowego. Mimo to jednak niedawno ukazała się praca (Jarvik 1942), której autor po zbadaniu ogromnego materiału kopalnego wyklucza wprawdzie pochodzenie płazów ogoniastych od ryb dwudysznych, wraz z Herrem jednak podkreśla ogromne różnice dzielące tę grupę płazów od pozostałych kręgowców lądowych i wypowiada się za powstaniem kręgowców lądowych z *Crossopterygii* w postaci dwóch niezależnych szczepów. Do jednego z nich należałyby tylko *Caudata*, do drugiego wszystkie pozostałe *Tetrapoda*. Tak więc praca Herrego wykazała między innymi, że nasza znajomość anatomii porównawczej szkieletu płazów jest jeszcze niewystarczająca. To też na skutek tych nowości paleontologicznych powstała konieczność pogłębienia wiedzy odnośnie do budowy szkiele-



Rys. 15

Schemat pokrewieństw i historii płazów.

tu płazów współczesnych. Każdemu, kto zetknął się z ogromną literaturą tego przedmiotu wydać się to może zbęteczne, jednak poważne wyniki badań współczesnych (de Villiers 1935/36, Ramaswami 1935/36, Mookerjee and Das 1939) świadczą o czymś innym.

W końcu należałoby się zastanowić, jakie czynniki spowodowały dotrwanie do dzisiaj zwierząt o tak archaicznej budowie jak płazy.

Płazy beznogie, przystosowane są do bardzo szczególnego środowiska, jakim jest gleba lasów podzwrotnikowych. W środowisku tym mamy prawdopodobnie zmniejszone nasilenie walki o byt. Inne grupy kręgowców, oprócz nielicznych węży, torbaczy i owadożernych nie zdobyły specjalnych przystosowań umożliwiających im życie w tych szczególnych warunkach. To też przetrwanie do obecnej epoki płazów beznogich tłumaczymy wpływem ochronnym zachowawczego środowiska.

Podobnie możemy rozumować w wypadku płazów ogoniastych. Są one wprawdzie znacznie obfitsze w gatunki niż *Gymnophiona* i żyją w różnych środowiskach, jednak te rozliczne biotopy możemy również uważać za środowiska zachowawcze. Klasycznym przykładem będą jaskinie i ich mieszkańcy, jak *Proteus*, *Typhlomolge* i *Typhlotriton*. Poza tym płazy ogoniaste posiadają możliwość stosowania oddychania skórniego, co jest właściwością bardzo cenną dla zwierząt ziemnowodnych.

Płuca wczesnych kręgowców lądowych nie były zapewne na tyle rozwinięte, by zapewnić dostateczne utlenienie tkanek i co za tym idzie należyta sprawność mięśni. To też zwierzęta te były zapewne nieruchawe i powolne. Główna linia rozwoju kręgowców lądowych, prowadząca od płazów, po przez gady do ptaków i ssaków, opierała się na wzrastającej doskonałości płuc i rozdziale w sercu krwi pochodzącej z płuc i ciała. Płazy wkroczyły na inną drogę, rozwinęły mianowicie oddychanie skórne, nie zawodzące ani na lądzie, ani w wodzie. To zapewniło im opanowanie środowisk ziemnowodnych.

Szczególnie dobrze wykształciły oddychanie skórne płazy bezogonowe. Zapewniło im to znaczny wzrost dopływu tlenu do tkanek i co za tym idzie możliwość szybkich ruchów i wzmożonej aktywności. Ta okoliczność zapewne spowodowała, że zwierzęta te, występujące w strefie umiarkowanej w niewielkiej ilości gatunków, choć w ogromnej liczbie osobników, w warunkach wilgotnej puszczy tropikalnej mają bardzo wielu rozmaitych przedstawicieli, a liczne rodziny zdołały się nawet przystosować do życia nadrzewnego.

LITERATURA

1. Berg, L. S. Classification of fishes, both recent and fossil. Trav. Inst. Zool. Acad. Sc. U. R. S. S., T. 5, Livre 2. 1940.
2. Braus, H. Die Entwicklung der Form der Extremitäten und des Extremitätenskeletts. Hertwig, Handb. d. vergl. u. exp. Entw. Bd. 3, T. 2, 1906.
3. Broman, I. Passiert bei den Lungenfischen die Atemluft durch die Nasenhöhlen? Anat. Anz. Bd. 88. 1939.
4. Broom, R. On the origin of the cheiropterygium. Bull. Amer. Mus. Nat. Hist. V. 32. 1913.
5. Bryant, W. L. On the structure of *Eusthenopteron*. Bull. Buffalo Soc. Nat. Sc. V. 13, 1919.
6. Franz, V. Systematik und Phylogenie der Wirbeltiere. Bolk et all. Handb. Vergl. Anat. d. Wirbelt. Bd. 1, 1931.
7. Gegenbaur, C. Vergleichende Anatomie der Wirbeltiere mit Berücksichtigung der Wirbellosen. Leipzig 1896—1900.
8. Gregory, W. K. Further observations on the pectoral girdle and fin of the *Sauripterus taylori* Hall, a crossopterygian fish from the upper devonian of Pennsylvania with special reference to the origin of the pentadactyle extremities of the Tetrapoda. Proc. Amer. Phil. Soc. V. 75. 1936.
9. Gregory, W. K. Crossopterygian ancestry of the *Amphibia*. Science N. S. V. 37. 1913.
10. Gregory, W. K. Present status of the problem of the origin of *Tetrapoda* with special reference to the skull and paired limbs. Ann. N. Y. Acad. Sc. V. 26. 1915.
11. Gregory, W. K. and H. C. Raven. Studies on the origin and early evolution of paired fins and limbs. New York 1941.
12. Harms, J. Die Realisation der Gene und die konsekutive Adaption. I. Phasen in der Differenzierung der Anlagekomplexe und die Frage der Landtierwerdung. Zeitschr. wiss. Zool. Bd. 133. 1929.
13. Herre, W. Die Schwanzlurche der mittelezänen (oberlutetischen) Braunkohle des Geiseltals und die Phylogenie der Urodelen unter Einschluss der fossilen Formen. Zoologica Bd. 33. 1935.
14. Holmgren, N. On the origin of the tetrapod limb. Acta Zoologica. Stockholm 1933. Bd. 14.

15. Holmgren, N. Contribution to the question of the tetrapod limb. Acta Zoologica Stockholm 1939. Bd. 20.
16. Huxley, J. S. Thyroid and temperature in cold blooded vertebrates. Nature V. 123, 1929.
17. Jarvik, E. On the structure of the snout of Crossopterygians and lower Gnathostomes in general. Zoolog. Bidr. f. Uppsala. Bd. 21. 1942.
18. Klaatsch, H. Die Brustflosse der Crossopterygier. Festschr. f. Gegenbaur, Leipzig 1896.
19. Kuhn, O. Die Phylogenie der Wirbeltiere auf paläontologischer Grundlage. Jena 1938.
20. Kuhn, O. Die fossilen Amphibien. Berlin 1939.
21. Lynn, W. G. A study of the thyroid of *Eleutherodactylus nubicola*. Anat. Rec. V. 64. 1936.
22. Marcus, H., F. Stimmelmayer und G. Porsch. Die Ossification des Hypogeophisschädels. Morphol. Jahrb, Bd. 76. 1935.
23. Mookerje, H. K. and S. K. Das. Further investigation on the development of the vertebral column in the *Salientia*. Journ. Morph. V. 64. 1939.
24. Naef, A. Notizen zur Morphologie und Stammesgeschichte der Wirbeltiere. Die systematisch-morphologischen Vorstufen der Tetrapodenhand. Zool. Jahrb. Bd. 48. 1926.
25. Noble, G. K. The biology of the *Amphibia*. New York 1931.
26. Piveteau, J. Une forme ancestrale des amphibiens anoures dans le trias inférieur de Madagascar. C. R. Acad. Sc. Paris. T. 202. 1936.
27. Piveteau, J. Origine et evolution morphologique des amphibiens anoures. Ibid. T. 203. 1936.
28. Piveteau, J. Un amphibien du trias inférieur. Essai sur l'origine et l'évolution des amphibiens anoures. Paléont. T. 26. 1937.
29. Ramaswami, L. S. The cranial morphology of some examples of *Pelobatidae* (*Anura*). Anat. Anz. Bd. 81. 1935/36.
30. Romer, A. S. Vertebrate Paleontology. Chicago 1936.
31. Romer, A. S. and F. Bryant. The pes of *Diadectes*: notes on the primitive limb. Paleobiologica V. 4. 1931.
32. Säve-Söderbergh, G. Preliminary note on devonian stegocephalians from East-Greenland. Meddelelser om Grönland. V. 94. Kopenhagen 1932.
33. Säve-Söderbergh, G. On the dermal bones of the head in the labyrinthodont stegocephalians and primitive reptiles, with special reference to the eotriassic stegocephalians from East Greenland. Medd. Grönland. V. 98. 1935.
34. Säve-Söderbergh, G. On the morphology of the triassic stegocephalians from Spitzbergen, and the interpretation of the *Labyrinthodontia*. K. Svenska Vet. Akad. Handl. Ser. 3. V. 16. 1936.

35. Säve-Söderbergh, G. On *Rhynchodipterus elginensis* n. g. n. sp. representing a new group of dipnoan like *Choanata* from upper devonian. Ark. f. Zool. v. 29. 1937.
36. Sembrat, K. The influence of fish thyroid transplants on the metamorphosis of *Rana temporaria* L. larvae and on their thyreoid and thymus glands. Experiments with thyroid glands of Selachians and Teleosts. Bull. Acad. Polon. Ser. B 1928.
37. Sewertzoff, A. N. Der Ursprung der *Quadrupeda*. Paläontol. Zeitschr. Bd. 8. 1926.
38. Sewertzoff, A. N. Morphologische Gesetzmässigkeiten der Evolution. Jena 1931.
39. Sklower, A. Die Bedeutung der Schilddrüse für die Metamorphose des Aales und der Plattfische. Forsch. Fortschr. Bd. 6. 1930.
40. Smith, J. L. B. A living coelacanthid fish from South-Africa. Trans. Roy. Soc. South-Afr. V. 28. 1939.
41. Stromer, E. Allgemeine Paläozoologie und Paläozoologie der Wirbeltiere. Fortschr. d. Zool. Bd. 1. 1935.
42. Villiers, C. G. S. de, Some aspects of the Amphibian suspensorium, with special reference to the paraquadrate and qadratomaxillary. Anat. Anz. Bd. 81. 1935/36.
43. Wägnier, D. S. On the cranial characters of *Liopelma hochstetteri*. Anat. Anz. Bd. 79. 1934.
44. Watson, D. M. S. On the primitive tetrapod limb. Anat. Anz. Bd. 44. 1913.
45. Watson, D. M. S. The evolution and origin of the *Amphibia*. Philos. Trans. R. Soc. London. Ser. B. V. 214. 1926.
46. Watson, D. M. S. The origin of frogs. Trans. Roy. Soc. Edinburgh. 1940. V. 60.
47. Westoll, T. S. The origin of tetrapods and their relation to bony fishes. Brit. Ass. Journ. Sect. D. Zool. 1938.
48. Westoll, T. S. Ancestry of the tetrapods. Nature V. 141. 1938.
49. Westoll, T. S. Relationships of some primitive tetrapods. Nature V. 150. 1942.

Gruczoły jadowe i jady zwierzęce

(Wykład habilitacyjny, wygłoszony w dn. 29 kwietnia 1939 w Uniwersytecie Jagiellońskim)

Od bardzo dawnych czasów zwracano uwagę na zwierzęta jadowite i około pewnych ich przedstawicieli wytworzyła się atmosfera grozy, która do dziś dnia znajduje swój wyraz w wierzeniach ludowych i rozmaitych związanych z nimi przesadach. Jadowitość stanowi istotnie cechę licznych zwierząt, poczynwszy od pierwotniaków a skończywszy na kręgowcach, a przyczyny jej szukać należy w specjalnych urządzeniach ustrojowych, w których wytwarzają się substancje trujące, jady zwierzęce. Zasadniczym, ale bynajmniej nie jedynym warunkiem pojawienia się jadu u zwierząt jest obecność gruczołów jadowych, w postaci pojedynczych komórek nabłonkowych lub ich zespołów. Te ostatnie mogą mieć cechy typowych gruczołów, opatrzonych światłem, a przewody ich wyprowadzające mogą często przechodzić w rozszerzenia, stanowiące zbiorniki jadu.

Gruczołom jadowym towarzyszyć mogą urządzenia dodatkowe, służące do wprowadzania trucizny do organizmu ofiary. Są to narządy raniące w postaci np. kolców, szczęk lub żądła. Prócz tego znamy jeszcze gruczoły jadowe nieuzbrojone, których wydzielina dostać się może jedynie na powierzchnię skóry lub błony śluzowej ofiary.

Gruczoły jadowe są przeważnie zmodyfikowanymi gruczołami skórnymi, mogą to być także zmienione ślinianki lub inne gruczoły przewodu pokarmowego. W rzadkich przypad-

kach trujące działanie wywiera krew, przy czym zwierzę posiadać może specjalne urządzenia do wyrzucania jej na zewnątrz.

Produktem gruczołów są jady zwierzęce, czyli specyficzne trucizny, które dzięki swym własnościom chemiczno-fizycznym powodują chorobę lub śmierć po dostaniu się nawet w minimalnych ilościach do organizmu zwierzęcego. Nie tylko rodzaj trucizny i jej dawka, lecz także sposób wprowadzenia jej do ustroju ma wielkie znaczenie dla końcowego wyniku zatrucia. Jad, wprowadzony przez przewód pokarmowy, czy też przez płuca w postaci gazowej, czy wreszcie wprost do krwi przez zranienie skóry lub błony śluzowej, zawsze ostatecznie znajdzie się w obrębie układu krążenia. Niemniej w żołądku czy w jelicie ulec może przemianom wskutek działania fermentów trawiących, a nawet wchłonięty przez jelito zdąży wraz z krwią żyły wrotnej do wątroby, która ma przecież, jakkolwiek ograniczone, własności odtruwania jądów. Kokaina zabija człowieka w dawce podskórnej 0,2 g., a śmiertelna dawka doustna musi być pięciokrotnie wyższa. Małe ilości kurary, wstrzyknięte podskórnie, paraliżują organizm zwierzęcy, podczas gdy trucizna ta, podana doustnie, jest nieszkodliwa.

Zwierzęta reagują na jady bardzo różnorodnie. Klasycznym przykładem odporności na jady węży są jeż i ichneumon. Kury oraz szczury są czterysta razy mniej wrażliwe na działanie atropiny od człowieka, a ślimaki są zupełnie niewrażliwe na dawki strychniny, śmiertelne dla *Homo sapiens*. Działanie trucizny zależy także zarówno od stanu zwierzęcia jadownego, jak i ofiary. Np. uśpiona eterem morska świnka znosi bez szkody działanie zastrzyku obcej surowicy w dawce, która u zwierzęcia normalnego powoduje natychmiastową śmierć wskutek wstrząsu anafilaktycznego. Jad okularnika działa dziesięć razy silniej po linieniu węża, niż przed tym. Krajowcy Ameryki Południowej wierzą, że ukąszenia węży są nieszkodliwe, kiedy pewne gwiazdozbiory są na niebie, co oznacza związek nasilenia jadowności węży z porą roku.

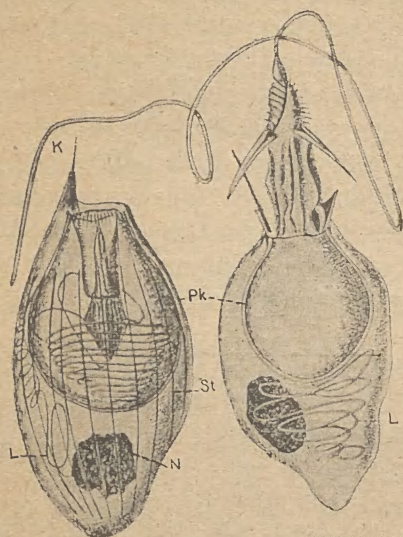
Szkodliwość jadu jest również zmienna w zależności od rodzaju zwierzęcia. Dawka jadu grzechotnika (*Crotalus*), zabijająca 24 psy o średniej wadze 25 kg, jest śmiertelna dla 25 wołów, 60 koni, 600 królików, 800 szczurów, 2000 świnek morskich, 300.000 gołębi. Ilość kantarydyny, zawarta w organizmie jednego chrząszcza *Lytta vesicatoria*, jest dla człowieka śmiertelna, ale skorpion zjada go bez szkody dla siebie.

Najprostszymi aparatami jadowymi zwierząt jednokomórkowych są: trychity, trychocysty i nematocysty. Są to organoidy komórkowe, które mieszczą się w powierzchniowych częściach pierwotniaków, ułożone mniej więcej regularnie. Trychity i trychocysty przedstawiają się w postaci pręcików, które podrażniony wymoczek wyrzuca albo przez otwór ustny (*Holotricha*), albo z całej powierzchni komórki, w celu sparaliżowania ofiary. Nematocysty zaś występują w postaci pęcherzyków, umieszczonych pod pelliculą. W jamie pęcherzyka mieści się spiralnie zwinięte włókienko, które zostaje wyrzucone na zewnątrz.

Z jadowitością jamochłonów zapoznają się często amatorzy kąpieli w morzach ciepłych. Kiedy dotknąć wolno pływającej meduzy lub polipa, występuje ból miejscowy i zaczerwienienie skóry. Pochodzi to stąd, że u tych zwierząt istnieją jednokomórkowe narządy jadowe, tzw. komórki parzące, nemato — lub knidoblasty. Komórki takie, znajdujące się w ektodermie zwierzęcia, a specjalnie licznie występujące na ramionach meduz, polipów czy ukwiałów, odznaczają się budową bardzo skomplikowaną. Stanowią one jednocześnie element gruczołowy, produkujący jad i posiadają aparat raniący w postaci nitki, u podstawy której tkwią ostre kolce. Ryc. 1 przedstawia knidoblast w spoczynku oraz knidoblast eksplodujący.

Budowa komórek parzących jest różna w szczegółach u zwierząt tej samej grupy, naogół jednak jest to komórka, w której protoplaźmie widać bańkę o mocnej, podwójnej ścianie. Prowadzi do niej otwór, przysłonięty wieczkiem protoplazmatycznym. Z boku sterczy knidocyl, ostro zakończony pręcik, po którego dotknięciu czy podrażnieniu chemicznym komórka eks-

ploduje. Bańkę wypełnia płyn, w którym pogrążona jest zwinęta nitka. Stanowi ona wraz z podstawą zróżnicowaną część wewnętrznej ściany bańki. Wskutek skurczu myonemów, mieszczących się w ścianie komórki, lub w następstwie wzrostu napięcia elastycznej ściany, lub zwiększenia objętości bańki wskutek endosmozy wody, nitka zostaje wyrzucona, przy czym najpierw nastawiają się kolce i ranią ciało ofiary. Przez zro-



Ryc. 1

Knidoblasty hydry: na lewo komórka w spoczynku, na prawo eksplodująca. N jądro, L włókno spiralne, K knidocyl, P-k ściana bańki (wg P. Schulze)

biony przez nie otwór wsuwa się nitka, stanowiąca cieniuteńką rurkę z otworkiem na końcu. Przez ten otvorek wlewa się do ranki jad z wnętrza bańki. Każdy knidoblast może eksplodować tylko raz, po czym zostaje zastąpiony przez nowy.

Ilość tych tworów jest u jamochłonów olbrzymia. Ukwiął śródziemnomorski, *Actinia mesembryanthemum*, ma ponad sto ramion, a na każdym przeszło 4 miliony dojrzałych komórek parzących. Stanowią one zatem potężną broń, dzięki której zwierzę chwytą pożywienie, paraliżując ofiary. Hydra łowi w ten sposób małe rybki i kijanki. Istnienie tych urządzeń decyduje o

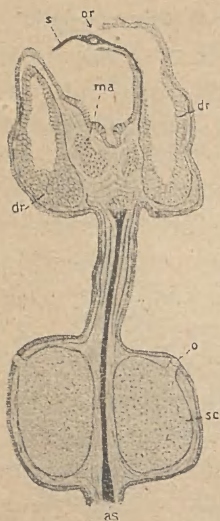
współżyciu kraba *Pagurus* z pewnym [ukwiąłem] z [rodzaju] *Actinia*. Krab ten ukrywający miękki swój odwłok w skorupie ślimaka, hoduje na swym domku ukwiąła, którego baterie parzące stanowią świetną obronę. Kiedy skorupa stanie się

zbyt ciasną, krab zmienia ją na obszerniejszą i przenosi na jej powierzchnię za pomocą szczypiec swoją baterię obronną z ukwiałów, żyjących na powierzchni dawnej skorupy.

Niebezpieczny dla zdrowia ludzkiego jad jamochłonów był przedmiotem licznych badań. Okazało się, że działają tutaj dwa jady, talasyna i kongestyna. Talasyna, mało znana chemicznie, a lepiej farmakologicznie, działa w ilości 0,12-0,15 mg jadu na 1 kg zwierzęcia, wywołując zapalenie skóry, pieczenie i swędzenie, w większej dawce wymioty, przekrwienie spojówek a nawet śmierć wskutek porażenia układu krążenia. Jest ona antytoksyną drugiego jadu, kongestyny. Kongestyna jest ciałem chemicznie nie jednolitym, daje między innymi reakcje białkowe. Ważną jej cechą stanowi fakt, że powoduje ona anafilaksję. Dotyczy to powtórnego sparzenia przez jamochłona np. w kąpieli morskiej, które może mieć poważne następstwa nie tylko wskutek zatrucia, lecz przede wszystkim wskutek wstrząsu anafilaktycznego.

Wielokomórkowe gruczoły jadowe, zaopatrzone w narządy raniące, spotykamy u szkarłupni. Są to urządzenia skórne, składające się z podstawy połączonej z powierzchnią ciała za pomocą ruchomego stawu oraz z trójramiennych szczypiec, również ruchomych, które służą do chwytania ofiary. W całości są to tzw. pedicelarie jadowe (*p. gemmiformes*), których ilość dochodzi na małym jeżowcu do 450 sztuk. W połowie wysokości ich podstawy znajduje się zgrubienie, zawierające 3 woreczkowate gruczołki, tzw. gruczoły dolne, produkujące wydzielinę śluzową, powstałą z rozpadu komórek nabłonkowych. Każde ramię szczypiec posiada ponadto woreczek jadowy, złożony z dwu części o wspólnym przewodzie, uchodzącym na szczycie szczypiec. Gruczoły te wysłane są nabłonkiem cylindrycznym i zaopatrzone w doskonale rozwinięte mięśnie, których działanie polega na wydalaniu jadu na zewnątrz. Ostry koniec szczypiec posiada jeszcze czasami kołec wapienny (ryc. 2). Działanie pedicelarii jest proste: zęby szczypiec chwytają ofiarę, a jad dostaje się do jej wnętrza wskutek zranienia kolcem.

Jad pedicelarii działa na kraby, głowonogi, jaszczurki, króliki itd. W warunkach doświadczalnych działanie jego fizjologiczne rozmaicie się objawia, np. u ryb powoduje najpierw pobudzenie, później zahamowanie czynności systemu nerwowego, króliki zaś giną z uduszenia z powodu porażenia ośrodka oddechowego, o ile dawka jadu jest odpowiednio wysoka.



Ryc. 2

Przekrój podłużny pedicelarii jadowej jeżowca. Dr gruczoł jadowy, or jego ujście, s kołec wapienny, ma mięśnie, as łodyga, sc dolne gruczoły z ujściem o (wg Kalayofa).

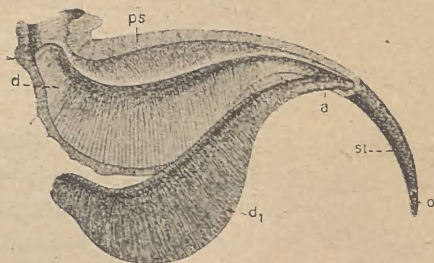
Klasycznymi zwierzętami jadowitymi są skorpiony. Znamy bardzo wielu przedstawicieli tej grupy, bo aż 500 gatunków, zgrupowanych w 70 rodzajach i 6 rodzinach. Żyją one w pasie klimatycznym gorącym, ciepłym oraz umiarkowanym. Najbogatsza w nie jest Etiopia, gdzie również żyją największe okazy z rodzaju *Pandinus*, dochodzące do 22 cm długości.

Odwłok zwierzęcia kończy się cienkim „ogonem“, zaopatrzonym w twardą bańkę z wygiętym końcem, do którego uchodzą przewody wyprowadzające dwóch gruczołów jadowych. Te znajdują się wewnątrz bańki i stanowią pęcherzyki o ścianie gładkiej lub pofałdowanej wysłanej wysokimi komórkami walcowatymi, pomiędzy którymi mieszczą się spłaszczone komórki podstawowe. Komórki walcowate stanowią element wydzielający jad i wypełnione są w całości ziarnistymi tworami, a jądro i protoplazma zepchnięte są do podstawy. Część gruczołu przy-

lega bezpośrednio do twardej, chitynowej powłoki bańki, reszta pokryta jest mięśniami prążkowanymi, przyrośniętymi również do wewnętrznej jej powierzchni. Skurcz tych mięśni wypycha wydzielinę ze światła gruczołu na zewnątrz, przez przewód wyprowadzający uchodzący na szczycie kolca (ryc. 3).

Akt ukłucia ofiary przez skorpiona robi wrażenie niesamowite z powodu metodyczności postępowania: zwierzę zostaje schwytane szczypcami, po czym skorpion uważnie szuka między pierścieniami ciała odpowiedniego miejsca, wkuwa kolec i czeka przez pewien czas, ażeby jad spłynął do rany. Kiedy działanie jadu sparaliżuje ofiarę, zaczyna się systematyczne jej wysysanie, aż pozostaną same tylko szczątki chityny.

Jad skorpiona jest rozpuszczalną w wodzie cieczą o kwaśnej reakcji, obserwujemy w nim cząsteczki drgające pod mikroskopem ruchem Browna. Przez drażnienie prądem elektrycznym udało się wydobyć ze skorpiona 10 kropli jadu, ale doświadczenie to tak go wyczerpało, że nowe próby można było zacząć dopiero po upływie 3 tygodni. Cha-

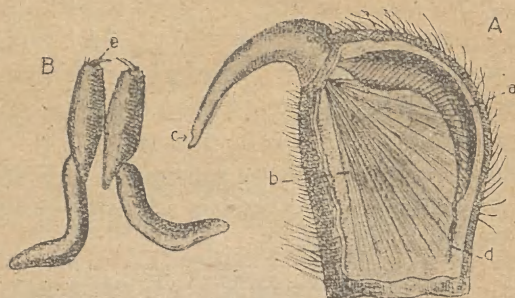


Ryc. 3

Gruzoły jadowe skorpiona. d i d¹ gruczoły, ps chityna, a przewód wyprowadzający, o ujście przewodu na szczycie kolca
(wg E. Pawlowsky)

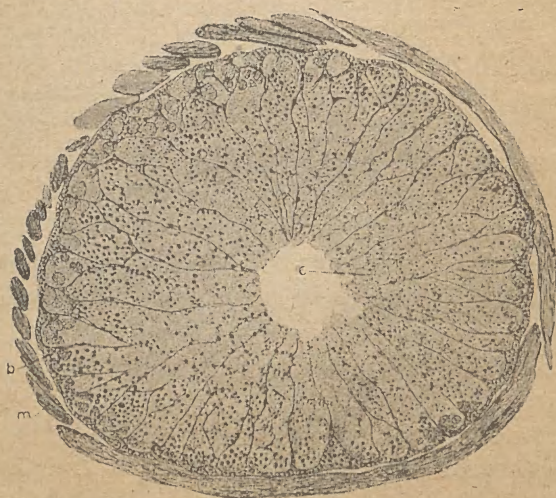
rakter i budowa chemiczna jadu nie są dotąd znane. Działanie na ludzi i zwierzęta jest bardzo różnorodne, gdyż zależy od rodzaju zwierzęcia i gatunku skorpiona. Najsilniej reagują ssaki i ptaki w warunkach doświadczalnych, lecz bezkręgowce większej części również giną po ukłuciu. Ssaki odczuwają w miejscu ukłucia silny ból, po czym następuje lokalne obrzmienie i przekrwienie, okres ogólnego podniecenia, a wreszcie zahamowanie podobne do działania kurary, upośledzenie oddychania, kurcze, przekrwienie płuc i innych narządów. U myszy i szczurów obserwowano zejście śmiertelne już po 3—7 minutach i w tym krótkim czasie wystąpiło zniszczenie kłębków Malpighiego w nerce, oraz poważne uszkodzenie kanalików krętych.

Niektórzy badacze uważają, że jad skorpiona działa podobnie do jadu węży i wywołuje w organizmie zwierzęcym



Ryc. 4

Aparat jadowy pajków: A rodzaj *Mygale*, B *Lathrodectes tredecimguttatus*. a gruczoł jadowy, b mięśnie, c ujście przewodu wyprowadzającego, d pasmo łącznotkankowe, e pazury chelicerów (wg E. Pawlowsky)



Ryc. 5

Przekrój poprzeczny gruczołu jadowego pajaka *Mygale*. m osłona mięsna, b warstwa podstawowa nabłonka, c wydzielina (wg E. Pawlowsky)

reakcję przeciwjadową. Odpowiednie surowice wyrabiają w Instytut Pasteur w Paryżu, Lister Institute w Londynie i Inst. Butantana w Brazylii. Lokalnie stosuje się wyssanie, wypalenie, okład z amoniaku i wstrzykiwanie roztworu wodnego chlorku wapniowego w okolice rany. W braku specyficznej surowicy można użyć surowicy przeciwwężowej.

Pajaki mają gruczoły jadowe złączone z przekształconymi w narządy szczękowe odnóżami. *Chelicerae* zakończone są szponami, na wierzchołku których uchodzą gruczoły jadowe, z pochodzenia przekształcone gruczoły skórne. Gruczoł taki, otoczony osłoną ze spiralnie przebiegających pęczków mięśni prążkowanych, posiada grubą błonę podstawową, na której spoczywa warstwa nieostro od siebie odgraniczonych komórek twórczych (ryc. 4 i 5). Różnopościowe ich jądra powstają prawdopodobnie drogą podziału bezpośredniego. Właściwe komórki gruczołowe również układają się w warstwę, lecz posiadają nierówną wysokość i całość wygląda, jak gdyby nie wszystkie dochodziły do światła. Protoplasma zawiera wydzielinę w postaci kwasochłonnych ziarenek, wypełniających komórki nabłonkowe. Przewód wyprowadzający wysłany jest nabłonkiem walcowatym i posiada słabo rozwiniętą warstwę mięsną.

W przeciwieństwie do skorpiona, pajak nie umie wybrać sobie miejsca do ukłucia, kąsa na ślepo, czasami unieruchomiwszy poprzednio ofiarę oprędem.

Najniebezpieczniejsza dla człowieka jest „czarna wdowa“, karakurt, *Lathrodectes tredecimguttatus*. Żyje on w południowej Rosji, na Kaukazie, we Francji, Hiszpanii, Italii i w Turkestanie, w okolicach piaszczystych i stepowych. Ukąszenie powoduje silny ból lokalny, zimny pot, bezdech, zaburzenia w akcji serca i pragnienie. Śmierć następuje czasami po 1—2 dniach. Jest specjalnie niebezpieczny dla koni i wielbłądów, a owce i świnie zjadają go bez szkody dla siebie. Pod względem chemicznym lepiej od jadu karakurta znany jest jad *Epeira diademata*, w którym wyróżniono grupę jadową i niejadową. Zawartością toksyczną jednej samicy można by wytruć 1000

kotów, gdyż oprócz wydzieliny gruczołów jadowych posiada ten pajak znacznie aktywniejszą od nich pod względem toksycznym krew oraz zawartość trującą rozwijających się jaj.

W grupie owadów, spotykamy wielkie bogactwo urządzeń jadowych, gdyż gruczoły jadowe łączą się tutaj bądź z żądłem, które jest przekształconym pokładełkiem, bądź z narządami szczękowymi, bądź też są nieuzbrojone i występują w skórze lub w końcowym odcinku przewodu pokarmowego. Anatomicznie przedstawiają się także bardzo różnorodnie, natomiast histologiczna ich budowa jest dość prosta i powtarza się bez większych zmian u rozmaitych gatunków. W gruczole jadowym owada stwierdzamy obecność delikatnej błony własnej, przekłanej licznymi tchawkami, na której spoczywają wielkie komórki gruczołowe pokryte na powierzchni warstewką chityny. Warstewka ta jest wytworem specjalnych komórek macierzystych, umieszczonych pod nią i podziurawiona jest licznymi otworami. Otwory te należą do kanalików chitynowych wyprowadzających jad i drążących dość głęboko w protoplazmę komórek gruczołowych. Zespół dwóch elementów: komórki gruczołowej i wyprowadzającej z kanalikiem chitynowym określamy jako kompleks Steina (ryc. 6).

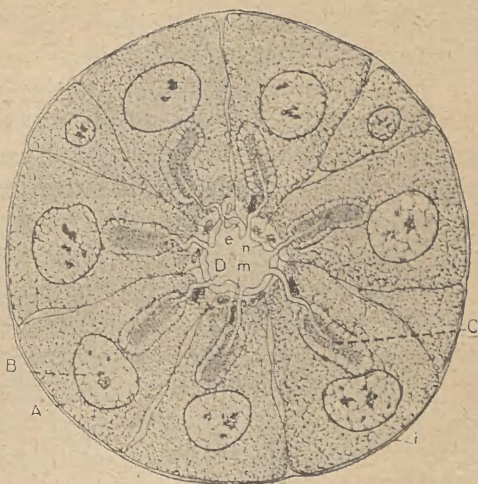
Gruczoł jadowy pszczoły, osy, mrówki, a więc najpospolitszych błonkówek, składa się z pary zmodyfikowanych gruczołów dodatkowych aparatu płciowego żeńskiego, które uchodzą razem do żądła. Jeden z nich, tzw. gruczoł kwaśny, ryc. 6, o skomplikowanej budowie cewkowej, posiada przewód wyprowadzający uchodzący do zbiornika, z którego wychodzi kanał, zdążający do żądła. Drugi gruczoł, mniejszy, workowaty, produkuje wydzielinę alkaliczną, nazywamy go dlatego gruczolem zasadowym. Zarówno zbiornik, jak i gruczoł alkaliczny posiadają pochwę mięsną.

Trująco działa jedynie mieszanina produktów obu gruczołów. Mieszanie odbywa się *ad hoc*, kiedy w momencie ukłucia wlewają się do rozszerzonej nasady żądła wydzieliny obydwu gruczołów.

Najlepiej zbadano czysty jad pszczoły. Jest to ciecz wyraźnie kwaśna o gorzkim smaku i aromatycznym zapachu. Rozpuszcza się w wodzie łatwo, a na powietrzu zasycha i wygląda wtedy jak guma arabska. Zawiera ona kwas mrówkowy oraz kwasy nieorganiczne: solny i fosforowy. Daje różne odczyny białkowe. Czynnikiem trującym ma być zasada organiczna, która strąca się za pomocą amoniaku i rozpuszcza w kwasach. Wg Flury'ego jest to cykliczny bezwodnik kwasowy o działaniu podobnym do kantarydyny. W jadzie ma być związany z lecytyną i jakimś aminokwasem, może tryptofanem.

Jady owadów tej grupy działają bardziej różnorodnie, niż jakiegokolwiek inne jady zwierzęce. Oprócz celów obronnych służą do paraliżowania różnych członków na pokarm dla przyszłego potomstwa. Różne żądłówki, które w dorosłej postaci są roślinożerne, jako larwy są mięsożercami. Samica za-

truwa więc system nerwowy jakiejś gąsienicy, czy owada, przenosi ofiarę do gniazda i składa na niej jajko. Wylęgła z jajka larwa ma w ten sposób zapewniony w unieruchomionym owadzie zapas świeżego mięsa. Charakterystyczne jest przy tym to, że jad takiej żądłówki jak np. *Sphex*, ma



Ryc. 6

Półszematyczny przekrój poprzeczny gruczołu kwaśnego kłującego owada z grupy błonkówek. A komórka gruczołowa, B jej jądro, C rozszerzenie kanalikula komórki wyprowadzającej, D ujście kanalikula, m jądro komórki wyprowadzającej, n jądro komórki twórczej chityny, e warstwa chitynowa, i *membrana propria* (wg E. Pawlowsky)

znacznie słabsze działanie lokalne w porównaniu z jadem osy lub pszczoły.

Jad pszczoły działa zarówno na kręgowce, jak i bezkręgowce. Wróbel ukłuty przez 2—3 pszczoły ginie wśród objawów uduszenia. Znane są przypadki śmierci ludzi lub koni, opadniętych przez rój pszczół. 500 ukąszeń powoduje śmierć człowieka, „*In vitro*” działa jad pszczoły hemolizująco na krwinki czerwone człowieka, świni, kury itp. Jest to zapewne działanie substancji toksycznej o charakterze saponiny.

Prawdziwą plagą ludzi i zwierząt są komary i inne owady, należące do dwuskrzydłych. Żywią się one pokarmem płynnym, niektóre krwią ludzką i zwierzęcą i dlatego mają narządy pyszczkowe przystosowane do przebijania grubej skóry konia, krowy itp. Po ukłuciu wprowadzona zostaje do ranki wydzielina ślinianek o działaniu wybitnie drażniącym. W omawianym przypadku ślinianki odgrywają rolę gruczołów jadowych. U *Anophelinae* spotykamy dwie ślinianki, z których każda składa się z trzech płatów, rozmaicie zbudowanych. Płat środkowy jest mniejszy od bocznych, a każdy boczny przedzielony na część podstawową i wyprowadzającą. Części te różnią się pomiędzy sobą budową histologiczną.

Drażniące działanie ukłucia komara sprowadza się do toksycznych własności jego śliny. Ślina *Anopheles maculipennis* zawierać ma aglutyninę, powodującą zlepianie się krwinek czerwonych człowieka. Własności śliny komara zależą nie tylko od rodzaju, lecz także i gatunku owada, a także od rodzaju chwilowego gospodarza pasorzyta.

Po ukłuciu komara powinno się miejsce zranione posmarować jodyną lub mieszaniną o składzie:

- 5 cz. formaliny
- 10 cz. alkoholu 90 %
- 10 cz. wody

Jako środek odstraszaający, działa wtarcie w skórę rąk, szyi i twarzy jednej z następujących mieszanin:

- 1.) Ol. Eucalypti 56,0 g
 Ol. citronelli 56,0 g
 alkoholu nasyconego kw. karbolowym IV krople
 (British Museum)

2.) Ol. Ricini

Ol. lavandulae aa

(Edwards)

3.) Ol. Citronelli 2 cz.

spirytus kamforowy 2 cz.

ol. cedrae 1 cz.

(Howard)

Rozmaite muchówki (*Diptera*) niebezpieczne są dla człowieka nie tyle z powodu jadu, ile jako roznosiciele ciężkich chorób zakaźnych, jak śpiączka, malaria itp.

Prócz uzbrojonych gruczołów jadowych posiadają jeszcze owady skórne gruczoły nieuzbrojone, produkujące w celach obronnych substancje drażniące o silnym zapachu, często nadzwyczaj niemiłym. Budowa gruczołów odpowiada opisanemu wyżej kompleksowi Steina, a przewód wyprowadzający uchodzi na powierzchni skóry w różnych okolicach ciała zwierzęcia. U chrząszczy, w rodzinie biegaczowatych — *Carabidae*, spotykamy po obu stronach odbytu przewody wyprowadzające rezerwoarów gruczołów analnych. Gruczoły te mają postać złożonych gruczołów pęcherzykowych lub cewkowych. W przypadku *Brachynus crepitans*, gatunku żyjącego w strefie palearktycznej, m. in. także i w Polsce, mamy do czynienia z bardzo interesującym urządzeniem. Podrażniony chrząszcz wyrzuca ze słabym trzaskiem chmurkę wydzieliny drażniącej ze swoich rezerwoarów. Ponieważ wydzielina mieści się w zbiornikach w stanie płynnym pod znacznym ciśnieniem, rozprasza się w powietrzu w postaci chmurki widocznej wyraźnie dla człowieka. Ściana zbiornika zabezpieczona jest przed pęknięciem przez liczne chitynowe blaszki i przegrody.

Chrząszcze z rodzaju *Carabus* — Biegacze wyrzucają celnie z gruczołów analnych przejrzystą ciecz o silnym zapachu, która dostawszy się na powierzchnię błony śluzowej lub do oka powoduje silny ból.

Pewne owady posiadają trujące związki we krwi i specjalne urządzenia do wydalania krwi na zewnątrz. U pewnych chrząszczy występuje we krwi substancja o charakterze kwa-

śnym, kantarydyna. Ma ona np. dla człowieka działanie drażniące, zażyta w większych ilościach wewnętrznie powoduje zapalenie nerek, później pęcherza, a w przypadkach ciężkiego zatrucia ulega jej działaniu także system nerwowy i następuje śmierć.

Z przewodem pokarmowym związane są gruczoły jadowe morskich głowonogów z rodzaju *Octopus*. Potwory te budziły zawsze postrach u ludzi, a marynarze wierzą, że ośmiornica, *Octopus vulgaris*, zabija człowieka przez otoczenie ramionami i wysssanie. Narządy trujące *Octopus* składają się z pary ślinianek tylnych, umieszczonych po obu stronach długiego przełyku zwierzęcia. Przewody wyprowadzające uchodzą wspólnym przewodem do przełyku, a wydzielina zabija kraba nie tylko po wprowadzeniu do wnętrza organizmu, lecz już po posmarowaniu skrzela. Dla człowieka nie jest niebezpieczna, o czym przekonują się osobiście amatorzy *frutti di mare*.

Wśród jadowitych kręgowców specjalne miejsce zajmują ryby jadowite, ze względu na różnorodność przejawów jadowitości i szkodliwości dla człowieka. Są bowiem wśród ryb takie, które nie posiadają specjalnych gruczołów jadowych, a są śmiertelnie trujące, gdyż mięso ich przepojone jest alkaloidami z grupy leukomainowej. Inne znów bywają trujące tylko w specjalnych okresach roku, np. w porze godowej gonady ich zawierają związki trujące i nie można spożywać ich ikry. Węgorze mają trujące składniki krwi, ale ponieważ związki te ulegają rozkładowi pod wpływem fermentów żołądkowych, mięso węgorzy jest jadalne mimo to.

Na specjalną wzmiankę zasługują te ryby, które posiadają gruczoły jadowe wraz z kolcami do zadawania rany. Kolce takie mieszczą się na grzbiecie, pokrywie skrzelowej lub ogonie zwierzęcia i są przekształconymi promieniami płetwowymi. W naskórku tych zwierząt znajdujemy dwa rodzaje komórek gruczołów, mianowicie komórki śluzowe i surowicze z ziarenkami kwasochłonnej wydzieliny. Te ostatnie są specjalnie rozwinięte na płetwach, w sąsiedztwie kolców jadowych. Komórki te tworzyć mogą specjalne skupienia, które jednak nie są wła-

ściwymi gruczołami, lecz zbiorowiskami pojedynczych komórek wydzielniczych. Do tego typu urządzeń zaliczyć należy pojawiające się tylko w okresie godowym gruczoły jadowe skórne różnych gatunków *Cottus*.

U trygona (*Trygon pastinaca*) znajdujemy aparat jadowy wyżej zorganizowany (ryc. 7.) Na ogonie tej ryby mieści się kilkocentymetrowy kołec, w którego dolnej powierzchni wyżłobiony jest podwójny rowek. W zagłębienia te wpukła się naskórek, którego głębszą warstwę stanowią liczne pokłady wyżej wspomnianych komórek surowicznych. Cechę aparatu jadowego trygona stanowi to, że ryba może posługiwać się nim aktywnie. Wymachując ogonem w prawo i w lewo może



Ryc. 7

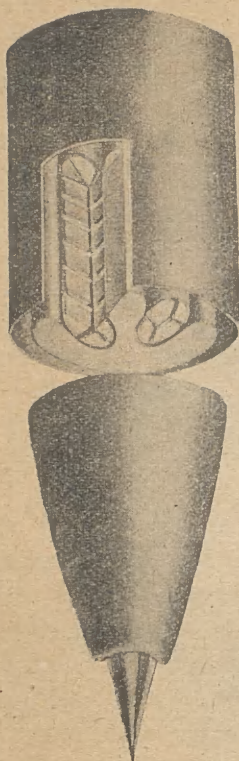
Przekrój poprzeczny kolca ogonowego (St) ryby *Trygon pastinaca*. ed komórki surowiczne, jadowe, sd komórki śluzowe, (wg E. Pawlowsky)

zadawać ciosy swą straszną bronią, a zakopawszy się w piasek na dnie morskim, powoduje rany na 5 cm głębokie, kiedy na kołec nastąpić. Po zranieniu odczuwa człowiek ból lokalny nie do zniesienia, po czym występuje zapalenie naczyń limfatycznych, obrzęk i sztywność zranionej części ciała, a czasem nawet śmierć. Trygon, żyjący m. i. także w Morzu Śródzie-

mnym, znany był już starożytnym, a Pliniusz pisze o nim tak: „Nie ma nic strasznego nad kolec, który uzbraja ogon trygona, zwanego przez Latynów *Pastinaca*. Jest on długi na

5 cali. Wbity w korzeń drzewa powoduje jego uschnięcie. Jak strzała przebija pancerz okrętu, jest mocny jak żelazo i ma własności trujące“. Należy podziwiać bystrość i trafność obserwacji starożytnego przyrodnika zwłaszcza, że do niedawna wielu badaczy zaprzeczało istnienia gruczołów jadowych u ryb, przypisując stany zapalne, wywołane ukłuciem np. kolca trygona infekcji wskutek dostania się śluzu z powierzchni skóry do rozdartych tkanek (Norman).

Rozmaici przedstawiciele ryb kostnoszkieletowych mają znakomite działające urządzenia jadowe. Są to przeważnie mało ruchliwi rabusie, chowający się na dnie morskim między glonami, kamieniami lub zagrzebujący się w piasku aż po oczy. Często mają odrażającą postać, co zaznaczają już ich nazwy, np. *Synanceia horrida*, lub *Scorpaena porcus*, jadalny „diabeł morski“. Z europejskich ryb morskich najniebezpieczniejszy jest dla człowieka *Trachinus draco* z rodziny *Trachinidae*, żyjący w Morzu Czarnym, Śródziemnym, tudzież na europejskim i afrykańskim brzegu Atlantyku.



Ryc. 8

Schemat budowy kolca jadowego płetwy grzbietowej ryby *Scorpaena porcus*. W zagłębieniach kolca gruczoły jadowe (wg E. Pawlowsky)

Trachinus draco jest rybą drapieżną, która zakopuje się w piasku aż po oczy i na widok zdobyczy z jamy gwał-

townie wypada. Rzecz prosta, że łatwo nastąpić na zagrzebanego osobnika, którego płetwa grzbietna zaopatrzona jest w 5-6 kolców jadowych. Posiada on prócz tego także kolec operkularny, który wysuwa w całości, rozciągając skórę. Na powierzchni kolca jest zagłębienie rowkowate, w którym mieści się gruszkowate skupienie komórek gruczołowych, z rozszerzeniem u podstawy kolca. Wydostający się z komórek jad spływa wprost na kolec, bez specjalnego przewodu wyprowadzającego. *Trachinus*, wzięty niebacznie do ręki, używa odruchowo kolca operkularnego do obrony: wykręcając się błyskawicznie, kłuje. Zraniony człowiek odczuwa w miejscu ukłucia silną bolesność oraz swędzenie i pieczenie. Ból rozszerza się gwałtownie, a jest to cierpienie tak nieznosne, że podobno popełniano samobójstwa wskutek tego, skacząc z pokładu okrętu do morza w ataku *delirium*. Dalsze objawy zatrucia, to utrudnienie oddychania, spadek tętna, zimny pot, konwulsje zapaść i często śmierć, a w przypadkach mniej ciężkich, zawsze powolny powrót do zdrowia. Wstrzyknięcie 5% roztworu wodnego nadmanganianu potasowego do rany ma łagodzić ból i zapobiegać fatalnym skutkom ukłucia.

Działanie jadu *Trachinus* interpretuje się bardzo rozmaicie. Pewni autorzy uważają go za neurotoksynę, inni za substancję działającą zapalnie, która nie wywołuje cięższych następstw w warunkach aseptycznych. Prócz tego stwierdza się ogromny wpływ na nerkę, podobnie jak po zastrzyku surowicy krwi węgorza. Inni wreszcie autorzy przypisują jadowi *Trachinus* działanie hemolizujące, jakkolwiek słabsze od jadu kobry.

Jeżeli tak się przedstawia znajomość fizjologicznego działania jadu *Trachinus*, który jest najlepiej opracowanym jadem ryby, to łatwo się domyśleć, że w znajomości zarówno morfologii jak i fizjologii gruczołów jadowych ryb, zwłaszcza tropikalnych, są duże luki i pole do badań dla pracowników, posługujących się nowoczesną techniką wydobywania czystych jadów, jest olbrzymie.

W skórze płazów znajdują się dwa rodzaje gruczołów: śluzowe i jadowe, uchodzące na powierzchni naskórka za po-

mocą krótkich przewodów wyprowadzających. Jakkolwiek u pewnych płazów np. jaszczura (*Salamandra*) mają obydwie rodzaje gruczołów produkować wydzielinę trującą, zajmiemy się głównie budową gruczołów jadowych, jako bardziej wyspecjalizowanych pod tym względem. Gruczoły jadowe spotykamy w skórze większości płazów, jakkolwiek zależnie od rodzaju osiągają one rozmaite stopnie rozwoju i nasilenia czynności jadotwórczej. U jaszczura, czy ropuchy tworzą one specjalne skupienia na głowie i grzbiecie, widoczne dobrze gołym okiem. W mniejszym stopniu uwidaczniają się one u żaby. Jako typ budowy gruczołu jadowego płazów przedstawię budowę histologiczną gruczołu ropuchy *Bufo bufo*, którą znam z własnych badań. Jest to twór pęcherzykowaty o wielkości zmiennej w szerokich granicach. Posiada grubą osłonę z tkanki łącznej, pod którą mieści się charakterystyczna warstwa mięsna, złożona z komórek wrzecionowatych o układzie południkowym. W okolicach szyjki gruczołu w miejscu, gdzie światło gruczołu przechodzi w światło przewodu wyprowadzającego, powstaje wyraźny zwieracz szyjki. Ta warstwa mięsna jest obficie unerwiona przez sieć nerwową o przebiegu również południkowym. Komórki gruczołowe produkujące wydzielinę mają wejrzenie ziarniste i padają ofiarą swej czynności w tym sensie, że w znacznej części rozpadają się, wypełniają po napełnieniu światło gruczołu masą nieprzejrzystą, mleczno-żółtawą, która nawet po ustaleniu skóry podczas krajania skrawków na mikrotomie do zamrażania, zachowuje swój ostry i niemiły zapach. Ten przykry zapach, a ponadto obrzydliwy smak wydzieliny gruczołów skórnych płazów, decyduje o obronnej wartości tych urządzeń. Gruczoły te bowiem nie posiadają żadnych urządzeń dodatkowych dla wprowadzenia jadu do organizmu ofiary poza mechanizmem mięśniowym, dzięki któremu jad wytryska po podrażnieniu zwierzęcia na pewną wysokość i może dostać się na powierzchnię skóry czy błony śluzowej wroga. Natomiast obecność gruczołów jadowych z wydzieliną o obrzydliwym smaku i zapachu, znakomicie chroni te zwierzęta przed napacją mimo, że mają czasami rzucające się w oczy ubarwienie.

Budowa chemiczna i działanie farmakodynamiczne jadów płazów są naogół znane w rezultacie bardzo licznych badań w tej dziedzinie. W jадzie jaszczura odkrył Zalesky jeszcze w ubiegłym wieku (1866) substancję trującą, wyosobnił ją i nazwał samandaryną. Uchodzi ona za pierwszy wyosobniony alkaloid pochodzenia zwierzęcego. W nowszych czasach wyosobnił Faust ze skóry 800 egzemplarzy jaszczura 1,8 g siarczanu samandaryny i prócz tego drugi jeszcze związek, samandarydynę, w ilości 4 g. Obydwa alkaloidy są według tego autora pochodnymi chinoliny. Samandaryna, 7—8 razy aktywniejsza od samandarydyny, należy do trucizn skurczowych. Ze skóry jaszczura czarnego *S. atra*, uzyskano trzeci jad, samandatrynę, zajmujący miejsce pośrednie co do działania między tamtymi dwoma. Wszystkie trzy stanowią grupę jadów skurczowych, których działanie odpowiada pikrotoksynie i strychninie.

Jad ropuchy zawiera różne substancje chemiczne, które pod względem działania farmakologicznego, a poniekąd także budowy chemicznej, podobne są do glikozydów naparstnicy i cebuli morskiej. Dawniej uważano za połączenie czynne w jадzie krystaliczny bufotalin, obecnie wyosobniono jeszcze cały szereg innych związków o budowie zbliżonej do steroli, kwasów żółciowych czy hormonów płciowych, której podstawą jest układ cyklopentanofenantrenowy. Otrzymane z surowego jadu bufaginy odpowiadają pod względem działania aglikonom naparstnicy, a bufotoksyny są połączeniami bufagin z pewnymi aminokwasami.

Trujące działanie jadu wielkich ropuch południowo-amerykańskich z gatunku *Bufo marinus* wyzyskiwane jest przez tubylcze szczepy do zatruwania strzał.

Jadowitość ropuch dochodzi do zenitu w okresie parzenia się, lecz tylko u samców gruczoły skórne wypełniają się wtedy wydzieliną jadową. Gruczoły samic są natomiast puste, a cały jad gromadzi się w gonadach. Jak się tam dostaje, nie szkodzić zwierzęciu mimo, że ropucha reaguje na swój wła-

sny jad, podobnie jak na glikozydy grupy *digitalis*, jest to tajemnicą urządzeń ustroju zwierzęcego.

Wśród gadów nie spotykamy gruczołów jadowych skórných, jedynie przekształcone części ślinianek szczęki górnej, które połączone są z zębami jadowymi, znakomicie przystosowanymi do wprowadzenia jadu do organizmu ofiary. Oprócz jadowitych węży znane są także jadowite jaszczurki amerykańskie z rodziny *Helodermatidae*. *Heloderma suspectum*, żyjąca w pustyniach Arizony i w Nowym Meksyku, ma niesamowity wygląd, gdyż dochodzi do 1 m długości, a ubarwieniem przypomina jaszczura. Jest to drapieżnik nocny, ukrywający się za dnia. Tubylcy zowią ją euskorpionem, co wskazuje na jadowitość. Posiada ona istotnie dwa gruczoły jadowe, homologiczne z niejadowitymi gruczołami szczęki dolnej węży. Są to twory parzyste, leżą w sąsiedztwie szczęki dolnej, a każdy składa się z 5 zrazików, z których wychodzą osobne przewody wyprowadzające. *Heloderma* zadaje rany zębami szczęki dolnej, które są zakrzywione i zaopatrzone w rowki. Siła ukąszenia zależy od potężnie rozwiniętych mięśni okolicy skroniowej, które też wyciskają jad z gruczołów, gdyż nie posiadają one własnego umięśnienia. Z działaniem jadu tej jaszczurki zapoznała się osobiście p. Phisalix, gdyż podczas dokonywania doświadczeń zwierzę ugryzło ją w palec. Siła zwarcia szczęk była tak wielka, że dopiero narzędziami udało się je rozewrzeć. Badaczka uczuła gwałtowny ból, sięgający aż do pachy, rana silnie krwawiła, a otoczenie jej obrzękło. Na czoło badaczki wystąpił pot, twarz gwałtownie pobraźla, doznała zawrotów głowy, a po godzinie wystąpiły konwulsje połączone z utratą przytomności. Po odzyskaniu jej odczuwała badaczka wielkie osłabienie i przez pięć miesięcy nie mogła przyjść do siebie. Nic więc dziwnego, że uważa *Heloderma* za zwierzę bardzo jadowite. 0,005 mg suchej substancji trującej stanowić ma dawkę śmiertelną dla człowieka.

Gruczoły jadowe węży są parzyste i stanowią albo tylną część ślinianek szczęki górnej, albo występują niezależnie od nich, zajmując środkową i przednią okolice skroniową. Budo-

wa ich mikroskopowa podobna jest do ślinianek ssaków, są to więc złożone gruczoły cewkowo-pęcherzykowe (ryc. 9). Pęcherzyki gruczołowe wysłane są komórkami o wyglądzie surowiczych, w protoplaźmie których znajdują się liczne ziarenka, przekształcające się w świetle pęcherzyka w wydzielinę jadową. Przewód wyprowadzający ma w pewnym odcinku nabłonek gruczołowy, którego wydzielina śluzowa stanowić ma domieszkę wydzieliny jadowej. W ścianie gruczołu brak mięśni, wydalanie następuje wskutek skurczu mięśni okolicy skroniowej czaszki (*m. temporalis anterior*). Gruczoł jadowy zaopatruje specjalna gałązka tętnicza, odgałęzienie *A. facialis*, a unerwia go *ramus maxillaris trigemini*.

Cechę charakterystyczną jadowitych węży stanowi obecność zębów jadowych. Są one zazwyczaj znacznie większe od pozostałych i mogą być wydrażone w środku, a wtedy kanał kończy się otworem na przedniej powierzchni



Ryc. 9

Budowa histologiczna gruczołu jadowego żmii. B odcinki wydzielnicze, A przewód wyprowadzający z komórkami śluzowymi (wg E. Pawlowsky)

zęba, nieco niżej jego końca (ryc. 10). Takie zęby jadowe mają np. żmije. Okularnik zaś posiada ząb rynienkowy, tj. z zagłębieniem wzdłużnym, które służy do odprowadzania jadu do rany. Zęby jadowe tkwią w szczęcie górnej, a fałd błony śluzowej podniebienia pokrywa ich nasadę, na której uchodzi przewód wyprowadzający gruczołu. U żmii długość zęba wynosi 5 mm. Są one na ogół bardzo ostre i kruche, lecz w miejsce złamanego wyrasta zaraz ukryty za nim ząb zastępczy, a odrastanie tych zębów jest nieograniczone.

Jad węży jest płynem, który po wysuszeniu pozostawia proszek, nie tracący jadowitości przez całe lata. Czysty jad otrzymuje się, chwytając węża szczypcami za głowę i wsuwając mu w otwartą paszczę naczynko szklane, które gad kąsa i jad spływa do niego. Wysuszona w eksykatorze próżniowym pozostałość jest lepką substancją o reakcji słabo kwaśnej, gorzkim smaku, bezbarwna lub żółtawa, o różnej rozpuszczalności w wodzie. Wydzielina gruczołu jadowego zawiera białko, ulegające koagulacji i nie koagulujące się pochodne białkowe: peptony i albumozy, dalej mucyny i związki pokrewne, fermenty, lipidy, sole: chlorki i fosforany (wapniowy, magnezowy i amonowy), wreszcie składniki upostaciowane: złuszczone nabłonki gruczołowe i z jamy ustnej, oraz bakterie.



Ryc. 10

Różne postacie zębów węży. A ząb opatrzony rynienką, B ząb z kanałem, C ząb zwykły, o rynienka, e kanał, i jego ujście, a, b, c przekroje poprzeczne zębów (wg E. Pawlowsky)

Jad węży nie jest ciałem jednolitym i dotąd uchodzi za mieszaninę różnych składników toksycznych. W jadzie żmii np. mają być conajmniej trzy rodzaje związków trujących: hemoragina, która uszkodza ściany naczyń krwionośnych i powoduje wylew krwi do tkanek, neurotoksyna, działająca na system nerwowy centralny i hemolizyna, rozpuszczająca krwinki czerwone. Jady

wężów zawierają więc conajmniej dwa, czasem więcej, różnych czynników toksycznych. Według klasyfikacji Houssey'a w skład jadu węży wchodzi:

1. Enzymy proteolityczne, powodujące procesy koagulacyjne, ciężkie krwotoki i niszczenie tkanek w miejscu ukąszenia.
2. Fostatydazy, fermenty rozkładające lipidy z grupy fosfatydów. Wskutek ich działania powstają np. z lecytyn związki zwane lizolecytynami o bardzo silnych zdolnościach hemolizowania.

3. Neurotoksyny o bardzo silnym, jakkolwiek zmiennym, działaniu na system nerwowy.

Nie ulega jednak wątpliwości, że oprócz tych trzech grup występuje jeszcze w jadzie tych zwierząt szereg enzymów o odmiennym działaniu.

Zależnie od objawów działania możemy również podzielić jady węzów na trzy wielkie grupy:

1) jady o bardzo gwałtownym działaniu miejscowym. W miejscu zranionym gwałtowny ból, w okolicy kolosalny obrzęk, bardzo szybko gangrena i odpadanie tkanek aż do kości. Tak działają jady różnych węży tropikalnych, do tej grupy należy również jad żmii.

2) jady o słabym działaniu miejscowym, a potężnym ogólnym, zwłaszcza na system nerwowy. W miejscu ukąszenia, poza lekkim obrzękiem, prawie nie ma zmian, a ból jest minimalny. Dopiero nieco później ukąszona okolica ziębnie, występuje nieopanowana senność, serce ustaje, oddech zamiera i w 2-7 godzin po zranieniu następuje śmierć. Tak działa m. i. jad kobry.

3) jady nie wywołujące poza silnym bólem żadnej reakcji w miejscu ukąszenia, o bardzo gwałtownym działaniu na żołądek. Powodują ślinotok, parażenie mięśni, i inne objawy oponowe. Tak działają jady np. koralowych węży amerykańskich *Elaps corallinus*.

Jedynym znanym jadowitym ssakiem jest dziobak, *Ornithorhynchus paradoxus*, żyjący w Australii. Samiec posiada na tylnych nogach pazur tarsalny, zaopatrzony w kanał. Do niego dochodzi przewód wyprowadzający gruczołu goleniowego, *gl. cruralis*. Gruczoł ten, o wymiarach powierzchni 3 na 2 cm, ma złożoną budowę pęcherzykową. Pęcherzyki te wysłane są komórkami o wydzielinie ziarnistej, a na powierzchni ich mieszczą się mięśnie gładkie. Wydzielina obfituje w białko, zranienie jest bolesne, ale nie niebezpieczne, jakkolwiek wywołuje szybko posuwający się naprzód miejscowy stan zapalenia.

Chemiczny przegląd jadów zwierzęcych według dzisiejszego stanu wiedzy nie wypada bardzo pouczająco, gdyż zbyt

wiele znamy drobnych szczegółów, podczas gdy zasadnicze kwestie ciągle pozostają niejasne. Winę ponosi tutaj w dużym stopniu brak współpracy między serologią i nauką o odporności z jednej, a chemią toksykologiczną z drugiej strony. Badacze z pierwszej grupy dopatrują się w jadach zwierzęcych mieszaniny trujących białek, toksyn, a więc hemotoksyn, neurotoksyn czy cytotoxyn o charakterze antygenowym. Dla badaczy drugiej grupy mają znaczenie wolne od białka, sztucznie wyisobnione substancje, które usiłują oni chemicznie badać i określać jako właściwe substancje trujące, podczas gdy towarzyszącym im ciałom o charakterze białkowym lub lipidowym przypisują niezmiernie ważną czynność elementów wiążących, które są w stanie wpływać na działanie właściwego czynnika toksycznego i zmieniać je. Nie ulega wątpliwości, że te wielkocząsteczkowe związki tworzą z jadem podstawowym kompleksy chemiczne o zmiennej sile i rodzaju działania.

Prócz białek i lipidów zasługują jeszcze na uwagę enzymy, jako toksyczne składniki wielu jadów zwierzęcych. One to wytwarzają z normalnych składników tkanek, np. z lecytyn, niezmiernie toksyczne produkty o działaniu przede wszystkim hemolizującym, liolecytyny, powstające z lecytyn tkankowych pod wpływem składnika hydrolizującego jadu kobry.

Kompleksy jadowo-białkowe lub jadowo-lipidowe tłumaczą znakomicie związek jadowitości zwierząt z porą roku: stale występujące w organizmie „toksogeny” o słabym lub żadnym działaniu toksycznym, zyskują w pewnym okresie cyklu rocznego połączenie z białkami, wytworzonymi np. w aktywnych gonadach i stają się dzięki temu pełnowartościowymi jadami czynnymi. Tego rodzaju ujęcie budowy chemicznej jadów sprowadza wielostronne własności toksyczne pewnych wydzielin zwierzęcych nie do działania odmiennych jednostek chemicznych, lecz zmiennych kompleksów jadu właściwego „toksogenu”, z białkami lub lipidami o nieograniczonych możliwościach powstawania.

PIŚMIENNICTWO

1. Ackermann, J.: Über die Innervierung der Giftdrüsen der Kröte *Bufo bufo*. Bull. Int. Acad. Pol. Sc. L. Série B 1937.
2. Edwards, T.: On the British Species of *Simulium*. Bull. Entom. Res. Vol. 6 1915 cyt. wg Pawlowsky'ego.
3. Faust, E. S.: Beiträge zur Kenntnis der Salamanderalkaloide. Arch. f. exp. Pathol. u. Pharmakol. T. 43 1899 (wg Pawlowsky'ego).
4. Faust, E. S.: Über das Ophidiotoxin aus dem Gifte der ostindischen Brillenschlange *Cobra di Capello* (*Naja tripudians*). Tamże, t. 56 1907.
5. Faust, E. S.: Über das Crotalotoxin aus dem Gifte der nordamerikanischen Klapperschlange (*Crotalus adamanteus*). Arch. exp. Pathol. t. 64 1911.
6. Flury, F.: Handbuch d. normalen u. patholog. Physiologie t. 13 1929 (wg Oppenheimer).
7. Francis, Eric T. B.: The anatomy of the Salamander, Oxford 1934.
- 7a. Houssay, B. A. and Hug, E.: Comptes Rend. Soc. Biol. t. 99 1928.
8. Howard: The mosquitoes of North — and Central-America and West Indies 1912 cyt. wg Pawlowsky'ego.
9. Kalayof, F.: Etudes sur les toxines des pédicellaires des Oursins, Genève, 1906 wg Pawlosky'ego.
- 9a. Kellaway, C. H. Animal poisons, Ann. Rev. of Biochem. vol. VIII 1939.
10. Norman: A history of fishes.
11. Oppenheimer: Handbuch der Biochemie I. Band, Ergänzungswerk 1933.
12. Oppenheimer: Handbuch der Biochemie II. Band, Ergänzungswerk 1934. Rozdział p. t. Die giftigen Ausscheidungen der Tiere von A. Maass.
13. Pawlowsky, E.: Ein Beitrag zur Kenntnis des Baues der Giftdrüsen einiger Soropaeniden. Zool. Jahrb. Abt. Anat. t. 31 1911.

14. Pawlowsky, E.: I. Ein Beitrag zur Morphologie der Giftdrüsen der Skorpione. Ztschr. f. wiss. Zool. t. 105 1913.
15. Pawlowsky, E.: II. Ein Beitrag zum Bau und zur Entwicklung der Giftdrüsen bei den Skorpionen. Tamže t. 112. 1914.
16. Pawlowsky, E.: Zur Kenntnis der Giftdrüsen der Arthropoden Trav. de la Soc. Nat. de St. Petersburg vol. 43 1912.
17. Pawlowsky, E. N.: Gifttiere und ihre Giftigkeit Jena 1927.
18. Phisalix, M.: L'appareil venimeux et le venin de l'*Heloderma suspectum* Cope. Journal Physiol. Pathol. général. T. 17 1917 (wg Pawlowsky'ego).
19. Schulze, P.: Der Bau und die Entladung der Penetranten von *Hydra attenuata* Pallas. Arch. f. Zellfg t. 16 1922.
20. Zalesky: Über das Samandarin, das Gift der *Salamandra maculata*. Hoppe-Seyler Med.-Chem. Unters. Berlin 1866 (cyt. wg Pawlowsky'ego i Francis'a).

