
R G B WH GR BL
Grey Scale #13
C M Y K
DANES-PICTA.COM
A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19
Colour Chart #13
Blue
Cyan
Green
Yellow
Red
Magenta
White
3/Color
Black
Inches
Centimetres
DANES-PICTA.COM

Z DZIEDZINY NAUKI I TECHNIKI

TOM VI

Z DZIEDZINY

NAUKI I TECHNIKI

BIBLJOTEKA POPULARNO - NAUKOWA

TOM VI

Dr JAN DEMBOWSKI

W POSZUKIWANIU ISTOTY ŻYCIA

WARSZAWA
NAKŁADEM „MATHESIS POLSKIEJ"
1934

W POSZUKIWANIU ISTOTY ŻYCIA

HISTORJA NATURALNA JEDNEGO PIERWOTNIAKA

NAPISAŁ

Dr JAN DEMBOWSKI

PROF. WOLNEJ WSZECHNICY POLSKIEJ, DOC. UNIW. WARSZ.

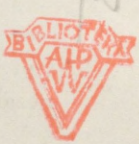
WARSZAWA

NAKŁADEM „MATHESIS POLSKIEJ"

1934

WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE

3451/2



ZAKŁADY DRUKARSKIE F. WYSZYŃSKI I S-KA, WARSZAWA

PRZEDMOWA

Życzliwe przyjęcie, jakiego doznało pierwsze wydanie tej książki (Historja naturalna jednego pierwotniaka, jako wstęp do biologji ogólnej. Bibljoteka Polska, Warszawa 1924) zachęciło mnie do opracowania jej na nowo. W ciągu ubiegłych lat dziesięciu bardzo wiele zmieniło się w naszych poglądach na procesy życiowe pierwotniaka, przedewszystkiem ogromnie wzrosła suma naszych wiadomości. Na przykładzie „pantofelka" coraz częściej próbuje się rozwiązywać zagadnienia ogólno biologiczne i historja życia jednego pierwotniaka pozornie tylko jest problematem specjalnym. Gdybyśmy zdołali naprawdę gruntownie i wyczerpująco poznać życie pantofelka, poznalibyśmy istotę życia wogóle.

Starałem się w miarę możności uwzględnić nowsze zdobycze wiedzy, co doprowadziło do gruntownej przeróbki pierwotnego tekstu książki, który został prawie podwojony. Nie mniej usiłowałem zachować ten sam charakter książki, kładąc szczególny nacisk na przystępność wykładu. Trudność niektórych zagadnień parokrotnie stanęła temu na przeszkodzie. W każdym razie zrozumienie książki nie wymaga żadnych specjalnych wiadomości faktycznych.

Jak dawniej, nie mogłem się zdecydować na cytowanie w tekście autorów poszczególnych prac. Dla początkującego biologa jest korzystne przejąć się czyimś jednolitym poglądem, zanim przystąpi do wyrobienia sobie poglądu własnego. Tak nazwana objektywność wykładu jest w gruncie

rzeczy rzuceniem czytelnika na flukty sprzecznych z sobą opinij, co powoduje z reguły dezorjentację i zniechęcenie. Zarówno w życiu, jak w pracy naukowej trzeba się zdecydować na jakiś pogląd, a zanim się zdobyło doświadczenie własne, dobrze jest skorzystać z cudzego.

W spisie literatury cytuję tylko dzieła treści ogólniejszej, w których czytelnik znajdzie wskazówki faktyczne i bibljograficzne.

JAN DEMBOWSKI

WARSZAWA
Kwiecień 1934

PRZEDMOWA DO WYDANIA PIERWSZEGO

Biologja jest dziwną nauką, którą każdy rozumie inaczej. Dla jednych wiąże się ona ściśle z ewolucją i transformizmem, dla drugich zaś jest nauką eksperymentalną. Niektórzy utożsamiają biologję z ekologją, inni znowu rozumieją biologję, jako część medycyny ogólnej, jeszcze inni uważają, że jest ona rodzajem syntezy wszystkich nauk, poświęconych przyrodzie żywej. Przyczynę podobnej różnicy zdań nietrudno jest wykryć. Poszczególne gałęzie nauki biologicznej tak się rozrosły, że wyodrębniły się w samodzielne nauki, zagarniając cały obszar i nie pozostawiając dla biologji miejsca. Gdy biolog dokonywa obserwacyj nad życiem psychicznem zwierząt, wkracza on w dziedzinę zoopsychologji, gdy się zwróci do eksperymentalnego badania przejawów życia, natrafi na sprzeciw ze strony fizjologa. Rozwój organizmów opanowała embrjologja, budowę — anatomja porównawcza, stosunki dziedziczne — genetyka, czynności — fizjologja. Jeśli biologja ma być tylko pojęciem nadrzędnem w stosunku do wszystkich nauk biologicznych, nie wolno jej badać zjawisk życiowych, gdyż tem zajmują się jej części składowe. W tym przypadku biologja, jako samodzielna nauka, staje się fikcją i można o niej powtórzyć to, co powiedział Windelband o filozofji, która, jak król Lear, rozdała swe królestwo córkom, sama zaś pozostała nędzarzem. Nic więc dziwnego, iż uniwersytety nasze nader trudno decydują się na wprowadzenie katedr biologji. Jest ona tolerowana jedy-

nie na wydziałach lekarskich i to głównie dlatego, iż w zastępstwie botaniki i zoologji musi dać przyszłemu lekarzowi pewne wiadomości o zjawiskach dziedziczności, pasorzytach i t. p., co się w praktyce niekiedy przydaje.

A jednak biologja posiada coś własnego. Posiada ona swoją własną metodologję, swój odmienny sposób ujmowania rzeczy. Jeśli dla morfologa zwierzę jest kształtem, dla fizjologa zaś mechanizmem, dla biologa jest ono przedewszystkiem żywym organizmem, jest harmonijną całością o określonych potrzebach i właściwościach. Biologja operuje tym samym materjałem konkretnym, co inne nauki o istotach żywych, ale wnosi doń swoją indywidualność, swego odrębnego ducha. W oświetleniu biologicznem fakty anatomiczne, fizjologiczne lub embrjologiczne nabierają nowej treści, biologja powołuje do życia nowe problematy i nowe programy pracy dla nauk ściślejszych. Biologiczny punkt widzenia jest owym sędzią, który orzeka, czy dana interpretacja da się powiązać z harmonją życiową, jaką stanowi każdy bez wyjątku organizm, a jednocześnie jest niewyczerpanem źródłem problematów, pobudzających myśl badawczą. Mówiąc ogólnie, biologja ma za zadanie *badanie organizmu w jego naturalnem otoczeniu.*

Bez faktów morfologicznych, fizjologicznych, embrjologicznych, ekologicznych, paleontologicznych i t. d. i t. d. biologja nie byłaby możliwa, jak nie istniałby fach budowniczego, gdyby nie było murarzy i cieśli. Każda nauka specjalna bada organizm jednostronnie, ale zdobyta w ten sposób wiedza jest fragmentaryczna i staje się harmonijnym systemem dopiero dzięki biologji. Dlatego też pominięcie biologji w wykształceniu przyrodniczem stwarza bardzo poważną, zasadniczą lukę.

Na czem polega odrębny, biologiczny punkt widzenia, długoby o tem mówić. Zamiast obietnic i definicyj wolę przedstawić czytelnikowi przykład konkretny w postaci książeczki niniejszej.

Popularnem często nazywają takie dzieło, którego czytanie nie wymaga żadnego wysiłku umysłowego. Przyznam się, iż zbyt szanuję naukę, aby ją w ten sposób traktować. Każda nauka ma swoje wątpliwości, gdyż te są właściwe badającemu umysłowi ludzkiemu. Pisać rzecz popularną we wskazanem znaczeniu tego wyrazu znaczyłoby pomijać te wątpliwości, obracać się w nudnej sferze rzeczy znanych i ustalonych, a tem samem pozbawić przedmiot jego cech prawdziwych i obniżyć poziom jego badania. Jak mamy się przejąć duchem naukowym, jak mamy poznać metody myślenia, gdy dają nam do ręki jedynie gotowe fabrykaty, drzwi zaś laboratorjum skrzętnie zamykają przed nami? Przeciwnie, właśnie do laboratorjum czytelnika zapraszam. Rozprawa o „pantofelku“ nieraz będzie wymagała poważnego zastanowienia się nad istotą niezwykle zawiłych i trudnych do interpretowania zjawisk życiowych. Nie przeszkadza to jednak jej popularności, gdyż zrozumienie dziełka nie wymaga żadnych specjalnych wiadomości faktycznych i jest dla każdego dostępne. Może z niego korzystać uczeń klas starszych, który chciałby się dowiedzieć czegoś takiego, o czem mu w szkole nie mówią, może korzystać i nauczyciel, jeśli zechce kiedy opowiedzieć swoim uczniom o „dziwach z życia pantofelka“. Lekarz, który nadto przywykł do organizmu człowieka i dla którego nie będzie rzeczą bezpożyteczną spojrzeć na swoje wiadomości nieco z innej strony, i student, który właśnie przerabia w laboratorjum kurs zoologji praktycznej, znajdą tu niejedną wskazówkę. Dziełko niniejsze zawiera trochę oryginalnych obserwacyj i wnio-

sków i sądzę, że badacz-specjalista również znajdzie tu parę myśli nowych.

Pisząc historję życia pantofelka, posługiwałem się bardzo licznemi pracami specjalnemi, które razem tworzą cały dział literatury biologicznej. Nie mogłem się jednak zdecydować na cytowanie tych prac w tekście, gdyż to niezmiernie utrudniłoby czytanie. Wymienienie kilku nazwisk i tytułów na każdej stronicy jest rzeczą najzupełniej zbędną dla niespecjalisty, który przecież nie zechce się w te rzeczy zbytnio zagłębiać, tembardziej zaś dla fachowca, który i bez tego wie, gdzie ma szukać odnośnych dat. Nie idzie tu wszak o specjalną pracę naukową, lecz o rozprawę treści ogólnej. W końcu książki podaję niektóre dzieła, gdzie czytelnik, nie fachowiec, znajdzie dalsze szczegóły.

Łaskawego czytelnika proszę o względność i cierpliwość. Gdy przebrnie mężnie przez miejsca nudne i przydługie, wówczas z poza nieudolnego opisu przejrzy on piękną postać samego pantofelka, istotki tak głębokiej i zagadkowej, że nie wiem naprawdę, z czem ją porównać.

J. D.

WARSZAWA
Luty 1922

SPIS RZECZY

Rozdziały

I	Wiadomości wstępne	1
II	Budowa pantofelka	21
III	Ruch	50
IV	Tropizmy	80
V	Geotropizm	112
VI	Pobieranie i trawienie pokarmu	145
VII	Wybór pokarmu	175
VIII	Oddychanie	195
IX	Wydalanie	211
X	Podział	233
XI	Konjugacja	264
XII	Zmienność i dziedziczność	299
XIII	Psychika	322
Niektóre źródła		353
Skorowidz alfabetyczny		354

SPIS TABLIC

		Obok str.
I	Pantofelek powiększony około 600 razy . .	21
II	Schemat powierzchniowych struktur pantofelka	35
III	Włókienka przewodzące wpobliżu peristomu.	36
IV	Fig. 16. Wyrzucone trichocysty. Fig. 17. Stosunek trichocystów do rzęsek i włókienek ektoplazmy	40
V	Utrwalone fale rzęskowe	49
VI	Urządzenie do obserwacji podczas wirowania.	136
VII	Fig. 76. Podział jądra mniejszego. Fig. 77. Podział wodniczka kurczliwego	236
VIII	Trzy fazy konjugacji pantofelka	272

ROZDZIAŁ I

WIADOMOŚCI WSTĘPNE

NIEWIELKIM słoikiem szklanym zaczerpniemy wody ze stawu lub sadzawki, gdzieś wpobliżu gnijących liści i gałązek. Do słoika wrzucimy parę nadgniłych roślin, trochę rzęski, trochę zielska wodnego i wszystko to postawimy u siebie na stole.

Upływa kilka dni, a nic się w słoiku nie dzieje, stoi on nadal spokojnie. Ale w rzeczywistości odgrywają się w nim bezgłośne dramaty i tragedje, mrożące krew w żyłach, wre bujne, zaborcze, rozpętane życie. Gdybyśmy mogli zmniejszyć nasze ciało kilkaset razy, gdybyśmy odbyli wędrówkę wśród splątanej dżungli roślinności, napełniającej słoik, poznalibyśmy nowy świat, w którym żyją tysiące istot o pięknych, subtelnych kształtach, świat o tajemniczych prawach i porządkach, zupełnie niepodobny do naszego.

Nie potrafimy tego uczynić. Jednak droga odwrotna stoi przed nami otworem: możemy powiększyć zawartość słoika, nie zwiększając tem ani siły, ani krwiożerczości jego mieszkańców. Poprostu weźmiemy kroplę wody ze słoika i obejrzymy ją pod mikroskopem.

Uderzy nas nadzwyczajna obfitość wszelkiego ro-

dzaju żyjątek, szybko pływających dokoła. Będą tam malutkie kulki ruchome, zielone, brunatne, szare lub przezroczyste, będą istotki kształtu jajowatego, zataczające kręgi i spirale, będą stworzonka sercowate, nerkowate, lejkowate, wrzecionowate, większe i mniejsze, siedzące, pełzające, skaczące, pływające. Oczom naszym jawi się cały mikrokosmos.

Tkwi w tem jakaś przedziwna zagadka. Dlaczego właściwie odrazu po zajrzeniu do mikroskopu wiemy, że mamy do czynienia z istotami żywemi? Widzimy przecież tylko tysiące poruszających się cząstek różnego kształtu. Może to jakieś fragmenty, oderwane od roślin wodnych, może muł, unoszony prądami wody, może kurz, naniesiony przez wiatr. Skąd pewność, że ciałka te żyją? Ruch ich niczego jeszcze nie dowodzi. Cząstki kurzu wirują w powietrzu, płatki śniegowe podczas zamieci wykonywują fantastyczne ruchy, a nikomu nie przyjdzie na myśl przypisać im cechę życia. Tu nie idzie tylko o ruch. Raczej ruch ten jest jakiś swoisty, osobliwy. Płatek śniegowy może zakreślać skomplikowane krzywe i zygzaki, ale już na pierwszy rzut oka widać, że wszystko mu jedno dokąd leci, nie ma on żadnego celu przed sobą. Unosi go wiatr, unosi siła ciążenia, ale sam płatek pozostaje obojętny, nie znać wcale, aby opierał się on czynnie działającym nań siłom zewnętrznym. Cząstki jakiegokolwiek drobnego proszku, zawieszone w wodzie, skaczą i tańczą w polu widzenia mikroskopu, ale w ruchach ich jest jakiś szablon. Gdy się poznało jedną z nich, poznało się je wszystkie. A nasze istotki ze słoika pływają tak, jakgdyby czegoś chciały, do czegoś dążyły, w ruchach

ich dostrzegamy pewną niezależność, dowolność, powiedziałbym fantazję i to właśnie nadaje im swoisty, a niezmiernie trudny do opisania charakter. Zastanawiające jest, że oko nasze chwyta ten charakter od pierwszego wejrzenia.

To właśnie jest zagadkowe. Dlaczego w tak osobliwy i nieuzasadniony sposób stosujemy się do ruchów mikroskopowych żyjątek? Nieraz rozmyślałem nad tem i dochodzę do dziwnego wniosku. Ponieważ sami jesteśmy istotami żywemi, życie przemawia do nas bezpośrednio, *czujemy* jego obecność, choć niezmiernie trudno nam jest ująć to odczucie w ramy definicji. W ruchach mieszkańców słoika odnajdujemy coś swojskiego, coś takiego, co znamy z codziennej obserwacji. Cóż nam daje codzienna obserwacja życia? Chyba tylko znajomość zachowania się ludzi, bo z innem życiem rzadko mamy do czynienia. Nie może być inaczej, tylko ruchy żyjątek ze słoika w czemś ważnem i istotnem przypominają nam nasze własne!

Przyjrzymy się życiu jednej z tych mikroskopowych istotek, podążymy za nią w jej sprawach i zainteresowaniach codziennych. Może dowiemy się od niej czegoś ciekawego o sobie.

*

Wśród pstrego tłumu, tłoczącego się w kropli wody, odnajdziemy także pantofelka, bohatera naszej opowieści. Znajomość zaczyna się od prezentacji, wymaga tego dobre wychowanie. Mam więc zaszczyt

przedstawić czytelnikowi pantofelka, którego właściwe nazwisko brzmi:

PARAMAECIUM CAUDATUM
Ehrenberg
typu *Protozoa*, podtypu *Ciliophora*,
klasy *Ciliata*, *rzędu Holotricha*.

Należy on do starej, arystokratycznej rodziny, której przodkowie żyli w czasach, gdy nie było jeszcze człowieka na świecie.

Poznamy go łatwo. Jest nieco większy od większości swych współtowarzyszy... niewoli, powiedziałbym, gdyby litrowy słoik nie był dla malutkich zwierzątek całym niezmierzonym światem, i wyróżnia się kształtem ciała, mającego postać krótkiego cygara, oraz szybkością i miarowością ruchu o zdecydowanie prostolinjowym kierunku. Rysunek obok jest do odgadnięcia. Możnaby go zatytułować: gdzie podziały się pantofelki?

Jeśli chcemy przeprowadzić obserwacje nad pantofelkiem, musimy przedewszystkiem założyć hodowlę, aby zdobyć pantofelki w możliwie wielkiej liczbie. Parę danych z życia zwierzątka wskaże, co należy uczynić.

Pantofelek odżywia się wyłącznie, lub prawie wyłącznie bakterjami, najdrobniejszemi ze znanych nam dziś istot żywych. Pełno ich wszędzie: w ziemi, po której stąpamy, w wodzie, którą pijemy, w powietrzu, którem oddychamy. Na każdym kroku człowiek wchłania w siebie tysiące bakteryj i nic tu nie

pomogą przepisy higjeniczne. Nie obawiajmy się ich jednak. Raczej oddajmy bakterjom hołd należny. Drobniutkie te żyjątka grają olbrzymią rolę w ekonomji przyrody i gdyby ich nie było, życie na powierzchni ziemi zamarłoby w krótkim czasie. One to pilnują równowagi świata, dbają o to, aby wszystko,

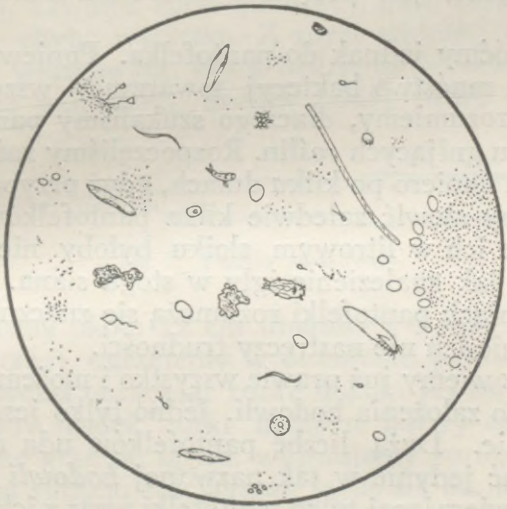


Fig. 1. Kropla wody ze stawu pod mikroskopem.

co rośliny i zwierzęta pobierają z ziemi i z powietrza, powracało do ziemi i powietrza. Bez bakteryj nie byłoby gnicia, a bez gnicia ziemia wkrótce stałaby się potwornem cmentarzyskiem, pokrytem tryljonami szczątków roślinnych i zwierzęcych. Bez gnicia umierające istoty żywe nie mogłyby zwrócić matce-ziemi substancyj chemicznych, które z niej pobrały, zapasy ziemi uległyby wyczerpaniu i nastąpiłby koniec

naszego żywota doczesnego. Prawda że wśród bakteryj istnieją także gatunki chorobotwórcze, a nawet, jak powiadają bakterjolodzy, w pewnych warunkach niewinne dotąd bakterje mogą stać się źródłem niebezpiecznych chorób. Ale potępić przez to ogół tych niewidzialnych pracowników byłoby równie nierozsądne, jak potępić ludzkość dla kilku zbrodniarzy.

Powróćmy jednak do pantofelka. Ponieważ niezliczone mnóstwo bakteryj towarzyszy wszelkiemu gniciu, rozumiemy, dlaczego szukaliśmy pantofelka wpobliżu gnijących roślin. Rozpoczęliśmy zaś poszukiwania dopiero po kilku dniach, gdyż przypadkowo mogliśmy złowić zaledwie kilka pantofelków i odszukanie ich w litrowym słoiku byłoby nie mniej trudne, jak znalezienie igły w stogu siana. Ale po kilku dniach pantofelki rozmnożą się znacznie i odnalezienie ich nie nastręczy trudności.

Teraz wiemy już prawie wszystko i możemy przystąpić do założenia hodowli. Jedno tylko jeszcze zastrzeżenie. Dużą liczbę pantofelków uda nam się otrzymać jedynie w tak nazwanej *hodowli czystej*, czyli zawierającej tylko pantofelki wraz z ich pokarmem, ale żadnych innych żyjątek. Bowiem zwierzątka różnych gatunków nie żyją z sobą w zgodzie, a nieraz bez litości zwalczają się wzajemnie. Te gatunki, które mnożą się najszybciej, spożywają też najwięcej pokarmu i wypierają inne, powodując ich stopniowe wymieranie. Los ten spotkałby prawdopodobnie nasze pantofelki, gdybyśmy ich nie odizolowali od innych drobnoustrojów. Jakieś drobniutkie stworzonka, choć znacznie mniejsze i słabsze od pan-

tofelków, przez swą siłę żywotną, przez swą przewagę liczebną uniemożliwiłyby im egzystencję.

Musimy więc zabrać się do dzieła w sposób wyrafinowany. Najpierw zdobędziemy trochę narzędzi, aby założyć sobie laboratorjum. Na początek nie potrzebujemy wiele. Lupa o dziesięciokrotnem powiększeniu, parę szkiełek zegarkowych, kawałek rurki szklanej, kawałek rurki gumowej, parę korków. Na razie to chyba wszystko. Z rurki szklanej zrobimy pipetkę włoskowatą, którą będziemy wyławiali pojedyńcze pantofelki. Środek takiej rurki, mającej

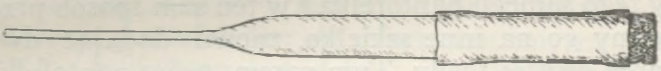


Fig. 2. Pipetka włoskowata.

powiedzmy około 12 cm długości i 8 mm średnicy zewnętrznej, ogrzejemy w płomieniu palnika gazowego, wciąż obracając rurkę dokoła jej osi podłużnej. Gdy środek rurki nabierze barwy czerwonej i zacznie giąć się łatwo, wyjmujemy rurkę z ognia i silnym ruchem rozciągamy ją ile się da, nie zapominając o ustawicznem obracaniu. Otrzymamy z tego dwie pipetki włoskowate, t. j. dwa kawałki rurki, oba zakończone cieniutką rureczką. Odpowiedni stopień ogrzania jest sprawą doświadczenia i trzeba się liczyć z tem, że na początku kilka rurek popsujemy. Średnica zewnętrzna cienkiego końca rurki nie powinna przekraczać 0,5 mm. Po ostygnięciu rurek i ułamaniu zbyt długich końców, nałożymy na gruby koniec pipetki kawałek szczelnie przylegającej rurki

gumowej, zamkniętej na wolnym końcu korkiem. Pipetka jest gotowa do użytku.

Jeśli pod lupą zbliżyć wolny koniec pipetki do pływającego w szkiełku zegarkowem pantofelka, z łatwością udaje się go wessać do środka, oczywiście wraz z innemi zwierzątkami, które były wpobliżu. Wessaną kroplę wyciśniemy na płaskie szkiełko, dobrze wytarte, i przekonamy się pod lupą, że pantofelek został istotnie schwytany. Wówczas dodamy do naszej kropli dwie duże krople czystej wody z wodociągu (woda ta powinna mieć temperaturę pokojową). Po przepłókaniu pipetki, raz jeszcze chwytamy tego samego pantofelka i w ten sam sposób przenosimy go na inne szkiełko, znowu dodając dwie krople czystej wody. Tym razem, prócz pantofelka, kropla będzie zawierała zaledwie parę innych żyjątek. Operację przenoszenia i dodawania wody powtarzamy dotąd, aż stwierdzimy pod lupą, że kropla nie zawiera żadnych istot widzialnych, prócz pantofelka. Co się tyczy bakteryj, to dwóch rzeczy możemy być pewni: że nie pozbędziemy się ich w ten sposób, oraz że nie zobaczymy ich przez lupę.

Schwytanemu pantofelkowi musimy dostarczyć pokarmu. Praktyka wskazuje, że najlepiej jest postąpić w sposób następujący. Do blaszanego rondla, bardzo czysto wymytego, włożymy garść świeżego siana, dolejemy tyle wody, aby siano było nią całkowicie pokryte, przykryjemy rondel, postawimy go na ogniu i pozwolimy wodzie zagotować się. Gdy się gotowało przez pięć minut, odstawimy z ognia. Otrzymamy ciecz barwy mocnej herbaty, o miłym zapachu (o ile siano było świeże!). Jest to t. zw. *po-*

żywka sianowa, którą w podany sposób od dziesiątków lat przygotowują w setkach pracowni naukowych tysiące biologów. Pożywka jest nieco mętna, gdyż pływają w niej drobne cząstki, oderwane od siana podczas gotowania. Te właśnie cząstki będą gniły, rozwiną się na nich bakterje i dzięki temu otrzymamy pokarm dla pantofelka. Pożywkę, po ostygnięciu, trzeba zlać z siana i przechować w szklanem naczyniu, przykrytem od kurzu, ale nie zamkniętem szczelnie. Następnego dnia, a lepiej po dwóch dniach pożywka jest gotowa do użytku. Świeża pożywka jest szkodliwa dla wymoczków, musimy więc dać jej „dojrzeć". Jest wiele innych sposobów hodowania pantofelków, ale poprzestaniemy na tym jednym. Jeśli siano jest dobre, daje on doskonałe wyniki.

Mając „dojrzałą" pożywkę sianową, do czystego szkiełka zegarkowego wlejemy trzy krople czystej wody z kranu (zawsze o temperaturze pokojowej, gdyż nagłe zmiany temperatury są szkodliwe) oraz jedną kroplę pożywki. Do tej mieszaniny wpuścimy odizolowanego przed chwilą pantofelka. Pozostaje jeszcze postarać się, aby ciecz na szkiełku nie wyschła. Najprościej jest wziąć głęboki talerz, wsypać doń garść piasku i dolać wody, aby piasek był dobrze wilgotny. Na piasku postawimy nasze szkiełko z wymoczkiem i przykryjemy je szklanką, odwróconą dnem do góry. Dzięki wilgotności piasku powietrze pod szklanką będzie nasycone parą wodną i ciecz ze szkiełka nie będzie parowała, a jednocześnie pantofelek będzie miał dość świeżego powietrza. Dolewając od czasu do czasu wody do talerza, można trzy-

mać szkiełko całemi miesiącami, nie obawiając się wyschnięcia. Taki zaimprowizowany przyrząd nosi nazwę *komory wilgotnej*.

Założyliśmy więc czystą hodowlę i wszystkie pantofelki, które znajdą się na szkiełku po pewnym czasie, będą potomkami w prostej linji naszego pierwszego wymoczka. Hodowla taka wymaga na początku troskliwej opieki. Jeśli wszystko zostało wykonane ściśle, na drugi dzień znajdziemy na szkiełku już dwa pantofelki, na trzeci zaś — cztery. Trzeciego dnia dodamy do szkiełka jedną kroplę pożywki sianowej i tak samo postąpimy każdego dnia następnego. Po tygodniu otrzymamy, o ile wszystko jest w porządku, około setki wymoczków, pływających w 3 kroplach wody + 6 kropel pożywki sianowej. Dodawaliśmy tak stopniowo pożywki, aby przyzwyczaić powoli pantofelki do gęstszego środowiska, jakiem jest wywar z siana. Ósmego dnia możemy już odrazu dodać 10 kropel pożywki i powtarzać to co drugi dzień, aż się szkiełko napełni. Wtedy przenosimy hodowlę do większego naczynia, np. do małej szklanki, wciąż dodając pożywki i uważając, aby szklanka była przykryta. Od tej chwili należy tylko uważać na wygląd hodowli. Jeśli ciecz w szklance, oglądana pod światło, jest mętna, pantofelki mają jeszcze dosyć pożywienia. Gdy zaś ciecz stanie się przezroczysta, oznacza to, że bakteryj jest mało i pantofelki zaczynają głodować. Wtedy zamieszamy hodowlę, odlejemy połowę jej wraz z pantofelkami i dopełnimy szklankę świeżą pożywką. Powtarzając tę operację co kilka dni, utrzymamy hodowlę w ciągu wielu lat i zawsze będziemy mieli do rozporządzenia tysiące

wymoczków. Trzeba tylko pilnować, aby pożywka nie skwaśniała i nie spleśniała. Najlepiej jest przygotować świeżą co tydzień.

W hodowlach pantofelków zawsze możliwe są różne przykre niespodzianki i dobrze jest o tem pamiętać. Przypadkowo do siana może trafić coś trującego, a wtedy nagle cała hodowla wymiera aż do ostatniego osobnika. Jako regułę można polecić prowadzenie dwóch hodowli równoległych, w których wszystkie zabiegi wykonywa się kolejno. Do jednej hodowli dolewamy pożywki, a gdy przekonamy się następnego dnia, że nic się złego nie stało, dodajemy pokarmu do drugiej.

Pozostaje jeszcze wyjaśnić, dlaczego przy zakładaniu czystej hodowli gotowaliśmy pożywkę sianową. Nietrudno się domyślić, że chodziło o zabicie wszystkich innych gatunków pierwotniaków, które mogłyby pantofelkowi szkodzić. Poruszamy tu sprawę bardzo ciekawą i ważną. Wiele żyjątek mikroskopowych posiada zdolność wysychania z zawieszeniem wszystkich przejawów życia, a zarazem zdolność ponownego ożywania po zetknięciu się z wodą. Drobnoustroje, zamieszkujące płytkie rowy lub kałuże, które wysychają podczas lata, chronią się w ten sposób przed śmiercią. Gdy nastaną niedogodne warunki: brak pożywienia, nadmiar jakichś ciał szkodliwych w wodzie, lub też woda zbiornika zaczyna wysychać, zwierzątka te *otarbiają się*, t. zn. otaczają się grubą, kulistą torebką z twardej, podobnej do drewna, lub ściślej do błonnika substancji i wpadają w zupełne odrętwienie, które może trwać całe lata. Gdy zaś warunki zmienią się na lepsze, żyjątka na-

sze wyłażą ze swoich skorupek i rozpoczynają nowe życie. Szczęśliwe stworzenia! Mogą spać spokojnie, a podczas ich snu warunki życiowe same się poprawiają. Dla człowieka zdolność taka byłaby bezużyteczna. Nasze dobre lub złe warunki stwarzamy sami, bez naszego udziału na pewno nie zmienią się one na naszą korzyść!

Zato mają drobnoustroje inny i poważny kłopot. W jaki sposób zwierzątko, nie wykazujące najmniejszych oznak życia i tak gruntownie odizolowane od wpływów świata zewnętrznego, zdoła odczuć przez skorupkę, że nazewnątrz nastały lepsze czasy? Rozumiem jeśli chodzi o osobniki wyschłe. Skorupka trafia do wody, pęcznieje, rozmięka, wreszcie pęka i woda otrzeźwia jej lokatora. Ale gdy przyczyną otorbienia się był brak pożywienia? Nieraz się zdarza, że w hodowlach różnych gatunków pierwotniaczych nagle zachodzi masowe otarbianie się i wkrótce całe dno naczynia hodowlanego pokrywa się masą kulistych torebek. Coś się popsuło w warunkach życiowych i zwierzątka uciekły się do swej niezawodnej metody: odgrodziły się od wpływów tego świata. Bardzo słusznie. Skąd jednak będą wobec tego wiedziały, że na świecie znowu zakwitły róże i zaśpiewały słowiki? Szkodliwe czynniki, które pobudziły wymoczki do masowego otarbiania się, muszą oczywiście tkwić w wodzie hodowli. Wylewamy więc całą szkodliwą wodę i zastępujemy ją świeżą i pożyteczną wodą z kranu. Torebki ani drgną. Brak było pokarmu i dlatego zaszło otorbienie. Wobec tego dodajemy całe funty najlepszego pokarmu. Torebki wciąż nie dają znaku życia. Temperatura była

nieodpowiednia i to wywołało otarbianie się. Przeprowadzamy torebki przez wszystkie klimaty, od wierzchołka Mount Everestu do środkowej Sahary. Torebki pozostają nieme. Dodajemy kwasów, soli, wstrząsamy, oświetlamy, zaciemniamy. Nic! Zniechęceni, zarzucamy nasze próby i zapominamy o nich. Po miesiącu zaglądamy przypadkowo do naczyńka z torebkami i widzimy, że pierwotniaki powychodziły z nich i pływają radośnie dokoła! Trzeba przyznać, że nie umiemy jeszcze budzić pierwotniaków z uśpienia. Wiele eksperymentowano w tym kierunku, ale nic pewnego dotąd nie osiągnięto. Gdy wymoczki zaczęły już wychodzić z torebek, proces ten do pewnego stopnia udaje się przyśpieszyć różnemi czynnikami, ale trwałej torebki pierwotniaczej pobudzić do życia nie umiemy. Co ciekawe, proces powrotu do życia nie rozpoczyna się bynajmniej od zewnątrz. Zaskorupiony pierwotniak zaczyna wydzielać jakieś soki, które nadgryzają torebkę od środka. Najwidoczniej pierwotniak wie, kiedy należy wyjść z więzienia, ale nie mamy pojęcia, w jaki sposób dowiaduje się o tem. Może jest on mechanizmem, nastawionym na pewien czas, w rodzaju budzika, i automatycznie zaczyna rozpuszczać torebkę, skoro wskazówka dojdzie do określonego punktu. Oto sprawa, gwałtownie domagająca się wyjaśnienia.

Do niedawna myślano powszechnie, że pantofelek nie potrafi się otarbiać. Gdy wysycha zbiornik, w którym żyją pantofelki, giną one marną śmiercią. Teraz myślimy powszechnie, że pantofelki potrafią się otarbiać. W każdym razie tam, gdzie były panto-

felki, obserwowano torebki, choć nie zawsze tam, gdzie były torebki, obserwowano potem pantofelki. Torebki takie widziano w warunkach bardzo sztucznych: w hodowlach pantofelków na powierzchni

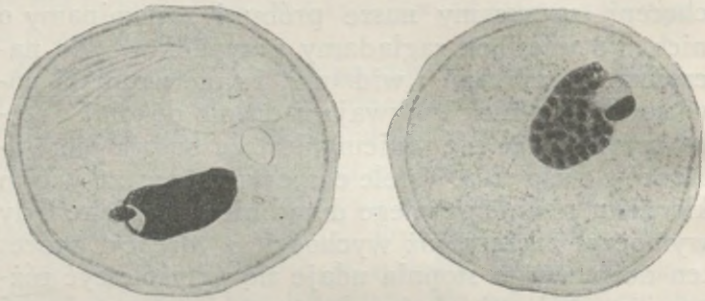


Fig. 3. Dwa otorbione pantofelki (Ivanič).

skrzepłej żelatyny (właściwie agaru) i w roztworach różnych soli. Cóż wam jeszcze o tem powiedzieć? Na razie nie wiem. W każdym razie sprawa wymaga dalszych badań.

Tak czy inaczej, podobne suche torebki różnych drobnoustrojów, drobne jak najmniejsze ziarenka kurzu, unoszą się w powietrze za każdym podmuchem wiatru, osiadają wszędzie, gdzie tylko kurz ma dostęp, i natychmiast ożywają na nowo, skoro dostaną się do wody. Siano nieprzegotowane, nalane wodą, w krótkim czasie zaroiłoby się od miljonów żyjątek i z naszej czystej hodowli nie byłoby nic.

Skąd jednak biorą się w przegotowanej pożywce sianowej bakterje? Zdawałoby się, że gotowanie powinno je zabić. Wiadomo przecież każdemu, że wszelki organizm żywy koniecznie zawiera substan-

cje białkowe, białko zaś tężeje już zaczynając od temperatury 56° C i w wodzie wrzącej żaden proces życiowy nie jest możliwy. Takby się zdawało. Na nieszczęście na wszystko jest sposób. Bakterje wiedzą dobrze, że białko suche wytrzymuje bez szkody znacznie wyższe temperatury. W warunkach niekorzystnych niektóre bakterje, zwykle rozmnażające się przez podział, zaczynają wytwarzać wewnątrz siebie zarodniki, t. zn. niezmiernie drobne kulki o małej zawartości wody, otoczone grubą, mocną błoną. Zarodniki podobne możemy gotować całemi godzinami, a po ostygnięciu cieczy rozwiną się z nich bakterje. Zabić wszystkie bakterje można tylko wówczas, gdy ogrzejemy pożywkę pod ciśnieniem, doprowadzając jej temperaturę do 120°. Przegotowując więc siano, zabijamy wszystkie pierwotniaki, ale bakterje pozostawiamy przy życiu.

Wydaje mi się, że wszystko wyjaśniłem, o niczem nie zapomniałem. Jeśli tak, powiem coś jeszcze o szybkości mnożenia się pantofelka. Astronomowie przyzwyczaili nas do zawrotnych liczb, których zrozumienie trzeba uprzystępniać zapomocą porównań. Nie widzę racji, dlaczego my, biologowie, mielibyśmy pozostać w tyle. Jak już mówiłem, w zwykłych warunkach hodowlanych liczba pantofelków podwaja się co 24 godziny. Z jednego osobnika otrzymamy zatem po upływie tego czasu 2, po dwóch dniach — 4, po trzech — 8 i t. d. Nietrudno jest obliczyć, ile wymoczków otrzymamy np. po czterech miesiącach. Będzie ich oczywiście 2^{120}, co w przybliżeniu równa się 10^{36}. Liczba ta niewiele nam mówi. Otóż gdyby wszystkie te 10^{36} pierwotniaków zebrać

BIBLIOTEKA ALP W

w jedną kulę, jej objętość byłaby około 500 razy większa od objętości globu ziemskiego! Ustawione w szereg, jeden obok drugiego, po 20 na przestrzeni jednego milimetra, pantofelki utworzyłyby rząd, wzdłuż którego promień światła, przebiegający 300000 kilometrów na sekundę, musiałby wędrować przez pięć tysięcy biljonów lat! Aby mu to umożliwić, należałoby bardzo znacznie rozszerzyć nasz Wszechświat, którego średnica jest o wiele mniejsza. Jeszcze nie dość plastyczne? Więc gdyby wszystkie te pantofelki nanizać na jedną nitkę, nitkę tę złożyć 1000 razy i upleść z niej sznur, byłby on tak długi, że możnaby nim związać wszystkich ludzi, żyjących na świecie, w jeden pęk, podciągnąć ten pęk z Ziemi aż na Syrjusza, okręcić Syrjusza sznurem sto czterdzieści miljonów razy, a jeszcze pozostałoby dość sznura, aby go zawiązać na podwójny węzeł! Czyż nie imponujące?

Istnieje zapewne także pogląd, że liczby są tylko wymyślonemi przez nas symbolami. Pantofelki żyją na świecie od miljonów lat, a nie utworzyły kuli wielkości Jowisza i trzeba nieraz długo szukać, zanim znajdzie się jednego pantofelka. Coś niedomaga w naszych obliczeniach.

Nie mniej, pantofelki istotnie mogłyby rozmnożyć się w ten sposób. Spróbujmy systematycznie powiększać objętość hodowli, co parę dni przenosząc ją do coraz większego naczynia i dolewając pożywki, a otrzymamy niezliczone masy pantofelków, hodowlę dowolnej objętości i tak gęstą, że aż nieprzezroczystą od ciał zwierzątek. Jakiekolwiek byłyby tu zastrzeżenia, a będziemy o nich mówili w rozdziale o

mnożeniu się wymoczka, pozostaje faktem, że w tej drobniutkiej bryłce żywej tkwi nieskończona energja rozrodcza, której trzeba tylko dostarczyć środków. Życiu trzeba jedynie dać odpowiednie warunki, aby rozpętać całą jego nieokiełznaną moc twórczą. I jeśli w przyrodzie nie spotykamy podobnych przypadków, dzieje się to tylko dlatego, że nie pozwalają na to warunki. Pantofelki w przyrodzie nigdy nie mają tak obfitego pożywienia, jak w pożywce sianowej, i nigdy nie rozmnażają się tak szybko. Ponadto w warunkach naturalnych nie może istnieć czysta hodowla, jest ona wytworem laboratoryjnym. Pantofelki służą za pokarm bardzo wielu innym zwierzętom, tak samo jak bakterje są pożywieniem pantofelków. Ten stosunek wzajemny istot żywych jest rodzajem automatycznego aparatu regulacyjnego, działającego z niezwykłą sprawnością. Jeśli pokarmu jest dużo i pantofelki mnożą się szybko, tem samem dostarczają obfitego pożywienia swoim wrogom. Zkolei wrogowie rozmnożą się i wpłyną na zmniejszenie się liczebności pantofelków. Gdy pantofelki zostały przetrzebione, wrogom brak pokarmu i liczebność ich maleje, czyli wszystko powraca do dawnego stanu. Stosunek ten, podany zresztą w formie najprostszej, jest prawem powszechnem. Wszelkie nadmierne rozmnażanie się jakiegoś organizmu natychmiast zostaje zahamowane przez zwiększenie się liczebności wrogów. Często słyszy się o latach, w których pojawiają się olbrzymie masy różnych szkodników, np. chrabąszczy, bielinków kapustników, korników, sówek i t. d. Jednak następnego roku po wybuchu takiej epidemji liczebność szkodni-

ków zawsze znacznie spada. To samo widzimy w naszych ludzkich stosunkach. Wszędzie, gdzie na małej przestrzeni skupiają się wielkie masy ludzi, jak np. w barakach uchodźców, na okrętach emigracyjnych, w obozach jeńców i t. p., warunki higjeniczne nie stoją na dostatecznym poziomie i zjawiają się epidemje, dziesiątkujące ludność. Innemi słowy, w tych warunkach rozmnażają się niezmiernie wrogowie ludzi: bakterje chorobotwórcze.

Któż obliczy, z iloma przeciwieństwami musi walczyć malutki pantofelek. Brak pożywienia, wysychanie zbiorników wodnych, przemarzanie płytkich wód podczas zimy, śmiertelne wahania zawartości soli w wodzie, niezliczeni wrogowie, w postaci innych wymoczków, wrotków, skorupiaków, larw różnego rodzaju, wszystko to zagraża jego życiu. Nieskończona jest moc twórcza przyrody i należało przeciwstawić jej nieskończoną siłę destrukcyjną, aby umożliwić życie. Śmierć w naturze jest niezbędnym czynnikiem regulującym; jakkolwiek paradoksalnie to brzmi, jest ona warunkiem, który umożliwia życie. Świat jest wynikiem walki dwóch potęg wszechmocnych, uczy religja starożytnych Persów, ducha dobrego — Ormuzda, i ducha złego — Ahrimana. Dlatego też wszystko, co jest, ma w sobie dobre i złe strony.

Każdy organizm jest wynikiem zażartej walki o byt. Na polu, na łące, w lesie, ogrodzie, stawie lub w mieście, wszędzie istoty żywe konkurują z sobą wzajem, walczą o możliwe warunki egzystencji, nie oglądając się na swych współbraci. Spójrzmy, ile roślin mieści się na malutkim kawałeczku łąki i jak

każda z nich usiłuje wznieść się wyżej ponad swymi sąsiadami. W zagajniku sosnowym młode drzewka tworzą gąszcz nieprzebyty. Ile ich musi zginąć, gdy wyrosną w duże drzewa. Co za niezliczone masy organizmów żywych pada ofiarą mrozu, suszy, wiatru, powodzi. Ile jajeczek najprzeróżniejszych zwierząt natrafia na niemożliwe do rozwoju warunki, jaka masa nasion pada na grunt jałowy, na którym nie może kiełkować. Tylko bezkresna, nieskończona rozrodczość zdolna jest zapewnić istotom żywym przetrwanie w nieprzyjaznym świecie.

A czy prawa, które nasunął nam pantofelek, nie dadzą się zastosować do społeczeństwa ludzkiego? Prześladowania wzajemne, nienawiść plemienna i rasowa, orężne barbarzyństwo i brutalne łupiestwo, ukryte pod pięknie brzmiącemi hasłami, są naszym chlebem powszednim. Podobnie jak u zwierząt, wynika to z niezmierzonej energji rozrodczej człowieka, której ani wojny, ani zarazy nie mogą powstrzymać. Bądźmy jednak dobrej myśli. Można spustoszyć całe kraje, wygubić całe narody, ale ludzkości nie można zniszczyć, jak nie można zniszczyć dobrych pierwiastków w naturze ludzkiej. Dobro nie jest wynalazkiem człowieka. Jest ono poprostu sumą warunków, umożliwiających życie społeczne. Człowiek jest zwierzęciem społecznem i zasady moralności powstały dla niego drogą tak samo naturalną, jak powstały dla mrówek, pszczół lub termitów. Jeśli zaś w społeczeństwach zwierzęcych panuje zgoda i harmonja, pochodzi to stąd, że są one o wiele starsze i doskonalsze od społeczności ludzkiej. Nasz rozwój musi podążyć w tym samym kierunku. Dlatego

też walka o byt w społeczeństwie naszem musi przybierać coraz łagodniejsze formy i być może dożyjemy jeszcze tych czasów, gdy walka ta stanie się walką kulturalną, gdy narody nie będą ciemiężyły ani swoich, ani obcych obywateli, ale nastanie współzawodnictwo cech dodatnich, gdy każdy będzie usiłował zrobić dla ludzkości wszystko, na co go tylko stać. Człowiek potrafił nauczyć się hodować pantofelki w warunkach, które nigdzie nie istnieją w wolnej przyrodzie. Być może nauczy się także tak urządzić swoje życie, aby hasło deptania innych nie było dla niego koniecznym warunkiem egzystencji.

TABLICA I

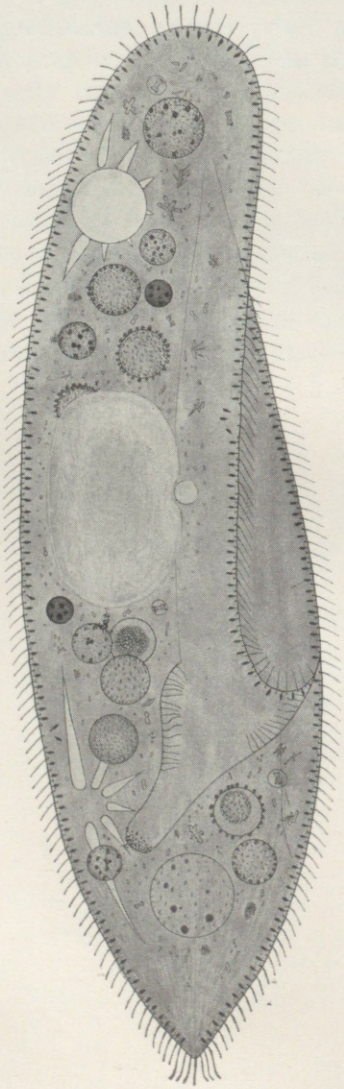


Fig. 4. Pantofelek, powiększony około 600 razy.

ROZDZIAŁ II

BUDOWA PANTOFELKA

TERAZ muszę poprosić czytelnika, aby mi uwierzył na słowo. Wogóle bez zaufania wzajemnego nie dojdziemy do ładu, bowiem nie wszystko, niestety, można tak łatwo pokazać. Staram się opisywać zjawiska, które dają się obserwować zapomocą zupełnie elementarnych środków. Gdy jednak idzie o subtelną budowę ciała wymoczka, musimy uruchomić cały skomplikowany aparat współczesnej techniki mikroskopowej i ultramikroskopowej. Zbyt oddaliłbym się od przedmiotu, gdybym zechciał opisywać metody badania tych spraw i pozostaje mi tylko poprzestać na podaniu wyników. Obiecuję natomiast, że wiele z ważniejszych czynności życiowych pantofelka czytelnik sam będzie mógł obserwować i sam sprawdzi słuszność podanych w tej książce wniosków.

Oglądany pod mikroskopem, pantofelek ma postać krótkiego cygara o zaostrzonym tylnym końcu i zaokrąglonym przednim (fig. 4). Zapewne, pojęcia przodu i tyłu są bardzo względne. Poprostu przednim nazywamy koniec, którym płynący pantofelek kieruje się naprzód. Od przedniego końca ku tyłowi ciągnie się szerokie wgłębienie, leżące na stronie, którą dla ułatwienia opisu nazwiemy stroną „brzu-

szną". Aby zrozumieć kształt ciała wymoczka, należy pamiętać, że jest on cały skręcony na podobieństwo śruby. Najlepiej jest unaocznić to sobie zapomocą modelu. Zróbmy z plastyliny krótkie cygaro

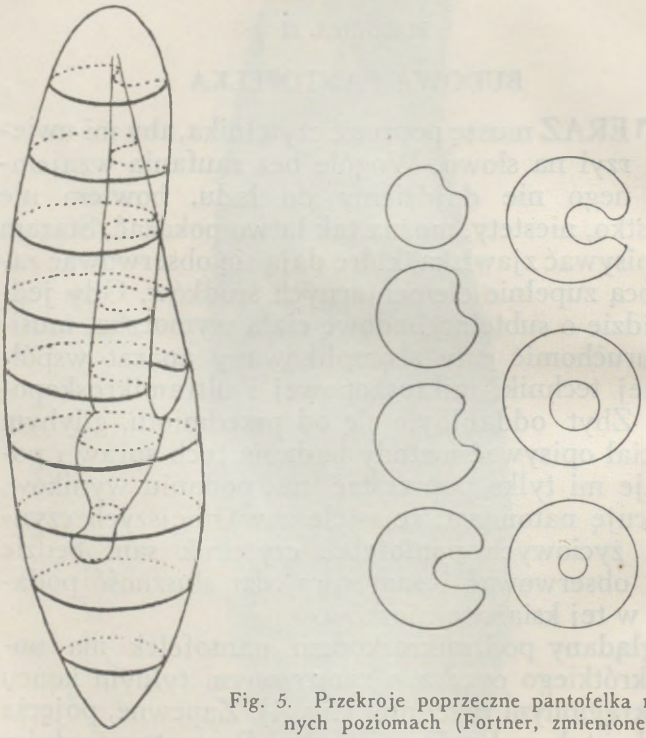


Fig. 5. Przekroje poprzeczne pantofelka na różnych poziomach (Fortner, zmienione).

o grubości około 3 cm. Cygaro położymy na stole i palcem zrobimy w niem wgłębienie. Palec położymy wzdłuż cygara, koniec palca, znajdujący się mniej więcej w połowie długości modelu, powinien

być skierowany w stronę tylnego, zaostrzonego końca. Gdy teraz naciśniemy mocno koniec palca, otrzymamy wgłębienie, najpłytsze w okolicy przodu modelu, najgłębsze zaś w jego środku. Wreszcie, trzymając model pionowo końcem przednim ku górze, i patrząc nań z góry, skręcimy go o 45° dokoła osi podłużnej w kierunku biegu strzałki zegara. Model taki dość wiernie odtworzy oryginalną postać pantofelka. Zrozumiemy teraz łatwo fig. 5, która wyobraża szereg kolejnych przekrojów poprzecznych naszego zwierzęcia. Wgłębienie ciała otrzymało nazwę *peristomu*, czyli wgłębienia okołoustnego. Nazwa pochodzi stąd, że najgłębszy punkt peristomu służy pantofelkowi za otwór ustny, przez który pobierany jest pokarm. Dno peristomu ma zawiłą budowę, kończy się ono wygiętym lejkiem, w którym odróżniamy gardziel i przełyk. Właściwie jednak niema tam żadnego stałego otworu, jest raczej punkt powierzchni ciała, w którym jedynie pokarm może przedostać się do wnętrza.

Obserwując ruchy pantofelka w wodzie, zauważymy ich zadziwiającą prostolinjowość. Zwierzątko płynie, jakby trzymając się linijki. Gdy napotka przeszkodę, stara się ją ominąć lub też przecisnąć się przez nią. Zwróćmy uwagę na ten ostatni przypadek. Nieraz się zdarza, że pantofelek musi przeciskać się pomiędzy dwoma ziarenkami lub włókienkami, leżącemi bardzo blisko siebie. Wówczas ciało jego ulega zniekształceniu, spłaszcza się i wydłuża, aby po ominięciu przeszkody natychmiast powrócić do dawnego wyglądu. Zwierzątko sprawia wrażenie woreczka gumowego, nadętego powie-

trzem: ta sama elastyczność i szybkość powrotu do normalnego kształtu po przeminięciu ucisku. Szczególnie zadziwiająca jest ta zdolność, gdy pantofelka umieścić w cieniutkiej rurce włoskowatej. Choć jest tam ciasno, potrafi on nieraz obrócić się przo-

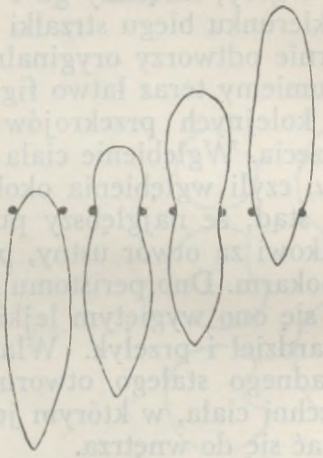


Fig. 6. Pantofelek, przeciskający się pomiędzy dwoma ziarenkami.

dem ku tyłowi, zgniatając i fałdując swoje ciało wprost w nieprawdopodobnym stopniu (por. fig. 97).

Z tego prostego faktu ważny wysnuwamy wniosek. Wnosimy mianowicie, że ciało pantofelka składa się z substancji ciekłej, otoczonej elastyczną błonką. Słuszności tego przypuszczenia nietrudno jest dowieść. Wewnątrz naszego zwierzęcia zauważymy liczne kropelki cieczy, zawierające lub niezawierające ziarenka pokarmu. Kropelki te są zawsze

formy kulistej, a tylko w środowisku ciekłem kropla cieczy może stale zachowywać kształt kuli. Ponadto liczne ziarenka i pęcherzyki, leżące wewnątrz wymoczka, są ruchome, wędrują po całem ciele. Gdybyśmy wyrysowali drogę, zakreśloną przez taki pęcherzyk, przekonalibyśmy się, że krąży on wszędzie, od przedniego do tylnego końca, nigdzie nie doznając przeszkód (por. fig. 63, str. 160). Czy byłoby to możliwe, gdyby treść zwierzątka nie była ciekła? Wreszcie, jeszcze jedna obserwacja. Jeśli

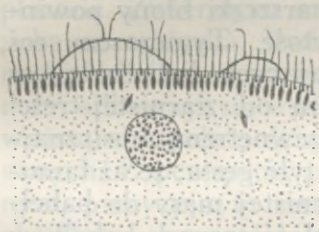


Fig. 7. Bąble, powstające na powierzchni ciała wymoczka po przygnieceniu.

ostrożnie przygnieść pantofelka szkiełkiem przykrywkowem, ciało jego zostanie spłaszczone, przy silniejszym zaś ucisku „pęknie", t. zn. w jakimś punkcie ciała zawartość jego w postaci drobnoziarnistej cieczy zacznie wypływać nazewnątrz. Zatem przypuszczenie nasze było słuszne i treść ciała wymoczka jest ciekła. Utrzymać zaś ciecz w stałej, określonej i niekulistej postaci można jedynie, otaczając ją błonką. Tę ostatnią można nawet obserwować bezpośrednio. Umieszczając pantofelki w kropli wody pomiędzy dwoma szkiełkami i pozwalając wodzie stopniowo wysychać, możemy bardzo powoli ściskać zwierzątka, nie posuwając się aż do ich zmiażdżenia. Wtedy na powierzchni ciała

powstają bąbelki, napełnione przezroczystą cieczą (fig. 7). Ścianka zewnętrzna bąbelków jest właśnie błonką powierzchniową zwierzęcia.

Z faktu tego dalsze wynikają konsekwencje. Czytelnik widzi już sam, że chcąc dowiedzieć się czegoś o pantofelku, musimy zwracać uwagę na najdrobniejsze szczegóły i wciąż się dziwić, ciągle stwierdzać, że coś jest nie w porządku. Dlaczego zawartość bąbelków jest przezroczysta? Skoro pantofelek jest kroplą cieczy, powleczoną błoną, do wszelkiej nierówności lub zmarszczki błony powinna wejść jej ziarnista zawartość. Tymczasem coś jej nie dopuszcza do powstających bąbelków, coś oddziela błonę powierzchniową od ziarnistej treści ciała. Oczywiście pod błoną zewnętrzną musi znajdować się warstewka ciała, o tyle gęsta, że aż tamująca swobodny przypływ ziarnistej masy do bąbelków. Przezroczysta zaś zawartość samych bąbelków jest prawdopodobnie poprostu wodą, wyciśniętą z ciała i przefiltrowaną przez warstwę powierzchniową. Jak dowiemy się później, pantofelek stale pochłania duże ilości wody.

Ustalimy teraz nazwy poznanych już części ciała. Ciekła, ziarnista treść ciała wymoczka nosi nazwę *protoplazmy* czyli zarodzi. Odróżniamy w protoplazmie warstwę wewnętrzną, czyli *endoplazmę*, tworzącą główną masę ciała, od *ektoplazmy*, czyli warstwy zewnętrznej, gęstszej i tworzącej rodzaj woreczka dokoła endoplazmy. Cienka błonka powierzchniowa nosi miano *pellikuli*. Wreszcie kropelki cieczy w endoplazmie nazywamy *wodniczkami* lub wakuolkami.

I poco te wszystkie szczegóły? Dlaczego zmarnowaliśmy tyle miejsca i czasu na dowodzenie ciekłej natury protoplazmy?

Nie pozwoliłbym sobie nudzić czytelnika detalami, gdyby nie chodziło o kwestję pierwszorzędnej wagi. Zastanówmy się chwilę nad znaczeniem życiowem protoplazmy. Przecież wszystkie, tak bardzo skomplikowane zjawiska życiowe pantofelka, którym niebawem poświęcimy całą naszą uwagę, odbywają się nie gdzie indziej, jak właśnie w protoplazmie. Zwierzątko nasze pływa, pobiera i trawi pokarm, oddycha, wydala, rozmnaża się, reaguje na bodźce świata zewnętrznego, i wszystkie te czynności odbywają się według określonych praw, z najwyższą skrupulatnością przez pantofelka przestrzeganych. Z pewnością pantofelek jest skomplikowanym, precyzyjnym mechanizmem, nastawionym na określoną czynność. Jeśli otworzymy chronometr, rozbierzemy maszynę drukarską lub motor automobilowy, znajdziemy szereg kół zębatych, sprężyn, tłoków, suwaków, śrubek i muterek, ściśle do siebie dopasowanych i tłumaczących nam działanie mechanizmu. Jeśli znamy się na mechanice, po zbadaniu wszystkich części danego przyrządu potrafimy przewidzieć, jak przyrząd ten będzie działał, chociażbyśmy go przedtem nie znali wcale. Powiemy wówczas: teraz działanie przyrządu jest jasne, odczujemy zadowolenie ze zrozumienia rzeczy. Tymczasem w pantofelku widzimy własnemi oczami mechanizm, wykonywujący nadzwyczaj zawiłe i różnorodne czynności, ale brak w nim sprężyn i trybów. Posiada on wprawdzie szereg narządów, nie-

raz bardzo zawiłych, jak np. narządy ruchu, ale nie ma nic takiego, coby wytłumaczyło oddychanie, trawienie lub mnożenie się. Możemy zbadać jego budowę aż do najdrobniejszych szczegółów, możemy go utrwalać, barwić, krajać na mikrotomie, fotografować, oglądać w świetle przechodzącem, padającem i spolaryzowanem, posługiwać się mikroskopem i ultramikroskopem, a nigdy na podstawie samego tylko urządzenia ciała nie zdołamy przewidzieć, jakie są jego czynności, nie powiemy, czy w takich a takich warunkach pantofelek popłynie na prawo, czy na lewo, pochłonie ziarenko pokarmu, czy też je odrzuci.

Nie jest to wcale trudność specjalnie pantofelkowa. Zagadnienie rozciąga się na cały świat istot żywych. Każdy organizm składa się z komórek, których istotną treść stanowi ta sama protoplazma, bardzo podobna do protoplazmy pantofelka. Nic dziwnego więc, że od dawien dawna poszukują ludzie w protoplazmie ukrytych sprężyn i śrubek. Niemożliwe jest, twierdzono, aby protoplazma nie posiadała żadnej struktury wewnętrznej. Istotnie, odnaleziono w niektórych protoplazmach włókienka cieniutkie, stanowiące rzekome jednostki budowy, znaleziono ziarenka, które uważano za jednostki życia, odkryto niezmiernie drobne pęcherzyki, tworzące delikatną piankę. Te usiłowania odnalezienia „elementów życia", wykrycia prostych jednostek budowy, które wyjaśniłyby istotę procesu życiowego, są zrozumiałe i usprawiedliwione. Ale tu właśnie zaczyna się tragedja!

Okazało się najpierw, że jakkolwiek proces ży-

ciowy w zasadzie wszędzie jest jeden i ten sam, budowa protoplazmy może być niesłychanie urozmaicona, różna nawet u blisko sobie pokrewnych organizmów. Gorzej, bo jedna i ta sama komórka w różnych chwilach swego życia może posiadać zupełnie odmienną budowę protoplazmy. Przytoczę tu jeden ciekawy, a mało znany przykład. Istnieje wielka otwornica morska, imieniem *Astrorhiza*. Porusza się ona na podobieństwo pełzaka (ameby), wypuszczając nibynóżki. Protoplazma zwierzęcia jest najwyraźniej ciekła, widać doskonale pod mikroskopem, jak nibynóżka wypływa z głównej masy ciała pierwotniaka. Jeśli jednak dotknąć lekko końca nibynóżki, stanie się cud: nibynóżka skurczy się gwałtownie! Jak może kurczyć się ciecz? Bo też ciecz nie jest już cieczą, protoplazma nibynóżki rozpadła się na wiązkę kurczliwych włókienek, które mają wszelkie cechy elastycznego ciała stałego. Skoro jednak nibynóżka została wciągnięta, włókienka jej znikają i znowu mamy przed sobą zwykłą ciekłą protoplazmę. Ciecz staje się ciałem stałem, gdy zachodzi tego potrzeba, powstają w niej najzupełniej konkretne struktury, ciało stałe zaś powraca do stanu ciekłego. Budowa protoplazmy zmienia się zasadniczo, zależnie od chwilowych potrzeb zwierzęcia. Podobnież u pantofelka, w pewnych warunkach, jak np. po słabem ogrzaniu lub pod wpływem roz-

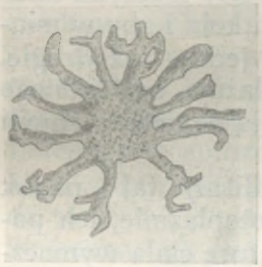


Fig. 8. Otwornica morska *Astrorhiza* (Rhumbler).

cieńczonych kwasów, endoplazma staje się nagle sztywna, jak zgęstniała żelatyna, w chwilę później zaś znowu występują w niej zwykłe prądy. Widocznie pierwotniak jest taką osobliwą maszyną, która raz funkcjonuje jak chronometr, za chwilę nagle giną w niej tryby i sprężyny, wyrastają klawisze i struny, i maszyna staje się fortepianem, aby w następnym momencie przemienić się w doskonały rower wyścigowy! To nie jest tak, aby maszyna miała w zapasie i sprężyny, i struny i koła i aby w miarę potrzeby funkcjonowały raz jedne, raz drugie. Maszyna ma tylko ciekłą protoplazmę, bez żadnego śladu strun i pedałów. Te powstają dopiero w chwili zapotrzebowania.

Widzimy teraz, dlaczego kładliśmy taki nacisk na wędrówkę wodniczków w protoplazmie, ich postać kulistą i wogóle na ciekłą naturę ciała wymoczka. Fakty te bowiem nie dadzą się pogodzić z istnieniem jakichś stałych jednostek strukturalnych.

Tem dziwniejsza staje się sprawa. W jaki sposób ciecz, którą można zamieszać, nie wpływając tem na bieg procesu życiowego, może być siedliskiem zawiłych przejawów życia, to jedna z największych zagadek biologicznych. Człowiek trawi, bo ma żołądek, wydala, bo posiada nerki, oddycha, ponieważ służą mu do tego płuca. A pantofelek i trawi, i wydala, i oddycha, w dodatku zaś czyni to wszystko w sposób, bardzo podobny do człowieka, ale narządem jego jest ciekła protoplazma, pozbawiona stałej struktury.

Ponieważ zjawiska życiowe przebiegają u człowieka i pantofelka w sposób bardzo podobny, pan-

tofelek zaś nie posiada narządów, odpowiadających narządom człowieka, gdy tymczasem człowiek ma taką samą protoplazmę, jak pantofelek, czy nie słuszny będzie wniosek, że trawienie i oddychanie człowieka raczej zależą od protoplazmy, niż od żołądka i płuc?

Takich to rzeczy uczy nas wymoczek! Mówimy, że jedno zwierzę różni się od drugiego, gdyż jest „zbudowane“ inaczej, jak zegarek jest inaczej zbudowany, niż barometr. W rzeczywistości istota różnicy tkwi raczej w substancji zwierzęcia, w żywym materjale, z którego składa się jego ciało. Kryształ ałunu żelazowego ma szereg właściwości: jest fioletowy, rozpuszcza się w wodzie, z wodorotlenkiem sodu daje osad i t. d. Czy dlatego ałun posiada te cechy, że jest „urządzony“ inaczej, niż sól kuchenna, ich nie posiadająca, że kryształy jego są ośmiościenne, kryształy zaś soli mają kształt sześcianów? Dlaczego ośmiościan ma być koniecznie fioletowy i rozpuszczać się w wodzie? Własności ałunu nie płyną wcale z jego formy i budowy, lecz z jego „substancji ałunowej“, z jego natury chemicznej. Nie będziemy szukali w krysztale jednostek, któreby tłumaczyły kolejno jego poszczególne cechy: włókienek, od których zależy rozpuszczalność, ani pęcherzyków, które wyjaśniają jego stosunek do wodorotlenku sodu. Cóż więc pomoże nam struktura protoplazmy? Nie, nie znamy, nie rozumiemy tych spraw. Podziwiamy tylko cudowną substancję, która, jak legendarny Proteusz, w coraz to innej pojawia się szacie, coraz to nowe ukazuje zdolności.

Znawcy zrobią nam poważny zarzut. Wszak pantofelek posiada cały szereg narządów, wykonywujących swe odrębne czynności: ma on rzęski do pływania, wodniczki kurczliwe do wydalania, wodniczki pokarmowe do trawienia i t. d. Słusznie, i właśnie do opisu tych narządów musimy teraz przystąpić. Jednak postaramy się przytem wykazać, iż narządy te wcale nie tłumaczą zjawisk życiowych, są one jedynie pośrednikami pomiędzy czynnością, a protoplazmą. Dla wielu z nich trzeba jeszcze zresztą odnaleźć jakąś czynność.

Cała pellikula wymoczka pokryta jest bardzo drobnemi prostokątnemi polami, ułożonemi w skomplikowany system rzędów podłużnych i ukośnych. Na stronie brzusznej zwierzęcia rzędy te łączą się z sobą, tworząc t. zw. „szew". Rysunek 9 dobrze wyjaśnia te stosunki. Owalna ciemna plama w jego środku oznacza peristom. Każde takie pole jest wgłębieniem pellikuli, którego brzeg jest nieco uniesiony ponad powierzchnią ciała. W głębi każdego pola osadzona jest jedna *rzęska*, a wszystkie rzęski pokrywają ciało wymoczka nakształt gęstego futerka. Rzęski są narządami pływania, jakby minjaturowemi wiosełkami, które uderzają w wodę, popychając pantofelka naprzód. Pojedyńcza rzęska ma kształt cienkiego, bardzo wydłużonego stożka, osadzonego swym grubszym końcem w ektoplazmie. Na końcu dośrodkowym posiada rzęska guzikowate zgrubienie, zwane *ciałkiem podstawowem*. Dłuższe i energiczniejsze od innych rzęski znajdują się w peristomie, gdzie tworzą zawiłe zespoły. Materjał rzęski jest znacznie gęstszy od protoplazmy:

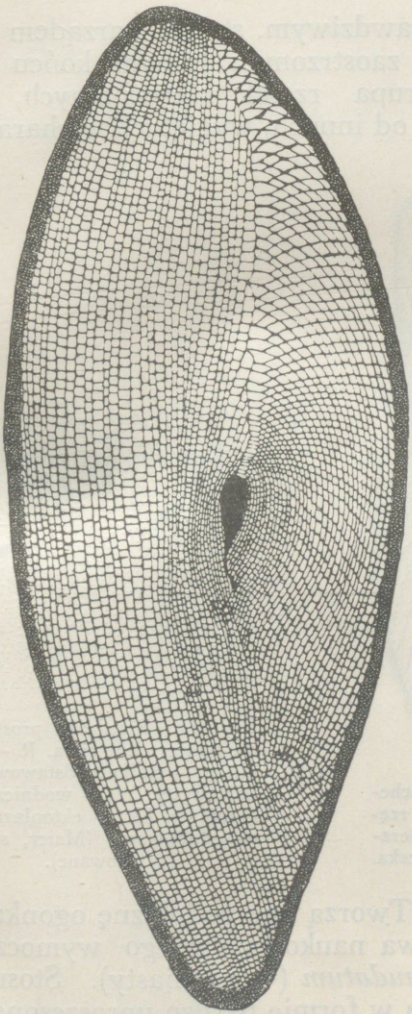


Fig. 9. Układ pól na powierzchni pellikuli pantofelka (Reichenow).

jest ona prawdziwym, stałym narządem ciała zwierzęcia. Na zaostrzonym tylnym końcu pantofelka wyrasta grupa rzęsek nieruchomych, grubszych i dłuższych od innych, wygiętych w charakterystycz-

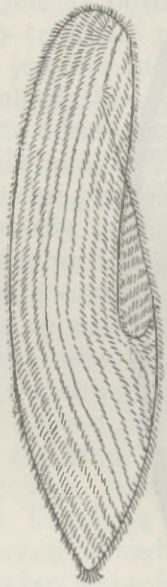


Fig. 10. Schemat układu rzęsek na powierzchni wymoczka.

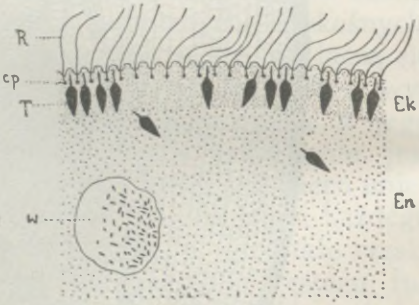


Fig. 11. Przekrój prostopadły do powierzchni ciała. R — rzęski, cp — ciałka podstawowe, T— trichocysty, W — wodniczek pokarmowy, Ek — ektoplazma, En — endoplazma (Maier, schematyzowane).

ny sposób. Tworzą one podobiznę ogonka, skąd pochodzi nazwa naukowa naszego wymoczka: *Paramaecium caudatum* (= ogoniasty). Stosunki te podaję zresztą w formie bardzo uproszczonej. W rzeczywistości budowa rzęsek, a zwłaszcza ich ciałek

TABLICA II

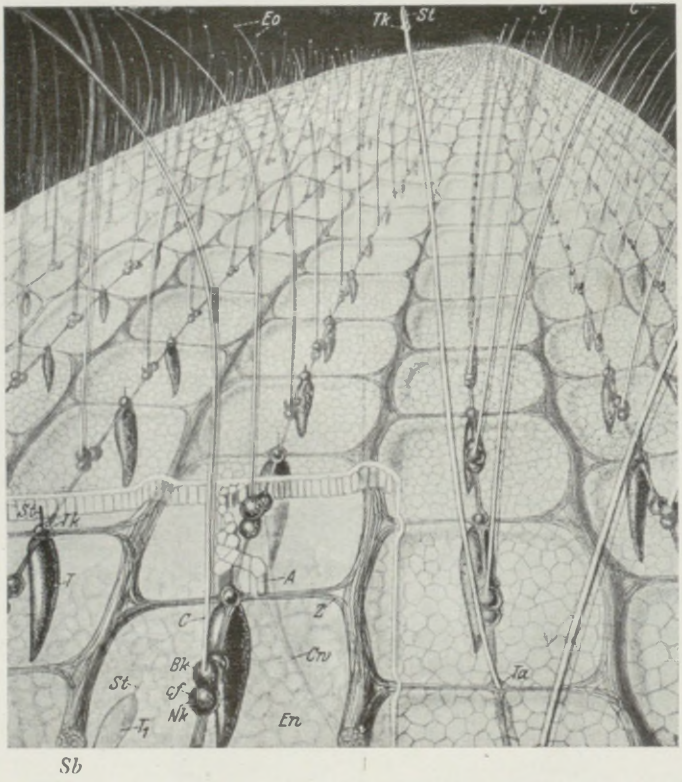


Fig. 12. Schemat powierzchniowych struktur pantofelka. W przednim lewym kącie pellikula jest zdjęta. Sb — włókienka ektoplazmatyczne, T — trichocysty, C — rzęski. Według nowszych badań trichocysty są niezależne od systemu włókienek, por. fig. 17 (Klein).

podstawowych, jest bardziej skomplikowana, jak o tem daje pewne pojęcie fig. 12.

Ruchowi pantofelka poświęcimy cały następny rozdział. W tem miejscu wystarczy wskazać, że rzęska jest tylko wiosłem, ale nie widzimy żadnego motoru, wprawiającego ją w ruch, niema żadnych włókien mięśniowych, których skurcz powodowałby zginanie się i wyprostowywanie rzęsek. Jeśli rzęska jest wiosełkiem, któż jest wioślarzem? Musi przecież istnieć jakaś przyczyna jej ruchów. Narazie nie znamy jej jednak zupełnie.

Wykryto niedawno zapomocą zawiłych metod barwienia, że ciałka podstawowe rzęsek połączone są w kierunku podłużnym bardzo cienkiemi *włókienkami*, przebiegającemi w ektoplazmie, równolegle do powierzchni ciała. Włókienka te tworzą cały system, na podobieństwo gęstej sieci. Być może i w kierunku poprzecznym istnieje stałe połączenie pomiędzy sąsiedniemi ciałkami podstawowemi. Dokoła włókienek toczy się spór naukowy. Niektórzy widzą w nich tylko rodzaj szkieletu, podtrzymującego pellikulę i ektoplazmę wymoczka, inni natomiast uważają je za system nerwowy pantofelka, za elementy, przewodzące podrażnienia i pobudzające rzęski do ruchu. Jak przekonamy się później, ruch rzęsek jest uporządkowany, skoordynowany, uderzają one w ściśle określonej kolejności. Stąd należy przypuścić, iż są one w swoim ruchu od siebie wzajemnie zależne. Tę czynność uzgadniania ruchów rzęsek mogłyby pełnić włókienka ektoplazmatyczne. Wyobraźmy sobie jakąś instalację elektryczną, powiedzmy oświetlenie dużego domu. Przy-

chodzi elektrotechnik i stwierdza, że do każdej żarówki prowadzi para drutów. Wszystko jest w porządku, niewątpliwie przez druty te dopływa do żarówek prąd elektryczny. Ale podążając za drutami, znajdzie nasz ekspert, ku swemu zdziwieniu, że łączą się one wszystkie w jedną zamkniętą sieć, która nie ma ani początku, ani końca i wcale nie wychodzi z domu nazewnątrz. Skądże w sieci bierze się prąd, skoro nie jest ona wcale połączona z centralą elektryczną? Mniej więcej takie są stosunki u pantofelka. Mamy u niego żarówki w postaci rzęsek i druty w postaci włókienek ektoplazmatycznych. Ale niema żadnej stacji elektrycznej, nie widzimy wcale źródła prądu.

Postarano się i o centralę elektryczną. Pewien autor opisał, że od ciałka podstawowego każdej rzęski odchodzi włókienko, które przebija ektoplazmę i udaje się w głąb ciała wymoczka. W środkowej części organizmu wszystkie te włókienka łączą się z sobą w jeden ośrodek, jak to widzimy na rys. 14. Tu właśnie miałaby się znajdować centrala, z której prąd dopływa do wszystkich rzęsek. Należy ściśle odróżnić ten system włókienek od systemu ektoplazmatycznego. Ten drugi jest czysto powierzchniowy, ten pierwszy zaś zbiega się w środkowej części ciała pantofelka. Niestety, te szczegóły wewnętrzne widziało dotąd tylko paru autorów, inni zaś o tem trochę powątpiewają. Chcąc poznać pantofelka, czytelnik powinien wyzbyć się przesądu, że to, co się widzi, jest koniecznie prawdą. Protoplazma jest kapryśna i nieobliczalna. W pewnej chwili może jej przyjść fantazja wytworzenia włókienek we-

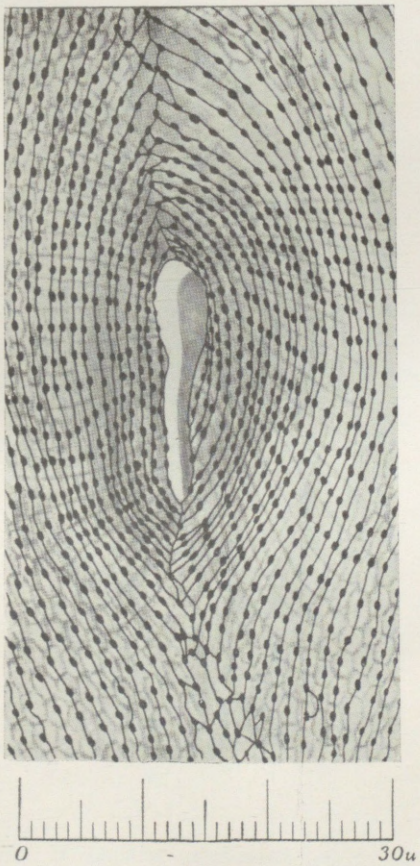


Fig. 13. Układ włókienek przewodzących dokoła peristomu. Czarne punkty odpowiadają ciałkom podstawowym rzęsek (Lund). U dołu skala w tysiącznych milimetra.

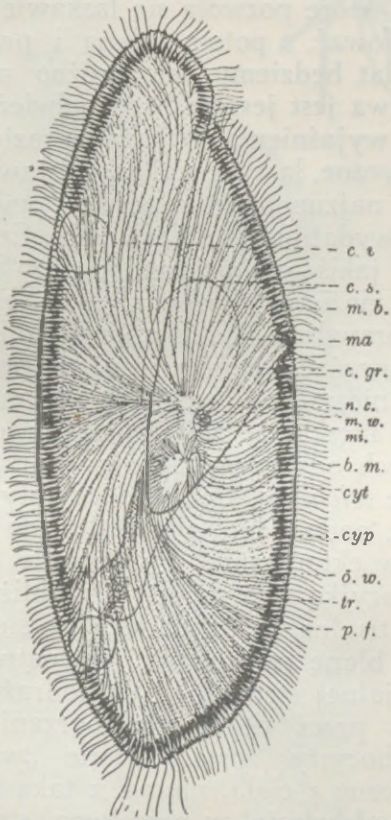


Fig. 14. Aparat „neuromotoryczny" pantofelka, *c. v.* — wodniczek kurczliwy, *c. s.* — „szew" na powierzchni pellikuli, *m. b.* — peristom, *ma* — jądro większe, *n. c.* — ośrodek „neuromotoryczny", *mi* — jądro mniejsze, cyt — otwór przełyku, ö. w. — rzęski w głębi przełyku, *tr* — trichocysty, *p. f.* — włókna „nerwowe" odśrodkowe (Rees).

wnętrznych, które pozwolą się łaskawie narysować lub sfotografować, a potem znikną i przez dziesięć następnych lat będziemy ich próżno poszukiwali. Cała ta sprawa jest jeszcze bardzo świeża i dużo tu pozostaje do wyjaśnienia. W każdym razie włókienka ektoplazmatyczne, łączące ciałka podstawowe rzęsek, są utworem najzupełniej realnym, pewne metody barwienia uwydatniają je doskonale. Czy zaś prócz tego istnieje jakiś „ośrodek motoryczny", jakaś centrala, którą możnaby porównać z mózgiem, to pozostaje do sprawdzenia. Załączone rysunki (fig. 12—15) należy uważać za prowizoryczne próby odtworzenia tych niezmiernie zawiłych stosunków.

Pomiędzy rzęskami, w ektoplazmie, osadzone są w regularnych odstępach ciekawe narządy pantofelka, zwane *trichocystami.* Trichocysty są drobnemi ciałkami, podobnemi z kształtu do buteleczki, osadzonej w ektoplazmie prostopadle do jej powierzchni i szyjką nazewnątrz. Ich bliższa budowa jest bardzo trudna do zbadania. Jak się zdaje, posiadają one błonę zewnętrzną, wewnątrz nie widać żadnej specjalnej struktury. Po podrażnieniu pantofelka, np. przez dotknięcie, ogrzanie, działanie kwasu, trichocysty zostają nagle „wystrzelone", czyli wyrzucone z ciała, nieraz z taką siłą, że całe zwierzątko odskakuje w przeciwną stronę. Takie wystrzelone trichocysty mają kształt długich zaostrzonych niteczek, które mogą albo całkiem oddzielić się od ciała, albo też pozostać z niem w związku (fig. 16). Eksplozja tych dziwnych utworów prawdopodobnie zależy od ich szybkiego pęcznienia. Podrażnienie wymoczka powoduje nagłą zmianę w prze-

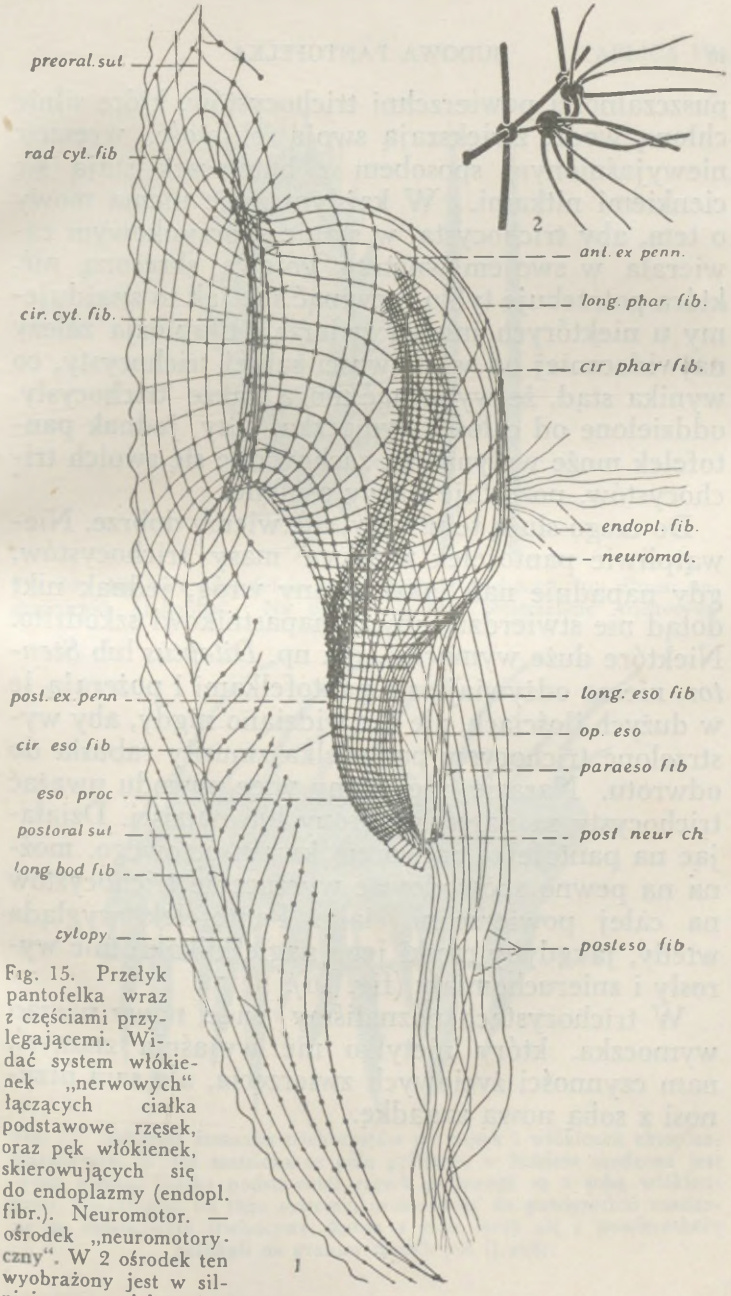


Fig. 15. Przełyk pantofelka wraz z częściami przylegającemi. Widać system włókienek „nerwowych" łączących ciałka podstawowe rzęsek, oraz pęk włókienek, skierowujących się do endoplazmy (endopl. fibr.). Neuromotor. — ośrodek „neuromotoryczny". W 2 ośrodek ten wyobrażony jest w silniejszem powiększeniu (Lund)

puszczalności powierzchni trichocystów, które silnie chłoną wodę, zwiększają swoją objętość, wreszcie niewyjaśnionym sposobem z buteleczek stają się cienkiemi nitkami. W każdym razie niema mowy o tem, aby trichocysta w stanie spoczynkowym zawierała w swojem wnętrzu gotową skręconą nić, która potrzebuje tylko rozwinąć się, jak to znajdujemy u niektórych innych zwierząt. Eksplozja zależy najwidoczniej od właściwości samej trichocysty, co wynika stąd, że wybuchać mogą także trichocysty, oddzielone od całości wymoczka. Czy jednak pantofelek może wpłynąć na zachowanie się swoich trichocystów, pozostaje niewyjaśnione.

Do czego służą te utwory, nie wiemy dobrze. Niewątpliwie pantofelek wyrzuca masy trichocystów, gdy napadnie nań jakiś wodny wróg, jednak nikt dotąd nie stwierdził, aby to napastnikowi szkodziło. Niektóre duże wymoczki, jak np. *Dileptus* lub *Stentor*, nieraz odżywiają się pantofelkami i pożerają je w dużych ilościach, ale nie widziano nigdy, aby wystrzelone trichocysty pantofelka zmusiły rabusia do odwrotu. Narazie nie mamy więc powodu uważać trichocysty za narządy obrony lub napaści. Działając na pantofelka rotworem kwasu octowego, można na pewno spowodować wyrzucenie trichocystów na całej powierzchni ciała. Pantofelek wygląda wtedy, jakgdyby rzęski jego nagle kilkakrotnie wyrosły i znieruchomiały (fig. 16).

W trichocystach poznaliśmy więc nowy narząd wymoczka, który nietylko nie wyjaśnia znanych nam czynności życiowych zwierzęcia, ale sam przynosi z sobą nową zagadkę.

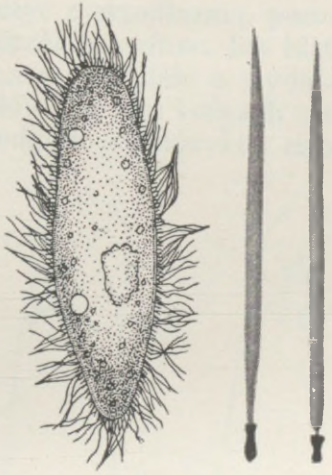


Fig. 16. Na lewo pantofelek, który wyrzucił trichocysty po silnem podrażnieniu (Jennings). Na prawo — dwie wystrzelone trichocysty (Schuberg).

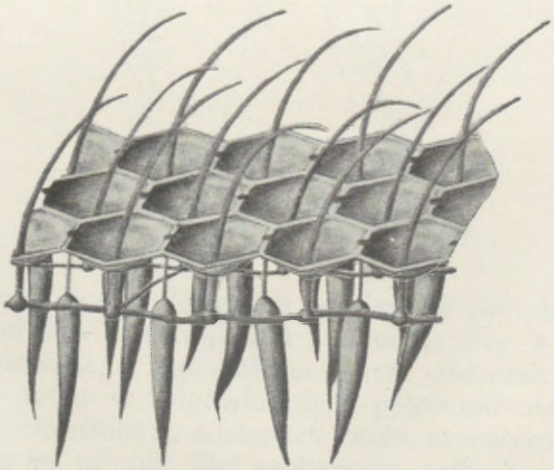
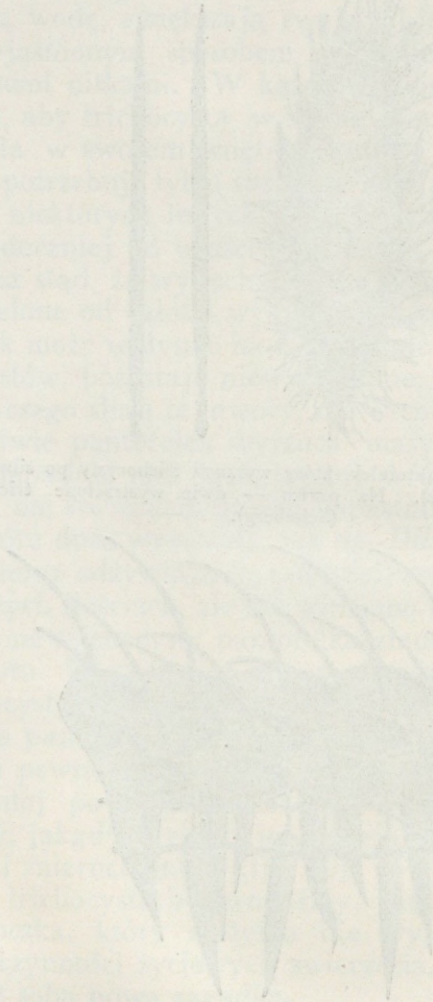


Fig. 17. Schemat stosunku trichocystów do rzęsek i włókienek ektoplazmatycznych. Widać sześciokątne pola pellikuli, w każdem osadzona jest jedna rzęska. Ciałka podstawowe rzęsek połączone są z sobą włókienkami. Niezależnie od tego systemu, prostopadle do powierzchni osadzone są butelkowate trichocysty, każda z nich łączy się z powierzchnią pellikuli na granicy dwóch pól (Lund).



Aby skończyć z ektoplazmą, pozostaje mi jeszcze opisać *wodniczki kurczliwe*. Ich bliższa budowa zostanie podana w rozdziale o wydalaniu. Tu tylko parę szczegółów. Na obu końcach ciała posiada pantofelek po jednym pęcherzyku, napełnionym prze-

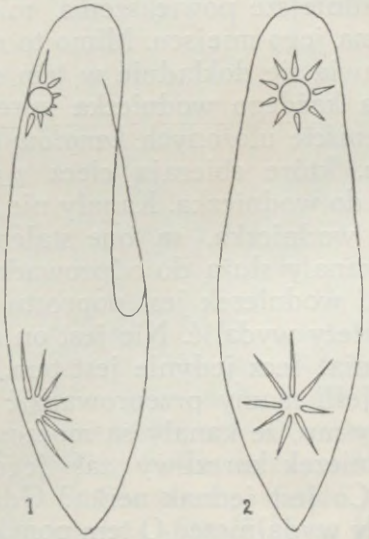


Fig. 18. Wodniczki kurczliwe. 1 — widok z prawej strony, 2 — od grzbietu.

zroczystą cieczą. Pęcherzyk ten leży w ektoplazmie, tuż pod powierzchnią ciała wymoczka (fig. 4 i 18). Powierzchowne jego położenie jest widoczne oczywiście tylko w odpowiedniem położeniu zwierzęcia. W określonych odstępach czasu, przeważnie parę razy na minutę, oba pęcherzyki znikają, zresztą

niezależnie od siebie, aby po niewielu sekundach ukazać się znowu, w tym samym punkcie i w tej samej postaci. Każdy z nich jest kroplą cieczy, która rytmicznie powtarzającym się skurczem protoplazmy zostaje wyrzucona nazewnątrz. Dziwne jest, że po każdym skurczu wodniczek niknie całkowicie i nawet najsilniejsze powiększenia mikroskopu nic nie ukazują na jego miejscu. Mimo to następny wodniczek pojawia się dokładnie w tem samem miejscu. Dokoła każdego wodniczka kurczliwego leży kilka promieniście ułożonych *kanałów* t. zw. *doprowadzających*, które zbierają ciecz z protoplazmy, wlewając ją do wodniczka. Kanały nie znikają podczas skurczu wodniczka, są one stałemi utworami. Oczywiście kanały służą do odprowadzania cieczy, znikający zaś wodniczek jest poprostu zebraną cieczą, którą należy wydalić. Nie jest on zatem narządem wydalania, lecz jedynie jest tem, co podlega wydaleniu. Jeśli mamy przeprowadzić porównanie, powiedzielibyśmy, że kanały są moczowodami pantofelka, wodniczek kurczliwy zaś jego pęcherzem moczowym. Co jest jednak nerką? Gdzie leżą właściwe narządy wydalnicze? O tem pomówimy w rozdziale IX.

Zwrócimy się obecnie do endoplazmy wraz z jej składnikami. Cechą charakterystyczną endoplazmy jest jej *ziarnistość*, t. zn. obecność w niej licznych, bardzo drobnych, okrągławych ziarenek. Może ich być czasem tak wiele, że endoplazma stałaby się zupełnie mętna, gdyby same ziarenka nie składały się z substancji przezroczystej. Ziarenka są różnego pochodzenia. Są wśród nich cząstki *tłuszczu* i *gliko-*

genu, pochodzące ze strawionego pokarmu i zbierające się u dobrze odżywianego wymoczka przeważnie w środkowych częściach ciała. Liczba ich jest bardzo zmienna. Prócz tego endoplazma zawsze zawiera ziarenka „własne", które są jej stałym składnikiem, występują nawet u wymoczków, głodzonych przez długi czas.

A więc przecież znaleźliśmy strukturę protoplazmy, musieliśmy zgodzić się, że ziarenka są elementami jej budowy! Owszem, jednak pod pewnemi względami przypominają one trichocysty, gdyż tak samo nic nie tłumaczą, a zato narzucają jedno zagadnienie więcej. „Elementy" są nam potrzebne poto, aby coś wyjaśnić za ich pomocą. Zamiast tego musimy łamać sobie głowę nad tem, do czego właściwie potrzebne są pantofelkowi ziarenka plazmatyczne. Zniecierpliwiony biolog, nękany ciągłemi pytaniami: a poco? a naco? a do czego? — gotów wreszcie powiedzieć: dajcież mi święty spokój! Kto was nauczył, że każda plamka, każdy włosek i każda zmarszczka koniecznie musi posiadać jakąś czynność, do czegoś specjalnie służyć? Mam ja inne, poważniejsze kłopoty, mam dziesiątki czynności, dla których nie mogę odnaleźć wykonywujących je narządów. Wy zaś, zamiast mi dopomóc, coraz to uszczęśliwiacie mnie jakąś strukturą, dla której mam szukać znaczenia. I bez tego za dużo jest niewyjaśnionych czynności. Poprzestańmy na tych, które znamy! Inaczej mówiąc, nie mam czasu i bardzo przepraszam!

Czytelnik trafił tu na scenę domową pomiędzy bio-

logami różnego autoramentu. Jest ona mniej straszna, niż wygląda. Pogodzą się!

Prócz ziarenek, znajdziemy zwykle w endoplazmie pewną liczbę charakterystycznych *kryształków fosforanu wapnia*, rozrzuconych po całem ciele, ale

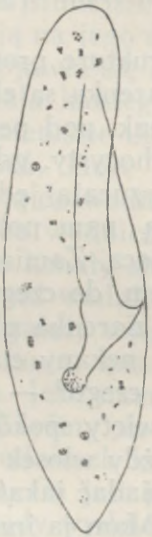


Fig. 19. Kryształy fosforanu wapniowego, rozsiane w endoplazmie.



Fig. 20. Różne postacie kryształów fosforanu wapniowego (Schewiakoff).

najliczniejszych na obu końcach. Większość z nich leży wprost w endoplazmie, niektóre, większe od innych, leżą pojedyńczo wewnątrz specjalnego wodniczka. Do czego służą? Hm! Nie jest wykluczone. że do czegoś służą.

Pantofelek, mający dość pokarmu, napełniony jest stale pęcherzykami wody, zawierającemi pobrane pożywienie. Są to *wodniczki pokarmowe*. Zwierzę łyka bakterje zawsze wraz z odrobiną wody, dlatego też pokarm nie leży wprost w endoplazmie, lecz wewnątrz wodniczka. Ciekawe, że wodniczki te nigdy nie zlewają się z sobą, choć mogą stykać się w endoplazmie. Jak dowiemy się w rozdziale o trawieniu, protoplazma tworzy dokoła każdego wodniczka pokarmowego cienką błonkę. Wielkość wodniczka i jego wygląd mogą być bardzo rozmaite, ponieważ w każdym z nich w ciągu jego pobytu w protoplazmie zachodzą procesy trawienia i wygląd wodniczka zależy od chwilowego stanu tego procesu. Wodniczki wędrują po całem ciele wymoczka, zakreślając mniej więcej tę samą drogę. W czasie wędrówki zawartość wodniczków zostaje rozpuszczona i wsiąka do endoplazmy, niestrawione zaś resztki zostają wyrzucone nazewnątrz, zawsze w tym samym punkcie ciała: na stronie brzusznej i wpobliżu tylnego końca. Miejsce, w którem resztki zostają wyrzucane z ciała, niczem specjalnem nie różni się od innych punktów jego powierzchni, posiada taką samą pellikulę i ektoplazmę. A mimo to wodniczki skierowują się stale do tego właśnie punktu. Znowu mamy przed sobą czynność, dla której nie znamy narządu. U człowieka pokarm spożyty krąży określonemi drogami, gdyż przesuwa się wewnątrz przewodu pokarmowego, który narzuca mu kierunek, jak szyny nadają kierunek tramwajowi. Pantofelek nie ma przewodu pokarmowego, nie mniej droga pokarmu w endoplaz-

mie jest określona i stała. Że wodniczki pokarmowe nie są narządem trawienia, jest zupełnie jasne. Zawierają one tylko to, co podlega strawieniu. Właściwym zaś narządem trawiącym jest wciąż ta sama, nieśmiertelna protoplazma.

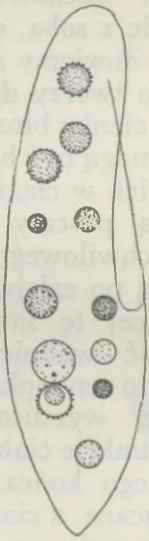


Fig. 21. Wodniczki pokarmowe w różnych fazach trawienia.

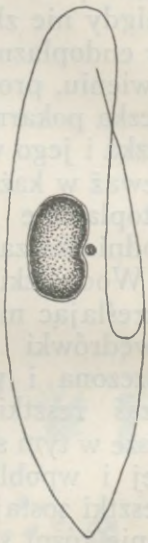


Fig. 22. Aparat jądrowy wymoczka, złożony z jądra większego i mniejszego.

Nic dotąd nie mówiliśmy o ważnej części składowej wymoczka: o jego *jądrze*. Aczkolwiek jądro zajmuje sporo miejsca w endoplazmie i posiada wyraźne kontury, dostrzec je na żywym wymoczku jest bardzo trudno. Bowiem jądro jest równie przezro-

czyste, jak protoplazma i nie jest widoczne na jej tle, jak niewidoczny jest kawałek kryształu górskiego, wrzucony do szklanki z wodą. Jedynie gdy pantofelek jest bardzo najedzony, miejsce zajęte przez jądro można rozpoznać po tem, że niema w niem wodniczków pokarmowych. Jądro żywe widoczne jest tylko w ultramikroskopie. Aby je uwydatnić, musimy chwycić się pewnych sposobów. Skorzystamy mianowicie z ciekawej własności jądra: jego zdolności chciwego wchłaniania niektórych barwników, jak karmin, safranina, hematoksylina, niektóre barwniki anilinowe i t. p. Jeśli do kropli wody z pantofelkami dodamy kroplę roztworu takiego barwnika, po uprzedniem zabiciu wymoczków np. kwasem octowym, jądro zabarwi się intensywnie i będzie bardzo wyraźnie odbijało od protoplazmy. Musimy przedtem zabić pantofelki, gdyż żywa protoplazma nie przepuszcza barwników i nie zdołałyby one dotrzeć do jądra.

Uwidocznione w ten sposób jądro jest sporem okrągławem ciałkiem, leżącem w endoplazmie, mniej więcej w środku długości wymoczka (fig. 22). Substancja jądra jest nieco gęstsza od protoplazmy i jeśli protoplazma jest cieczą, jądro moglibyśmy porównać z masą galaretowatą. Jądro żywe nie wykazuje żadnej struktury, prócz może drobnej ziarnistości, widzialnej tylko przy bardzo dużych powiększeniach mikroskopu. Na powierzchni posiada ono własną wyraźną błonkę, oddzielającą je od protoplazmy. Na jądrze zabitem i zabarwionem widzimy natomiast liczne, gęsto ułożone ziarenka, które

należy uważać za twór sztuczny, za wynik strącania substancji jądra odczynnikami utrwalającemi.

W jednym punkcie swojej powierzchni posiada jądro niewielkie okrągławe wgłębienie, jakby wgniecione palcem. Wewnątrz niego leży luźno niezwiązane z jądrem ciałko, barwiące się trochę odmiennie. Jest to tak nazwane *jądro mniejsze* (micronucleus), w przeciwstawieniu do poznanego już *jądra większego* (macronucleus). Takie podwójne jądro jest bardzo charakterystyczne dla naszego pantofelka, jak zresztą i dla wielu innych wymoczków.

Niewątpliwie jądro jest stałym składnikiem organizmu pantofelka i obecność jego jest nieodzownym warunkiem życia. To jest zupełnie pewne. Gdybyśmy przecięli pantofelka wpoprzek na dwoje, jedynie część zawierająca jądro pozostałaby przy życiu. Ale w jaki sposób jądro wpływa na bieg procesów życiowych, tego nikt jeszcze dotąd nie zgłębił. Jądro większe zdaje się być jakoś związane z procesami trawienia, wydalania i, być może, oddychania, jądro mniejsze bierze czynny udział w mnożeniu się zwierzęcia. Wiele faktów przemawia za tem, że jądro nie jest czemś zasadniczo odmiennem od protoplazmy, lecz pozostaje z nią w tak ścisłym związku, że nie zawsze łatwo jest powiedzieć, co jest jądrem, a co niem nie jest. Pomiędzy jądrem a protoplazmą musi istnieć stała wymiana substancyj, jedno bez drugiego nie jest zdolne do życia. Przy opisie zjawisk podziału i konjugacji powrócimy do jądra raz jeszcze. Narazie zadowolimy się stwierdzeniem, że jądro, jakkolwiek jest stałym składnikiem ciała wymoczka i stałym składnikiem

TABLICA V

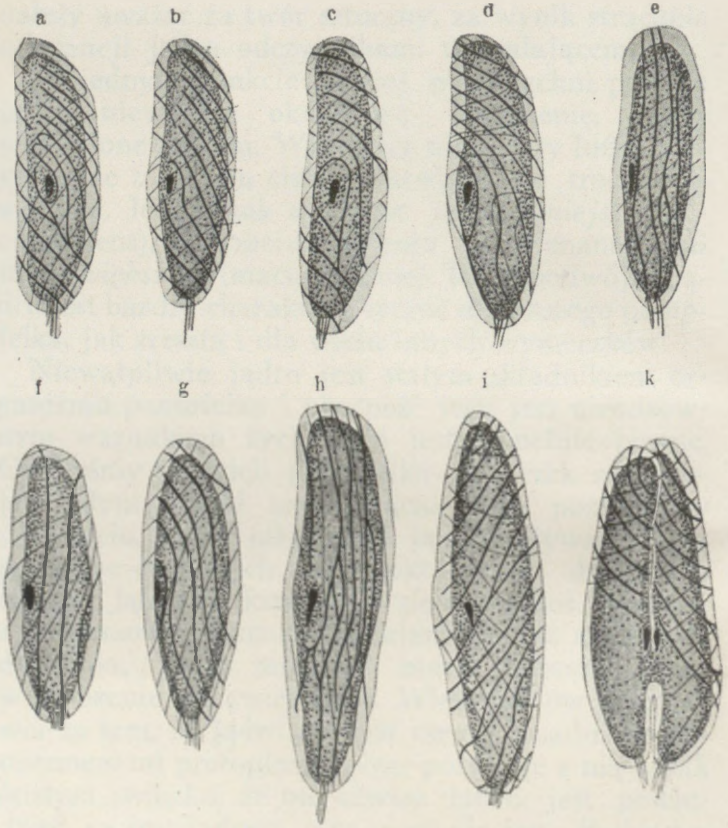


Fig. 25. Utrwalone fale rzęskowe. Kierunek ich podają linje ukośne. (Gelei).

każdej wogóle komórki żywej w całem państwie roślinnem i zwierzęcem, jest utworem nieco zagadkowym. Doszliśmy do wniosku, że procesy trawienia, wydalania, oddychania i t. d. odbywają się w protoplazmie. Teraz możemy dodać, że odbywają się one ze współudziałem jądra. Narazie to wszystko.

W bardzo ogólnych zarysach poznaliśmy więc budowę pantofelka, przyjrzeliśmy się materjalnemu podłożu zjawisk życiowych, niezwykle skomplikowanych i zmiennych. Bliższe i subtelniejsze badanie wykazuje, iż budowa naszego wymoczka jest nieprawdopodobnie zawiła. W każdym punkcie ciała coraz to znajdujemy nowe szczegóły, najzupełniej niespodziewanie. Z drugiej strony coraz częściej dochodzimy do wniosku, że czynności zwierzęcia są niewymownie skomplikowane. Samo w sobie nie jest to groźne. Im więcej badamy, tem więcej znajdujemy, to całkiem naturalne. Ale trudność polega na tem, że oba te skomplikowania nie idą równolegle, a nawet w gruncie rzeczy niewiele mają z sobą wspólnego. Odkrycie nowej struktury nie wyjaśnia znanych już czynności, odkrycie nowej czynności wymaga jeszcze odnalezienia nowej struktury. Tak splatają się te dwie gałęzie badania ustroju żywego, ku radości badaczy, którzy widzą przed sobą coraz nowe objekty i tematy, a ku utrapieniu czytelnika, który chciałby coś wreszcie zrozumieć, a który czuje, że brnie coraz głębiej i coraz beznadziejniej. Odwagi! Coś przecież wiemy o pantofelku, i nie mało! Chętnie podzielimy się tem z czytelnikiem.

ROZDZIAŁ III

RUCH

Z PEWNĄ obawą przystępuję do opisu najbardziej elementarnej ze wszystkich czynności życiowych pantofelka: jego ruchów. Są one, niestety, nader dalekie od elementarności! Podobno kula ziemska wykonywa kilkanaście ruchów różnego rodzaju. Szczęśliwym ludziom, którzy zajmują się temi sprawami, można pozazdrościć prostoty zagadnienia i ścisłości metod jego badania. Ruchy kuli ziemskiej są zrozumiałe dla tego, kto posiada odpowiednie wykształcenie matematyczne. Matematyka niewiele nam jednak pomoże w zrozumieniu ruchów pantofelka, a główna moja obawa płynie stąd, że i wykształcenie biologiczne okazuje się w tym przypadku niewystarczające. Sam nie wiem, jakie wykształcenie byłoby tu najodpowiedniejsze. Może zdrowy rozsądek? O ten podobno najtrudniej!

Teraz, gdy czytelnik został dostatecznie nastraszony, ambicja jego jest podrażniona i uwaga napięta, przystępuję do rzeczy. Pantofelek pływa dzięki ruchom licznych rzęsek, pokrywających jego ciało. Jest ich kilka tysięcy. Rzęska jest wiosełkiem o nieco niezwykłych właściwościach, bowiem mieści sama w sobie poruszający ją motor. Wynika to

z bezpośredniej obserwacji. Na powierzchni bąbelków, powstających podczas powolnego zgniatania pantofelka (fig. 7), widzimy zwykle kilka luźnych rzęsek, oderwanych od ektoplazmy. O ile rzęski zachowały swoje ciałka podstawowe, będą one przez dłuższy czas uderzały o wodę, ale ustają natychmiast, skoro ciałko podstawowe uległo uszkodzeniu. Przypuszcza się dość powszechnie, że rzęska posiada część osiową, bierną, oraz kurczliwą powłokę, otoczkę, czy błonkę, której nierównomierne skurcze powodują uginanie się i wyprostowywanie rzęski. Tu tkwiłby motor poruszający. Co się tyczy ciałka podstawowego, to prawdopodobnie przenosi ono nakazy skurczu do różnych części błony rzęskowej. Później pomówimy o tem obszerniej.

Rzęska uderza w wodę naprzód i w tył. Gdyby oba te uderzenia były ściśle identyczne, pantofelek oczywiście stanąłby w miejscu, jak stanie w miejscu łódka, w której machamy wiosłami jednakowo naprzód i w tył, nie wyjmując ich z wody. To też oba te uderzenia rzęskowe różnią się znacznie. Uderzenie w tył jest krótkie i silne, rzęska jest przytem prawie wyprostowana. Cofnięcie jej zaś do położenia pierwotnego wymaga znacznie więcej czasu, trwa, jak obliczono, około czterech razy dłużej. Jednocześnie podczas ruchu naprzód rzęska zmienia swój kształt: zgina się silnie i zbliża do powierzchni ciała. W tych warunkach efekt jej uderzenia w wodę w kierunku ku tyłowi jest znacznie większy i dzięki temu wymoczek może płynąć naprzód. Na fig. 23 widzimy poruszające się rzęski i poznamy odrazu, które z nich uderzają naprzód, a które w tył.

Strzałki oznaczają tu kierunek uderzeń rzęsek, oczywiście odwrotny do kierunku ruchu wymoczka.

Rzęski uderzają w ściśle określonej kolejności, ruch ich jest dokładnie uzgodniony. Jest to konieczny warunek pływania, w przeciwnym bowiem razie rzęski przeszkadzałyby sobie wzajemnie. W każdym rzędzie podłużnym rzęski uginają się kolejno, zbliżone do siebie rzęski rzędów sąsiednich uderzają jednocześnie. Po powierzchni wymoczka wciąż

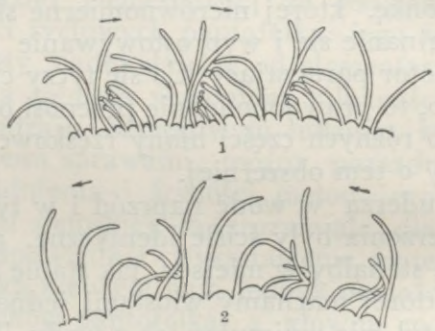


Fig. 23. Rzęski, utrwalone w ruchu. Strzałki wskazują kierunek uderzeń rzęsek (Gelei).

przebiegają fale, przypominające łan zboża, kołysany wiatrem. Jest to jednak zawiła sprawa. Nauczono się zabijać pantofelki tak błyskawicznie, że rzęski ich zostają sparaliżowane w tej fazie uderzenia, w jakiej zastało je utrwalenie. Tym sposobem otrzymuje się piękne, trwałe preparaty mikroskopowe, na których rzęski zachowują położenie, jakie miały w chwili utrwalenia. Jest to poniekąd rodzaj fotografji migawkowej. Fig. 23 wyobraża właśnie taki utrwalony rząd rzęsek. Jak wygląda cały wy-

moczek na podobnym preparacie, ukazuje fig. 25. Fale rzęskowe przebiegają tu ukośnie, co jest najpospolitszym przypadkiem. Ale położenie fal może być bardzo rozmaite i nie wiemy dobrze, jak zmia-

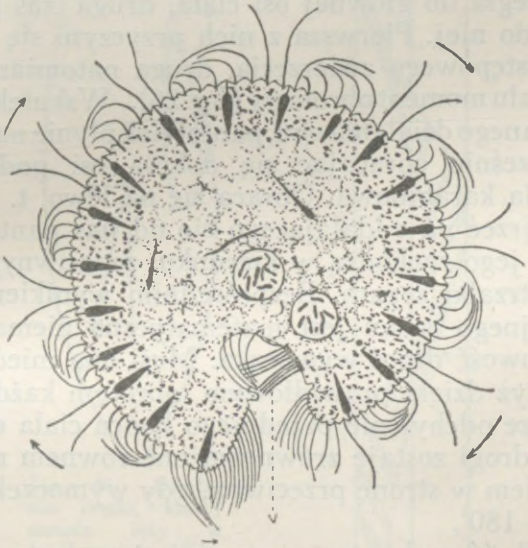


Fig. 24. Schematyczny przekrój poprzeczny wymoczka na poziomie przełyku. W takim układzie fal rzęskowych, pantofelek obraca się dokoła osi podłużnej w kierunku odwrotnym do strzałek (Gelei)

ny te wpływają na ruchy zwierzęcia. Dotąd nie udało się ustalić związku pomiędzy charakterem fal, a sposobem poruszania się pantofelka.

Rzęska może uderzać w każdej dowolnej płaszczyźnie: naprzód, w tył, na boki, i ukośnie pod każdym dowolnym kątem. Wśród tych licznych możli-

wości mamy kilka, powtarzających się najczęściej. Zwykle rzęski uderzają pod pewnym niewielkim kątem do osi podłużnej ciała. Efekt każdego uderzenia można uważać za wypadkową dwóch sił, przyłożonych do nasady rzęski. Z nich jedna jest równoległa do głównej osi ciała, druga zaś prostopadła do niej. Pierwsza z nich przyczyni się do ruchu postępowego zwierzęcia, druga natomiast nada jego ciału moment obrotowy (fig. 26). Wskutek skombinowanego działania obu, pantofelek płynie naprzód, jednocześnie obracając się dokoła osi podłużnej, jak kula karabinowa. Obraca się na lewo, t. zn. jeśli spojrzeć na oddalającego się od nas pantofelka, obroty jego zachodzą w kierunku, przeciwnym biegowi strzałki zegara. Bezpośrednim wynikiem tego podwójnego ruchu jest matematyczna niemal prostolinjowość drogi wymoczka. Musi ona mieć miejsce, gdyż dzięki prawidłowym obrotom każde najmniejsze odchylenie przedniego końca ciała od kierunku drogi zostaje zrównoważone równem mu odchyleniem w stronę przeciwną, gdy wymoczek obróci się o 180°.

Prędkość ruchu postępowego jest znaczna: w dobrych warunkach wynosi ona około 2 mm na sekundę. Ponieważ pantofelek ma zaledwie 0,25 mm długości, przebywa on w ciągu sekundy przestrzeń, około 8 razy dłuższą od niego samego. Dla człowieka średniego wzrostu wyniosłoby to około 50 kilometrów na godzinę. Wcale niezła szybkość, tembardziej, że pantofelek płynie w wodzie, stawiającej znaczny opór, a w dodatku dzięki małym rozmiarom ciała posiada on olbrzymią w stosunku do ob-

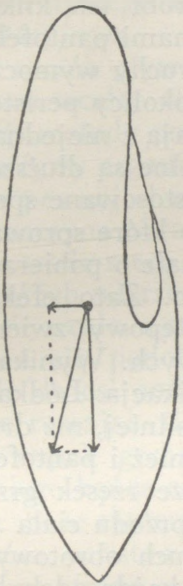


Fig. 26. Działanie rzęski, której nasada leży w środku ciała. Siła, przyłożona do nasady, rozkłada się na dwie wzajemnie prostopadłe, z których jedna przez oddziaływanie popycha ciało naprzód, druga obraca je dokoła osi podłużnej.

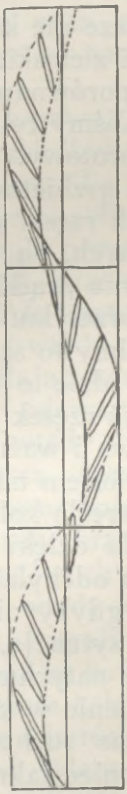


Fig. 27. Zmiany położenia ciała wymoczka w ruchu postępowym (Ludwig).

jętości powierzchnię, czyli musi pokonywać ogromne tarcie.

To jeszcze nie koniec. Powiedziałem przecież, że ruchy kuli ziemskiej, która robi ich kilkanaście, są proste w porównaniu z ruchami pantofelka. A dotąd poznaliśmy tylko dwa ruchy wymoczka: postępowy i obrotowy. Otóż w okolicy peristomu rzęski brzuszne i grzbietowe uderzają z niejednakową siłą. Jakkolwiek rzęski peristomalne są dłuższe i silniejsze od innych, są one przystosowane specjalnie do wytwarzania prądów wody, które sprowadzają pokarm do przełyku. W rozdziale o pobieraniu pokarmu omówimy to szczegółowo. Zato efekt ich uderzeń, gdy idzie o ruch postępowy zwierzęcia, jest słabszy, niż rzęsek grzbietowych. Wynika stąd bardzo ciekawa i ważna komplikacja. Łódka, w której jednem wiosłem uderza się silniej, niż drugiem, zawraca, zakreśla koła. Podobnież i pantofelek zakreślałby koła dzięki przewadze rzęsek grzbietowych i ciągłemu odchylaniu się przodu ciała na stronę brzuszną, gdyby nie jego ruch obrotowy. Obroty zmieniają sytuację, bowiem każde odchylenie przodu zostaje natychmiast zrównoważone przez równe mu odchylenie w kierunku przeciwnym. Wobec tego, podczas ruchu postępowego wymoczka, jego przedni koniec zakreśla linję spiralną, podobnie jak księżyc, który obraca się dokoła ziemi, a zarazem wraz z ziemią obraca się dokoła słońca. Za tym ruchem spiralnym podąża także koniec tylny, odchylając się zresztą w znacznie mniejszym stopniu od kierunku ruchu całego wymoczka, oś zaś tej podwójnej spirali jest linją prostą. Na fig. 27 stosunki te występują jasno.

Znamy więc trzy składniki ruchu pantofelka:

ruch postępowy, *ruch obrotowy* oraz odchylenia przedniego i tylnego końca, które możemy nazwać *ruchem nutacyjnym*.

Opisany sposób pływania jest typowy. Nie oznacza to jednak wcale, aby wymoczek był niewolnikiem jakiejś metody poruszania się. To nie kula ziemska, to żywy organizm. Płynie on, obracając się na lewo, w pewnej chwili zaś nagle przychodzi mu fantazja i zaczyna obracać się na prawo. Rzęski uderzają w wodę nieco ukośnie. Ale pantofelek może skierować ich uderzenia w tył i wtedy płynie, nie obracając się wcale, a zato zakreślając szerokie koła. Jeśli tak mu się podoba, może uderzać rzęskami prostopadle do osi podłużnej i wtedy obraca się szybko, nie ruszając się z miejsca (por. fig. 24). Przewaga rzęsek grzbietowych powoduje odchylenia przedniego końca ciała na stronę brzuszną. Ale pantofelek może raptem wstrzymać ruch wszystkich rzęsek, prócz peristomalnych, i wtedy obraca się w miejscu na stronę grzbietową. Potrafi zatrzymać się, unieruchomić tylny koniec ciała, końcem przednim zaś zataczać szersze lub węższe koła, zakreślając powierzchnię stożkową. Może odwrócić kierunek ruchu wszystkich rzęsek i pływać tyłem, obracając się w prawo lub lewo. Ponieważ wszystkie te rodzaje ruchów mogą występować we wszelkich dających się pomyśleć kombinacjach, skomplikowany nasz opis staje się albo beznadziejnie zawiły, albo też bardzo prosty. Wybieramy oczywiście to drugie i stwierdzamy, że w gruncie rzeczy pantofelek może pływać, jak mu się tylko podoba.

Wszystko to była teorja. Zobaczymy obecnie, ja-

ki użytek robi pantofelek ze swoich możliwości ruchowych. Istnieje stara piosenka angielska o Stonodze. Stonoga wesoło biegała po świecie i nic nie zakłócało jej szczęścia. Jak wiadomo, w ten niedopuszczalny stan rzeczy wcześniej czy później musi wdać się los. W tym przypadku przybrał on postać ropuchy, stworzenia złośliwego i zawistnego. Ropucha spotkała kiedyś Stonogę i odezwała się do niej jadowicie: „Powiedzno mi, Stonogo, jak ty właściwie możesz wogóle biegać? Ja mam cztery nogi, a nieraz muszę dobrze namyślić się, którą z nich posunąć naprzód, a którą cofnąć w tył. Ty zaś masz kilkaset nóg. Jakże możesz pamiętać, kiedy masz podnieść 48-mą nogę, a kiedy 172-gą?". Stonoga zamyśliła się głęboko. Chcąc odejść, uniosła 93-cią nogę i nagle... zapomniała, ruch której nogi powinien nastąpić potem. Nie pomogły rozpaczliwe wysiłki, Stonoga zapomniała wszystko i nie mogła ruszyć z miejsca.

Pantofelek jest w jeszcze gorszem położeniu, posiada bowiem kilka tysięcy rzęsek. Nie może więc pamiętać o każdej z nich zosobna, rzęski poruszają się automatycznie, pantofelek tylko zmienia od czasu do czasu nastawienie zwrotnicy, a wtedy jeden automatyzm przechodzi w drugi, drugi zaś w osiemnasty. Ale nie uprzedzajmy biegu wydarzeń.

Mamy proste sposoby, pozwalające na dokładny zapis ruchów objektów mikroskopowych. Zapomocą pryzmatu i lusterka rzuca się w pole widzenia mikroskopu obraz kartki białego papieru, leżącej obok na stole. Patrząc w mikroskop, widzimy jednocześnie papier i nie odrywając oka od mikroskopu

możemy prowadzić ołówkiem za płynącem zwierzęciem, zapisując kierunek jego ruchu. Zajmiemy się jakimś jednym pantofelkiem. Obserwując go w kropli wody na płaskiem szkiełku stwierdzimy, że droga jego jest w najwyższym stopniu nieprawidłowa i fantastyczna. Zwierzątko płynie kawałek prosto, potem skręca na lewo, zatrzymuje się w miejscu, zawraca na prawo, cofa się tyłem i t. p. Ruchy jego są powolne i leniwe, droga jest szeregiem pogmatwa-

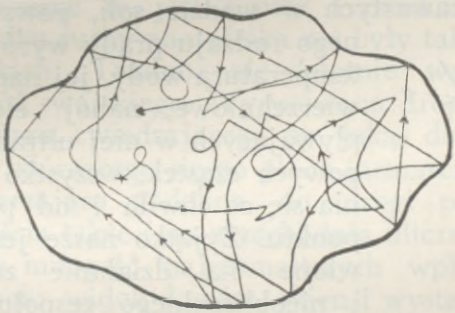


Fig. 28. Chaotyczny ruch pantofelka w kropli pożywki sianowej.

nych linij, w których nie znać ani śladu uporządkowania (fig. 28). Zapytamy, jaka może być przyczyna raptownych zwrotów naszego sympatycznego bohatera? Dlaczego płynie on czasem prosto, czasem zaś skręca na prawo lub lewo? Gdy człowiek na ulicy nagle zatrzyma się i zawróci, powiemy sobie: „Aha! Pewno coś zapomniał". Czy i pantofelek coś sobie nagle przypomina, nie mamy o tem pojęcia. Dość, że w miejscu zmiany kierunku ruchu widzimy tylko przezroczystą wodę, niema tam żadnej

uchwytnej przyczyny, która mogłaby spowodować zwrot.

Mówią nam na to, że kropla wody jest siedliskiem nadzwyczaj skomplikowanych zmian, niewidocznych dla oka, nie mniej najzupełniej realnych. W kropli odbywa się parowanie, jej powierzchnia jest nieprawidłowa, w różnych jej punktach parowanie zachodzi z niejednakową szybkością. W poszczególnych miejscach kropli wciąż zmienia się stężenie zawartych w wodzie soli, powstają różnego rodzaju prądy wyrównawcze, temperatura wody, jej napięcie powierzchniowe, nabój elektryczny pływających w niej ultramikroskopowych cząstek, wszystko to zmienia się co chwila i od punktu do punktu. Żyjątko nasze jest wystawione na działanie zmiennego i nieobliczalnego zespołu warunków zewnętrznych, a wiemy skądinąd, że na wszelkie tego rodzaju wpływy pantofelek jest bardzo wrażliwy. Nic dziwnego, że droga jego jest tak beznadziejnie pogmatwana. Przyczyna zwrotów leży w warunkach zewnętrznych, bezpośrednio oddziaływujących na rzęski wymoczka. Gdy płynący pantofelek zderzy się z jakąś przeszkodą, cofa się on o parę długości ciała, odchyla przedni koniec o pewien kąt, znowu płynie naprzód aż do zderzenia, znowu cofa się i odchyla i t. d., aż ominie przeszkodę. Widzimy to na fig. 29. Jeśli przeszkoda jest lek-

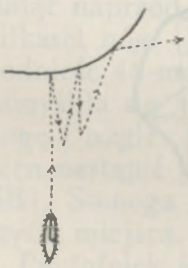


Fig. 29. Jak pantofelek omija przeszkodę.

ka, zwierzę usiłuje „przebić ją głową", co mu się czasem udaje, gdy zaś nie uda się, nastąpi zwykły zwrot i zmiana kierunku. Widzimy więc naocznie, że w tym razie zmiana kierunku ruchu następuje jako skutek zderzenia, a zatem jako wynik oddziaływania przyczyny zewnętrznej. Jeśli w środku kropli nie widzimy żadnej przeszkody, nie dowodzi to wcale, aby jej nie było. W każdym punkcie zwrotnym musi istnieć jakaś lokalna przyczyna i basta!

Tłumaczenie to jest proste i przekonywujące. Gdyby tylko ruchy pantofelka nie były tak podobne do ludzkich! Trudno, ale istotnie wyczuwamy w nich coś swojskiego. Wyrysowana droga osobnika ludzkiego, zwiedzającego np. jakąś dużą wystawę, albo włóczącego się po placu jarmarcznym, byłaby uderzająco podobna do drogi pantofelka. Z pewnością także i na przechodnia ulicznego działa wielka mnogość najrozmaitszych wpływów zewnętrznych: widok domów, okien i wystaw sklepowych, tramwajów i automobili, licznych bliźnich, potrącających się wzajemnie, działają nań prądy powietrza, zapachy, światła, barwy i cienie. Nie mniej, nie chcielibyśmy tłumaczyć jego zwrotów tylko zapomocą tych wszystkich działań. Wierzymy raczej, że przechodzień powoduje się jakąś myślą, do czegoś zdąża i że jego przeżycia wewnętrzne decydują o każdorazowej zmianie kierunku. A może i wymoczek czegoś chce i do czegoś dąży? Gdyby istotnie tylko wpływy zewnętrzne były jedyną przyczyną jego zwrotów, pantofelek wogóle nie potrafiłby pływać prosto. Droga jego byłaby równie chaotyczna, jak droga kawałeczka kamfory na po-

wierzchni wody, bowiem czynniki zewnętrzne stanowią chaos zmian, działających we wszystkich możliwych kierunkach. Tymczasem bardzo często pantofelek przebywa duże odcinki drogi, płynąc zupełnie prosto. Im bardziej zawiłe są zmiany, zachodzące w kropli wody, tem trudniej jest wytłumaczyć niemi ruchy wymoczka. Albo np. widzimy dwa osobniki, płynące tuż obok siebie i w tym samym kierunku. Jeśli kierunek ich ruchów został im narzucony przez czynniki otaczające, w jednym i tym samym punkcie czynniki te nie mogą być różne, a zatem oba wymoczki powinnyby wspólnie wykonywać wszystkie zwroty. W istocie tego wcale nie robią, jeden z nich skręci na prawo, drugi zaś popłynie dalej, aby potem skręcić na lewo. Zupełnie jak dwaj przechodnie, którzy idą kawałek razem, a potem rozchodzą się każdy w swoją stronę.

Ten punkt widzenia wydaje się bardzo fantastyczny. Bo i cóż jakiś tam wymoczek może mieć wspólnego z człowiekiem? Czy może on myśleć, czuć, przeżywać? O tem nie wiemy nic. Możemy tylko obserwować pewne zjawiska w życiu wymoczka, porównywać je z odpowiedniemi zjawiskami w życiu człowieka i snuć stąd domysły. Jeśli przejawy życiowe obu przebiegają podobnie, nie będzie rzeczą zdrożną przypuścić, że i przyczyny ich muszą być analogiczne.

Wszelkie rozważania przyrodnicze o tyle tylko mają wartość, o ile słuszność ich lub niesłuszność można sprawdzić na drodze doświadczenia. Spróbujemy więc podejść do tego trudnego zagadnienia ze strony doświadczalnej. Weźmiemy bardzo malutkie

(około 6 mm średnicy) naczyńko szklane o przekroju kolistym, napełnimy je pożywką sianową ze słoja, w którym hodujemy wymoczki, i wpuścimy doń jednego pantofelka. Ruchy jego będziemy obserwowali z pomocą mikroskopu i ołówka. Niebawem dostrzeżemy coś niespodziewanego. Droga zwierzęcia, początkowo tak kapryśna i pogmatwana, stopniowo zaczyna nabierać pewnej prawidłowości. Krzywe odcinki drogi stają się coraz rzadsze, coraz bardziej przewa-



Fig. 30. Ruch wymoczka w wanience kolistej. Droga jednego osobnika w ciągu trzech kolejnych okresów dwuminutowych.

żają w niej linje proste (fig. 30). Jeśli zwierzątko przedtem kołowało bez porządku i sensu, zawracając w środku kropli, teraz uderza ono raz po raz w ściankę naczynia i wtedy dopiero zmienia kierunek ruchu. Upływa dalszych parę minut. Wciąż ślęczymy nad wymoczkiem z ołówkiem w ręku, coraz to zmieniając kartkę papieru, aby kreślone na niej linje nie utworzyły gmatwaniny, w której zgubilibyśmy się. Droga pantofelka staje się coraz bardziej prawidłowa: przemierza on naczyńko prostolinjowo, pływając o wiele prędzej, niż na początku, zmiana kierunku zachodzi wyłącznie wskutek zderzenia ze ścianką.

Wreszcie, wymoczek zaczyna zakreślać prawie prawidłowy ośmiokąt, stale pływając wpobliżu ścianek. Jeśli w naczyńku jest kilkanaście wymoczków, utworzą one ruchomy pierścień, w którym połowa osobników będzie krążyła w jednym kierunku, połowa zaś

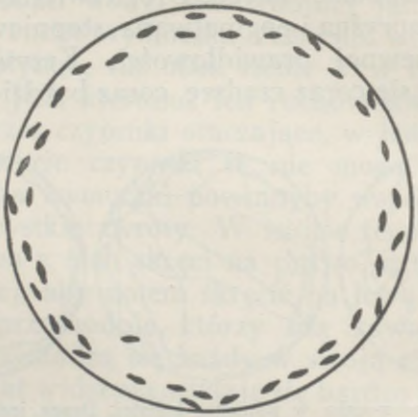


Fig. 31. W wanience kolistej wymoczki po kilku minutach pływają wzdłuż obwodu.

w przeciwnym (fig. 31), gdy środek naczyńka pozostaje pusty.

Jakże tu wierzyć w decydujący wpływ czynników zewnętrznych? Fizyka kropli pozostała fizyką kropli, istnieje w naczyńku parowanie, istnieją prądy osmotyczne i zmiany napięcia powierzchniowego. Skoro jednak ruch zwierzęcia stał się prawidłowy, jasne jest, że nie te wcale czynniki decydują o zmianie jego kierunku. Zbyt prosto chcielibyśmy odgadnąć tajemnicę pantofelka.

Weźmiemy teraz naczyńko innego kształtu. Spo-

rządzić je nietrudno. Na szkiełko przedmiotowe nalejemy warstwę roztopionej parafiny i po jej zastygnięciu wytniemy w niej okienko w kształcie kwadratu. Otrzymane naczyńko napełnimy znowuż pożywką sianową, uważając, aby powierzchnia cieczy była możliwie płaska, i wpuścimy tam jednego wymoczka. Początkowo droga jego będzie nosiła ten sam charakter, co w naszej pierwszej obserwacji: leniwe pływanie, nagłe zmiany kierunku w środko-



Fig. 32. Droga jednego wymoczka w wanience kwadratowej w ciągu trzech kolejnych okresów dwuminutowych.

wych częściach naczynia, nieprawidłowe linje krzywe. Ale i tu ruch zaczyna uporządkowywać się stopniowo i po kilku minutach pantofelek zacznie zakreślać prawidłową figurę kwadratową, ukośnie wpisaną w naczyńku (fig. 32).

Bierzemy naczyńko o przekroju pięciokątnym. Po kilku minutach wymoczek zakreśla w niem pięciokąt. W sześciokącie zostaje zakreślony sześciokąt, w trapezie trapez. Słowem, w naczyńku, którego przekrój ma kształt jakiejś prostej figury geometrycznej, wymoczek zakreśla figurę, podobną do obwodu. Wyjątek stanowi trójkąt foremny, w któ-

rym wymoczek pływa dziwacznie. Odbija się on od ścianki w kierunku kąta i po kilku odbiciach dostaje się w sam kąt, gdzie zatrzymuje się chwilę. Potem

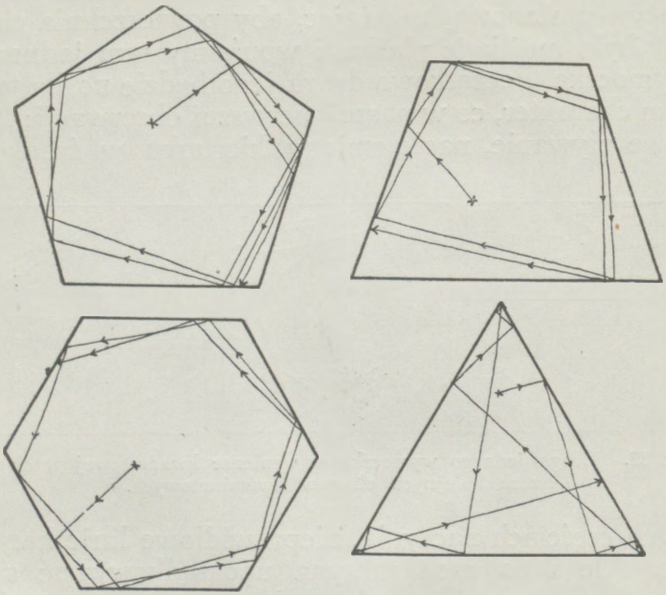


Fig. 33. Droga wymoczka w naczyniach różnego kształtu po dwóch minutach.

w ten sam sposób zygzakuje do sąsiedniego kąta, aby zatrzymać się w nim i t. d. (fig. 33).

Chcielibyśmy coś zrozumieć w ruchach pantofelka. Ślęczeliśmy nad nim, rysowaliśmy jego drogę, ale zamiast zrozumienia spotykamy tylko nową zagadkę. Jak wytłumaczyć te geometryczne zamiłowania wymoczka? Dlaczego geometrja zawodzi w trój-

kącie, a nie zawodzi w kwadracie? Skoro doszliśmy do geometrji, musimy oprzeć się na jakichś danych ściślejszych. Jak matematyka, to matematyka, będziemy mierzyć i liczyć. Zawsze zresztą głębsze poznanie zjawisk przyrodniczych jest związane z pomiarami, na nich opiera się prawdziwy postęp. Spróbujemy zmierzyć na naszych wykresach kątv „padania“ i „odbicia“ wymoczka w wanienkach różnego kształtu. Przez analogję ze zjawiskami świetlnemi, nazwiemy kątem padania kąt, utworzony przez kierunek ruchu wymoczka bezpośrednio przed zderzeniem się ze ścianką, a linją prostopadłą do ścianki w punkcie zetknięcia. Kąt odbicia zaś będzie kątem pomiędzy tą prostopadłą, a kierunkiem ruchu zaraz po odbiciu. Nie chcąc nadużywać cierpliwości czytelnika, nie będę przytaczał tu szeregów otrzymanych liczb. Powiem odrazu, że w naczyńkach różnego kształtu kąt padania jest bardzo różny, wielkość jego waha się w szerokich granicach. Natomiast kąt odbicia jest wielkością stałą dla wszystkich naczyniek, nie zależy od ich kształtu i wynosi około 70°. Oczywiście wielkość ta nie jest zawsze ściśle jedna i ta sama, ale w granicach paru stopni stałość kąta odbicia zostaje zachowana.

Posłuchajmy, jak ciekawe są tego konsekwencje. Znając to prawo ruchu, możemy robić różne sztuki z pantofelkiem. Najpierw zrozumiemy odrazu, dlaczego wymoczek zakreśla drogę, podobną do obwodu wanienki. Weźmy np. naczyńko kwadratowe. Skoro wymoczek zderzył się z jego ścianką w określonym punkcie, tem samem już utrwalił swoją drogę w tem naczyńku. W punkcie zetknięcia zbuduje-

my kąt odbicia równy 70°, otrzymany kierunek przedłużymy aż do sąsiedniej ścianki, tu znowuż zbudujemy kąt 70° i t. d. Otrzymamy drogę wymoczka w postaci prawidłowego kwadratu, a bardzo proste rozważania geometryczne wykażą, że droga ta musi być w tym przypadku podobna do obwodu wanienki. To samo dotyczy pięciokąta i sześciokąta. W kole wymoczek zakreśla prawidłowy ośmiokąt, a połowa kąta tej figury, odpowiadająca kątowi odbicia (jak również i kątowi padania) wynosi 67,5°, co dobrze zgadza się z typową wielkością kąta odbicia. Zachowanie się w trójkącie foremnym, napozór wyjątkowe, w rzeczywistości ulega temu samemu prawu. Ponieważ kąty jego są mniejsze od 70°, odbicia muszą zachodzić w kierunku kątów, co tłumaczy zachowanie się zwierzęcia. Radzę czytelnikowi wziąć linijkę i kątomierz i dowieść, że nie jest gorszym matematykiem od pantofelka.

Rzecz jasna, że w ten sam sposób możemy zbudować drogę wymoczka w naczyńku każdego kształtu, jaki nam nasunie fantazja. Potem wytniemy takie naczyńko w warstwie parafiny i przekonamy się, że istotnie wymoczek podąża w niem wytkniętym przez nas szlakiem. Na fig. 34 widzimy dwa tego przykłady, wskazujące, jak dalece droga rzeczywista zgadza się z przewidzianą. Możemy oczywiście postąpić także odwrotnie: zadamy sobie jakąś drogę i na jej podstawie wyrysujemy kształt naczyńka, w którem droga ta musi zostać zakreślona. Np. zmusimy wymoczka, aby się podpisał! Astronom potrafi przewidzieć zaśmienia księżyca i bieg komety. A my umiemy przewidzieć zgóry drogę żywego wy-

moczka! Drogę zwierzęcia, którego ruchy wydawały się tak zawiłe i nieobliczalne! Jednak rządzi niemi prawo geometryczne.

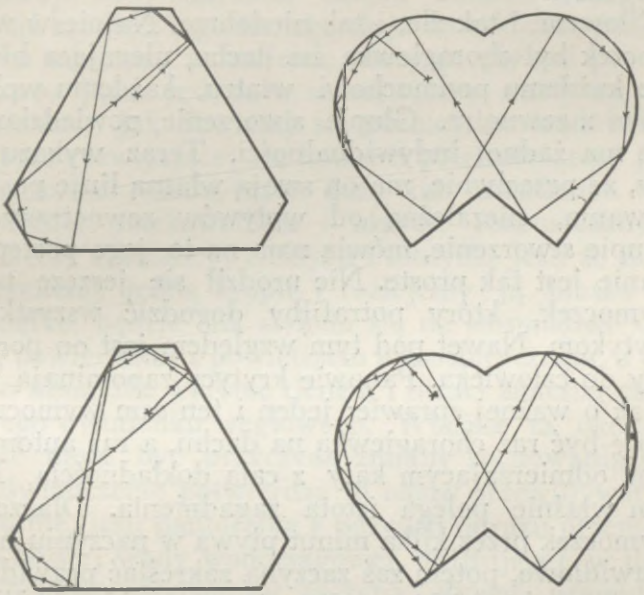


Fig. 34. Droga pantofelka przewidziana (u góry) i rzeczywista (u dołu)

Wszystko to bardzo pięknie, powiedzą nam, ale prawidłowość w ruchach waszego wymoczka jest nazbyt już prymitywna. Nie macie powodu chwalić się odkryciem prawa tak elementarnego. Wymoczek odbija się od ścianek pod tym samym kątem, co zależy oczywiście od mechanizmu rzęskowego, od stałej przewagi rzęsek jednej strony nad rzęskami drugiej. Gdzież tu mądrość, gdzie chcenie, gdzie

odczuwanie? Pantofelek jest bardzo prostym automatem, nastawionym na szablonowe, zawsze jednakowe ruchy. Słaby przytoczyliście dowód jego inteligencji.

Słowem, i tak źle, i tak niedobrze. Najpierw wymoczek był chorągiewką na dachu, ulegającą biernie każdemu podmuchowi wiatru, każdemu wpływowi z zewnątrz. Głupie stworzenie, powiedziano, nie ma żadnej indywidualności. Teraz wykazujemy, że przeciwnie, ma on swoją własną linję postępowania, niezależną od wpływów zewnętrznych. Głupie stworzenie, mówią nam na to, jego postępowanie jest tak proste. Nie urodził się jeszcze taki wymoczek, który potrafiłby dogodzić wszystkim krytykom. Nawet pod tym względem jest on podobny do człowieka. Panowie krytycy zapominają jednak o ważnej sprawie: jeden i ten sam wymoczek może być raz chorągiewką na dachu, a raz automatem, odmierzającym kąty z całą dokładnością. Na tem właśnie polega istota zagadnienia. Dlaczego wymoczek przez kilka minut pływa w naczyniu nieprawidłowo, potem zaś zaczyna zakreślać prawidłową drogę, której kierunek można przewidzieć? Wymoczek pozostaje wymoczkiem, a skoro zmienia się jego postępowanie, musi coś zmieniać się w kropli cieczy, w której pływa. We wszystkich naszych obserwacjach umieszczaliśmy pantofelki w pożywce sianowej, tej samej, w której przebywają one w naczyniu hodowlanem. Jeśli przyjrzymy się pantofelkom, pływającym w słoju z pożywką, co można uskutecznić zapomocą lupy ręcznej, stwierdzimy, że poruszają się one tak samo, jak w naczyńku do-

świadczalnem na początku obserwacji. Te same zwroty, linje krzywe, te same leniwe ruchy. Z tą tylko różnicą, że w słoju hodowlanym ruch ten zachowuje swój charakter całemi dniami. Jeśli zaś wziąć kroplę z tego samego słoja na szkiełko, już po kilku minutach pantofelek zaczyna pływać prawidłowo. Jasne jest, że w samej cieczy musi coś się zmieniać. Jak dowiemy się później, w środowisku dobrze rozwijającej się hodowli pierwotniaczej jest bardzo mało tlenu, zato dużo jest dwutlenku węglowego, siarkowodoru i innych rozpuszczonych w cieczy substancyj ciekłych i lotnych. Jeśli ze słoja weźmiemy jedną kroplę i rozlejemy ją płasko na szkiełku, będzie ona stykała się na stosunkowo dużej powierzchni z powietrzem atmosferycznem, a zatem nasiąknie wkrótce tlenem i utraci znaczną część swego dwutlenku węglowego. Właśnie ta okoliczność może być przyczyną zmiany zachowania się. Doświadczenie potwierdza to nasze przewidywanie. Istotnie, jeśli pantofelka z pożywki odrazu przenieść do czystej wody wodociągowej, obfitującej w tlen, wymoczek natychmiast zaczyna pływać prawidłowo, bez śladu kręcenia się i zawracania. Jeśli przez kroplę pożywki sianowej ze słoja przepuszczać przez parę chwil pęcherzyki powietrza z pipetki i potem dopiero wpuścić do niej wymoczka, znowuż ruch prawidłowy występuje odrazu, ponieważ przedmuchiwanie usunęło z kropli dwutlenek węgla i dostarczyło jej tlenu. Aby jeszcze bardziej się upewnić, zrobimy próbę odwrotną. W kropli czystej wody pantofelek zakreśla prawidłowy wielokąt.

Wpuszczamy mu kropelkę wody, którą przedtem nasyciliśmy dwutlenkiem węgla. Momentalnie pantofelek zwalnia ruch, zatrzymuje się, zawraca, cofa się, słowem wykonywa typowy ruch nieprawidłowy. Skoro po kilku minutach dwutlenek węgla ulotni się z kropli, pantofelek powraca do ruchu prawidłowego.

Spróbujmy zrozumieć naszego wymoczka. Jego postępowanie jest pełne głębokiego sensu. Wyobraźmy sobie pantofelka w jego środowisku naturalnem, w stawie lub sadzawce. Ma on do rozporządzenia olbrzymią w stosunku do niego masę wody, obfitującej w tlen i ubogiej w dwutlenek węgla. Jak widzieliśmy przed chwilą, w tych warunkach ruch jego będzie prawidłowy, z zachowaniem stałości kąta odbicia. Przypuśćmy dalej, że zwierzątko nasze zawędrowało w okolice stawu, gdzie gnije coś w wodzie, o co nietrudno. Tam gdzie jest gnicie, muszą być duże ilości bakteryj, tam zaś gdzie są bakterje, muszą zachodzić znaczne zmiany w środowisku. Bakterje bowiem pochłaniają tlen i wydalają do wody dwutlenek węgla wraz z różnemi substancjami rozpadowemi, a dzięki swej nadzwyczajnej liczebności czynią to bardzo intensywnie. Na te wpływy wymoczek nasz jest specjalnie wrażliwy, szczególnie gdy przebywał przez czas jakiś w czystej wodzie. Poczuje on już zdaleka obecność bakteryj i skręci ku nim. Przecież stanowią one jego jedyne pożywienie, musi więc potrafić je odszukać. Ale w otoczeniu bakteryj panują warunki, które wywołują ruch nieprawidło-

wy wymoczka: mało tu tlenu i dużo dwutlenku węgla. Pantofelek wpada w środowisko bakteryjne i tu odrazu zmienia charakter swego ruchu: zaczyna kołować, pływać wolno, cofać się na każdym kroku i t. d. Znaczenie tego jest jasne. Ruch prawidłowy, z zachowaniem stałej wielkości kąta odbicia, ma jedną właściwość: wyprowadza on wymoczka z każdej gęstwiny. Usuńmy w naszych naczyńkach doświadczalnych jeden bok, a wymoczek po niewielu odbiciach wypłynie z nich nazewnątrz. Pantofelek, który zabłąkał się gdzieś w gęstwinie roślin podwodnych, zupełnie tak samo odbijałby się pod stałym kątem od wszystkich napotkanych przedmiotów, aż wypłynąłby na wolność i pożeglował wprost przed siebie. Jest to słuszny sposób postępowania, skoro w gęstwinie niema dlań pokarmu, a zatem dużo jest tlenu, mało zaś dwutlenku węgla. Ale co innego, skoro wymoczek znalazł się wpobliżu bakteryj. Gdyby i teraz zachował swój ruch prawidłowy, po kilku odbiciach powędrowałby dalej, pozostawiając smakowite jedzenie poza sobą. Na taki nonsens pantofelek nigdy się nie zdobędzie. Zmienia też odrazu sposób postępowania. Ruchy jego stają się wolne i wymoczek kołuje na wąskiej przestrzeni, a w czasie tego pozornego nieróbstwa setki malutkich włosków, pokrywających wgłębienie peristomalne, pracuje intensywnie, aby napędzić do otworu ustnego możliwie dużo bakteryj. Jeśli bakteryj jest wiele, pantofelek postępuje jeszcze radykalniej: osiada nieruchomo na powierzchni jakie-

goś przedmiotu i może wtedy zużyć całą energję swoich rzęsek peristomalnych na sprowadzanie pożywienia. Właśnie takie siedzące pantofelki są zazwyczaj napełnione pokarmem niemal aż do pęknięcia. Gdy jednak w wodzie pojawiły się masy bakteryj, ze wszystkich stron śpieszą ku nim wymoczki różnych gatunków, czyniąc wśród nich prawdziwe spustoszenia. Niedługo potrwa, a bakterje zostaną zdziesiątkowane. Zmniejszenie się ich liczebności wpłynie odrazu na cechy środowiska, które stopniowo nasiąka tlenem i traci swój dwutlenek węglowy. Innemi słowy następują warunki, w których pantofelek wykonywa ruch prawidłowy. Wtedy odrywa się on od swojej bazy operacyjnej i po niewielu odbiciach wydostaje się z gęstwiny, aby powędrować przed siebie w poszukiwaniu nowego pokarmu.

Człowiek, idący ulicą, skręca na prawo dlatego, że mieszka w ulicy na prawo i idzie właśnie do domu. Jednak uczynił to także dlatego, że poznał róg ulicy, w której mieszka. Widok kamienicy narożnej, napisu na niej, szyldu sklepowego, znajomego słupa ogłoszeniowego dał mu sygnał, że przyszedł tam gdzie trzeba. Zmiana kierunku ruchu została spowodowana przez bodziec zewnętrzny. Prawdopodobnie każde działanie ludzkie posiada dwojakiego rodzaju powód. Jeden powód, to jakieś podrażnienie, bodziec zewnętrzny, wyzwalający dany sposób postępowania. Powód drugi, to przeżycie wewnętrzne, które w braku lepszej nazwy ochrzcimy imieniem *motywu* jego postępowania. Człowiek do czegoś

zdąża, ma jakiś cel przed sobą, w osiągnięciu zaś tego celu posługuje się bodźcami świata zewnętrznego.

A czyż wymoczek nie postępuje dokładnie według tego samego schematu? Motywem jego działania, gdy idzie o ruch, jest zaspokojenie głodu. Wobec niesłychanie szybkiej przemiany materji, pantofelek jest nigdy nienasyconym żarłokiem, który żeruje przez 24 godziny na dobę. Powodem zewnętrznym zaś zmiany sposobu pływania jest bodziec chemiczny, związany z obecnością w środowisku dwutlenku węgla, który jest dla niego sygnałem bliskości pokarmu. Ruch prawidłowy jest ruchem żerowania, poszukiwania pokarmu, i prostota rządzącego nim prawa dowodzi nie tyle prymitywności psychiki wymoczka, ile raczej systematyczności, z jaką wykonywa on swoją pracę. Ruchy robotnika fabrycznego także są proste i automatyczne, ponieważ jedynie prostota i automatyzm dają gwarancję oszczędności w ruchach. Pantofelek zna dobrze swój fach i potrafi uniknąć ruchów zbędnych. Ruch nieprawidłowy natomiast jest związany z procesem pochłaniania pokarmu, jest obszukiwaniem miejsca, w którem masowo zgromadziły się bakterje. Jego motywem jest nieoddalanie się od punktu, w którym pokarm jest tak obfity. Bodźcem zaś zewnętrznym, powodującym zmiany kierunku ruchu nieprawidłowego, jest być może nierównomierne stężenie dwutlenku węgla w środowisku. Gdy wymoczek czuje, że w kierunku, w którym płynie, stężenie

dwutlenku maleje, cofa się on lub zawraca i dzięki temu pozostaje wciąż wpobliżu źródła pokarmu.

Przypuszczenie, iż pantofelek może mieć jakieś motywy postępowania, wydaje się absurdalne. Kropelka protoplazmy ma czegoś chcieć, coś przewidywać! Przecież to człowiek ma monopol na dobro i zło, na mądrość i głupotę, on to ma wolną, niczem prócz przepisów policyjnych nieprzymuszoną wolę. Tak nas zawsze uczono.

Spróbujmy jednak rozważyć sprawę zupełnie objektywnie, „bez gniewu". Otóż zadam czytelnikowi zagadkę. Widzę niewielką zieloną plamkę, kształtu owalu, okoloną cieniutką białawą linją. Po uważnem przyjrzeniu się dostrzegam w jednym punkcie obwodu plamki jakiś ruch. Skupiła się tam masa niezmiernie drobnych czarnych punkcików. Punkciki schodzą się i rozchodzą, stykają się z sobą i znowu się rozdzielają. Czasem jakiś jeden punkcik odrywa się od gromady na znaczniejszą odległość, potem powraca. Tak trwa przez pół godziny. Nagle ruch się wzmaga. Coś się tu kotłuje, wiruje, tłoczy, znaczna część punkcików odrywa się od wspólnej masy i ustawia się w długi sznureczek, gdy główne skupienie roi się, jak podrażnione mrowisko. Powoli jednak wszystko się uspokaja, sznureczek stopniowo wsiąka w ogólną masę i wszystko powraca do stanu pierwotnego.

Co to może być? Trudno odnaleźć w dziwnych ruchach punkcików jakąś myśl przewodnią. Bez żadnej widzialnej przyczyny następują w masie ja-

kieś katastrofalne zmiany. Co znaczą te sznureczki, wsiąkające w główne skupienie? Czy to kurz, miotany wiatrem, bakterje, wymoczki, mrówki?

Nic z tego wszystkiego. Poprostu opisałem, jak wygląda z wielkiej wysokości plac wyścigowy podczas wyścigów. Po gonitwie gracze biegną do totalizatora, gdzie ustawiają się szeregiem, tworząc właśnie owe sznureczki. A teraz wyobraźmy sobie mieszkańca Saturna, który przez silny teleskop ogląda powierzchnię ziemi. Wzrok jego padł właśnie na plac wyścigowy. Czy obserwując bezsensowne ruchy czarnych punkcików domyśli się on, że ma do czynienia z istotą o nieśmiertelnej duszy, która stworzyła naukę, sztukę, technikę, religję?

Mieliśmy być objektywni i musimy przyznać, że właśnie w podobnem położeniu jesteśmy w stosunku do pantofelków. Jesteśmy wobec nich mieszkańcami Saturna, którzy oglądają pantofelki przez mikroskop i łamią sobie głowę nad znaczeniem ich ruchów. Skoro ruchy te nie różnią się zasadniczo od ruchu, panującego na ulicach naszych miast, i skoro wierzymy mocno, że każdy przechodzień powoduje się w swoich ruchach jakąś myślą, dlaczegoż pantofelkom mamy odmawiać wszelkiej myśli? Przecież mieliśmy być objektywni. Zjawiska są te same i przyczyny ich muszą być podobne.

Trudną jest rzeczą przekonać krytyków. Przypisywanie pantofelkowi jakiejś myśli jest tak dalece niemożliwe, powiedziano, że jakkolwiek pięknie brzmią wasze argumenty i adwokackie kruczki, musimy poszukać, czy zachowanie się zwierzęcia nie

da się wytłumaczyć w inny sposób, z pominięciem duszy i motywów postępowania. Owszem, istnieje taka możliwość. W kółkach z dymu tytoniowego także zachodzi skomplikowany i prawidłowy ruch, a przecież jest to tylko proste zjawisko fizyczne. Każda rzęska pantofelka jest niteczką półpłynnej substancji, względnie takie właściwości posiada osłonka rzęski. Substancja ta musi podlegać prawu napięcia powierzchniowego. W zależności od stanu środowiska, zwłaszcza od mniejszej lub większej koncentracji soli w wodzie, zawartości w niej kwasów i zasad i t. p., napięcie powierzchniowe rzęski zmienia się nierównomiernie i skutkiem tego zachodzą jej zgięcia i wyprostowania. Ruch pantofelka jest funkcją zmian środowiska. Bardzo to uczona teorja.

Jeśli jednak uczynimy próbę analizy ruchów pantofelka na zasadzie niezależnych od siebie ruchów poszczególnych rzęsek, nie wybrniemy z największych trudności. Przedewszystkiem ruch rzęsek nie jest indywidualny, lecz skoordynowany. Rzęski uginają się jedna za drugą w określonym porządku, wykonywują ruch falisty. Skoro każda rzęska waha się wskutek działania na nią przyczyn zewnętrznych, musielibyśmy przypuścić, że przypadkowe i zmienne w każdej chwili oddziaływania środowiska są także ściśle skoordynowane, co jest oczywistem niepodobieństwem. Dlaczego pantofelek cofa się, gdy zetknie się z przeszkodą? Zetknięcie podziałało tylko na rzęski przodu ciała, a wszystkie rzęski odwróciły kierunek swego ruchu. Dlaczego zetknię-

cie się przodu ciała z przeszkodą miało wpłynąć na zmianę napięcia powierzchniowego wszystkich rzęsek? Być może idzie o wstrząśnienie, które oddziałało na całego pantofelka i na wszystkie jego rzęski? Jednak gdy po zderzeniu pantofelek zmienia kierunek ruchu, oznacza to, że rzęski jednej połowy ciała pracują silniej, niż rzęski drugiej. Dlaczego, skoro wstrząśnięte zostało całe ciało? Jak wytłumaczyć ruch prawidłowy? Ściśle skoordynowany, automatycznie działający mechanizm absolutnie nie da się pogodzić z decydującą rolą zmiennych czynników środowiskowych. Nie może być inaczej, tylko ruch rzęsek jest kierowany od wewnątrz. Mogą istnieć zmiany napięcia powierzchniowego substancji rzęskowej i mogą one uruchamiać rzęski, ale staje się to jako skutek nakazu, płynącego z całości zwierzęcia, nie dzięki lokalnym wpływom zewnętrznym. Wymoczek jest całkowitym organizmem, który reaguje jako jednolita całość na bodźce otaczającego świata. Jego narządy ruchu są od siebie współzależne zarówno anatomicznie, jak czynnościowo i sprawa ta jest tak jasna, że nie warto dłużej nad nią dyskutować.

Nie mamy żadnego rozsądnego powodu tak znowuż bardzo wywyższać siebie kosztem pantofelków. Mają one inne interesy życiowe, niż my, posługują się innemi środkami w osiąganiu swoich celów, ale są równouprawnionymi obywatelami globu ziemskiego, a zasadnicze prawa, rządzące ich zachowaniem się, są te same, które obowiązują nieszczęsny rodzaj ludzki. Cześć wam, zapoznane zwierzątka!

ROZDZIAŁ IV

TROPIZMY

PRZECIEŻ nauczyłem się czegoś o pantofelku, myśli sobie czytelnik. Wiem, jak i dlaczego pływa, znam różne rodzaje jego ruchu, potrafię nawet przewidywać kierunek jego drogi. Z pantofelkiem dam już sobie radę.

Muszę, niestety, rozwiać to złudzenie. Świat duchowy pantofelka byłby bardzo ubogi, gdyby opisane zjawiska wyczerpywały wszystkie możliwości naszego zwierzątka. W rzeczywistości świat ten jest bogaty i urozmaicony. Ruchy, które poznaliśmy, były związane z jednem tylko zainteresowaniem życiowem: z jedzeniem. Ważna to rzecz i przyjemna, nie przeczę. Jednak chcąc żyć na świecie, trzeba umieć coś więcej: w każdej dziedzinie i w każdej sferze trzeba potrafić dobrać sobie takie warunki, które umożliwiają i uprzyjemniają życie. Nikt tych warunków pantofelkowi nie dostarczy, nie może on ich także stworzyć. Może je jednak wyszukać. Wiele jest na świecie zdradliwych zasadzek: tu za mało jest tlenu, tam za wysoka lub za niska temperatura, jeszcze gdzie indziej za dużo jest w wodzie soli lub kwasów. Pantofelek przez całe swoje życie wciąż musi lawirować pomiędzy Scyllą i Charybdą, coraz

to natrafia na warunki, zagrażające jego istnieniu prawdziwem niebezpieczeństwem. Potrafi jednak zwietrzyć je zdaleka i ominąć, zdoła bez błędu dotrzeć tam, gdzie czekają rozkosze cielesne i duchowe. Oho! Nie jest on wcale bezbronny w walce z życiem.

Każdy wpływ zewnętrzny gdzieś ma swoje źródło, jest jakoś zlokalizowany, względnie, działanie jego rozchodzi się w pewnym kierunku. Wpływy różnego rodzaju wywołują ruch wymoczka, skierowany bądź ku źródłu wpływu, bądź w kierunku przeciwnym. Taki kierunkowy ruch zwierzęcia, zachodzący pod wpływem zlokalizowanej lub kierunkowej podniety zewnętrznej, nazywamy *tropizmem* *. Zależnie od rodzaju podniety, odróżniamy kilka kategoryj tropizmów, np. termotropizm, czyli ruch pod wpływem podniet cieplnych, chemotropizm — ruch pod wpływem bodźców chemicznych i t. d. Każdy tropizm może występować w dwóch postaciach: jako dodatni i ujemny. Tropizmem dodatnim nazwiemy ruch ku źródłu podniety, ujemnym — ruch w kierunku przeciwnym.

Jeden z najprostszych przykładów takich ruchów, to *termotropizm*, który wprowadzi nas odrazu w istotę zagadnienia. Weźmy cienką rurkę szklaną, np. 4 mm średnicy wewnętrznej i 12 cm długości, otwartą na obu końcach. Jeden koniec zamkniemy korkiem, przez drugi zaś nalejemy zapomocą pipety pożywki sianowej z pantofelkami. Rurka musi

* Wielu autorów używa w tym przypadku terminu „taksja", mówiąc o chemotaksji, termotaksji i t. d.

być napełniona całkowicie. Jeśli teraz położyć rurkę poziomo, ciecz z niej nie wyleje się, bowiem wobec małych wymiarów wylotu rurki nie pozwoli na to napięcie wolnej powierzchni cieczy.

Zapaloną zapałką ogrzejemy bardzo ostrożnie środek rurki. Natychmiast wymoczki z obu jej końców skierują się ku środkowi i utworzą tam gęste skupienie. W skupieniu zauważymy żywy ruch pan-

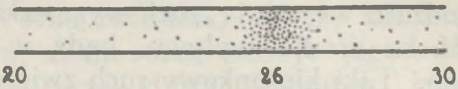


Fig. 35. Środkowa część rurki z pantofelkami. Większość skupia się w okolicy temperatury 26°.

tofelków. Będzie on dwojakiego rodzaju. Najpierw pod wpływem ogrzania jednego tylko punktu rurki, powstaną w cieczy silne prądy pionowe, które będą unosiły wymoczki. Po drugie, dostrzeżemy szybki ruch własny pantofelków, skierowany najczęściej ku ogrzanemu środkowi rurki. Mówiąc nawiasem, ten ruch bierny odróżnimy od czynnego, indywidualnego, na pierwszy rzut oka. Jeśli trzymaliśmy zapałkę odrobinę za długo, stosunki zmienią się. Skupienie środkowe rozdzieli się na dwa, które zaczną powoli odsuwać się od środka rurki ku obu jej końcom.

Oto mamy typowe zjawisko. Pod wpływem bodźca zewnętrznego, w naszym przypadku ogrzania, wymoczki skierowują się ku jego źródłu, czyli wykazują tropizm dodatni. Zależnie od siły bodźca, czyli od temperatury cieczy, zmienia się znak tro-

pizmu: tropizm dodatni przechodzi w ujemny i pantofelki odsuwają się od ogrzanego środka rurki. Jak wskazują pomiary, pantofelki skupiają się w okolicach rurki, posiadających temperaturę około 26°. Gdy temperatura środka rurki przekroczy tę wielkość, wymoczki odsuwają się na taką odległość, aby nadal pozostać w temperaturze 26°.

Aby zrozumieć istotę zjawiska, wyobraźmy sobie rurkę poziomą, której jeden koniec został ogrzany

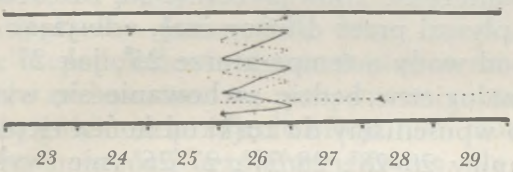


Fig. 36. Droga dwóch pantofelków w środkowej części rurki. Oba mijają szereg temperatur powyżej (linja przerywana) lub poniżej (linja ciągła) optimum, nie wykazując reakcji, ale na obu granicach strefy 26° cofają się.

do 40°, drugi zaś ma temperaturę pokojową, powiedzmy 18°. Pomiędzy temi dwiema skrajnemi temperaturami będziemy mieli oczywiście wszelkie możliwe przejścia. Niech na rurce zrobione są podziałki w takich odstępach, że pomiędzy temperaturą wody w dwóch sąsiednich odcinkach rurki jest zawsze różnica jednego stopnia (fig. 36). Wpuścimy jednego wymoczka do rurki od jej końca zimniejszego. Wymoczek popłynie w górę, uderzy o górną ściankę rurki, odbije się od niej ukośnie, popłynie w dół, odbije się od dna i t. d. Zygzakując, będzie on zbliżał się stopniowo ku końcowi ciepłe-

mu. Na granicy dwóch odcinków o temperaturach np. 23 i 24° nie wykaże on żadnej reakcji, zachowa całkowicie dotychczasowy charakter ruchu. Podobnież nie będzie reakcji na granicy 24/25° i 25/26°. Ale na granicy 26/27° pantofelek cofnie się gwałtownie, jakgdyby uderzył o jakąś przeszkodę, zawróci i popłynie zpowrotem. Dosięga granicy 26/25°, którą minął już przedtem i na której nie zdradził się z żadnem wrażeniem. Tym razem jednak pantofelek znowuż cofnie się i zawróci. Tak będzie pływał przez dłuższy czas, odbijając się zarówno od wody o temperaturze 25°, jak 27°. Dokładnie analogiczne będzie zachowanie się wymoczka, którego wpuściliśmy do rurki od końca cieplejszego. Na granicy 29/28°, 28/27°, 27/26° nie wykaże on ani śladu reakcji, ale na granicy 26/25° cofnie się i odtąd będzie odbijał się jednakowo od 25° i 27°. Okolica rurki o temperaturze 26° staje się pułapką, do której, jak do piekła, każdy może wejść, ale której nikomu nie wolno opuścić. W krótkim czasie wszystkie niemal wymoczki, pływające w rurce, zbiorą się tu, tworząc skupienie termotropiczne.

Zatem jeden i ten sam punkt rurki, czyli jedna i ta sama temperatura wody, może wywołać zupełnie różną reakcję, zależnie od tego, czy pantofelek zbliża się doń od strony zimnej, czy strony ciepłej. Raz nie reaguje on zupełnie, a raz cofa się gwałtownie. Taka temperatura, powodująca masowe skupianie się wymoczków, nosi nazwę *optymalnej*. Dokładność, z jaką pantofelek odróżnia ją od innych, nie jest zbyt wielka, nie trzeba przesadzać ta-

lentów wymoczka. Jest on mniej czuły od taniego nawet termometru rtęciowego i błąd pół stopnia lub więcej nie należy u niego do rzadkości.

Skupienie nie jest absolutne, t. zn. niekoniecznie wszystkie osobniki, pływające w rurce, zatrzymają się w okolicach temperatury optymalnej. Pojedyńcze wymoczki coraz to będą odrywały się od skupienia i wędrowały gdzie indziej. Właśnie największą trudność w badaniach nad pantofelkami stanowi okoliczność, że nigdy prawie nie zachowują się one ściśle jednakowo. Jeden tak, drugi inaczej, trzeci zupełnie niepodobnie i nieraz dokładne scharakteryzowanie zachowania się jest wprost niemożliwe. Tak samo goście na przyjęciu oficjalnem rzucają się społem na smaczne i bezpłatne jedzenie, ale zawsze znajdą się wśród nich osoby rozważne, skromne lub cierpiące na chorobę żołądkową, które zachowają się z rezerwą. Reakcję wykonywa tylko większość osobników.

Temperatura optymalna bardzo zależy od tego, w jakiej temperaturze wymoczek przebywał przedtem. Jeśli trzymaliśmy pantofelki przez dłuższy czas w wodzie zimnej, np. około 10°, ich optimum obniża się do 23—24°, jeśli wymoczki przebywały w 25°, ich optimum może sięgać nawet 32°.

Wytłumaczenie tych zjawisk jest niesłychanie trudne. Faktem jest, że tylko optimum wywiera na pantofelki wpływ przyciągający. Dajmy im do wyboru wszystkie możliwe temperatury od 10 do 20°, a w żadnej z nich nie zauważymy jakiejkolwiek specjalnej reakcji. Wymoczki będą pływały od je-

dnego końca rurki do drugiego, nie zatrzymując się nigdzie. Tak samo pantofelek pozostaje nieczuły na kolekcję temperatur od 30 do 38°. Ale niech wśród tego znajdzie się niewielka wysepka o temperaturze 26°, a wymoczki masowo skupią się w niej i będą broniły się przed próbami zwabienia ich do temperatury wyższej lub niższej, choć nie wiemy, dlaczego właśnie ta temperatura działa tak atrakcyjnie. Zależność zachowania się wymoczka od temperatury poprzedniej, czyli od jego „przeszłości termicznej" jest także trudno zrozumiała. Jeśli hodujemy pantofelki w jakiejś temperaturze, mogą powstawać w samej protoplazmie pewne zmiany, wpływające następnie na zachowanie się. Ale gdy pantofelek w jednym i tym samym punkcie rurki raz cofa się, a raz nie reaguje wcale, jakkolwiek oba te razy są odległe od siebie zaledwie o parę sekund, sprawa zaczyna wyglądać podejrzanie.

Gdybym ja miał badać te sprawy, wykonałbym przedewszystkiem doświadczenia następujące. Stwierdziłbym, jak długo dana temperatura musi działać na wymoczka, aby jego optimum uległo wyraźnemu przesunięciu. Znalazłbym prawdopodobnie, że trzeba na to dłuższego czasu. Następnie zbadałbym, jaka temperatura jest najdogodniejsza dla różnorodnych czynności życiowych pantofelka. Gdybym znalazł, że temperatura ta jest zbliżona do 26°, zacząłbym coś podejrzewać. Wtedy zaś wykonałbym jeszcze jedno doświadczenie, jakiego z pewnością nikt jeszcze nie robił od początku świata. Wziąłbym zamknięty korytarz, długi na 100 metrów,

wpuściłbym tam 50 ludzi płci obojga i kazałbym im spacerować. Gdy już potworzyły się pary i zabawa jest w całej pełni, wsadziłbym jeden koniec korytarza do pieca elektrycznego o temperaturze ponad 3000°, koniec drugi zaś umieściłbym w ciekłym helu, w temperaturze — 269°. Co zajdzie teraz? Nietrudno to przewidzieć. Na końcu gorącym część ludzi spali się, część upiecze się, a większość zdąży uciec do zimniejszych okolic. Na końcu zimnym znowuż niektórzy skamienieją, inni poprostu zamarzną, a reszta umknie do klimatu bardziej umiarkowanego. Po pewnym czasie znalazłbym, że większość ludzi skupiła się w okolicy korytarza o temperaturze około 18°. Czy tłumaczylibyśmy istnienie tak wyraźnego optimum temperatury działaniem ciepła bezpośrednio na narządy ruchowe człowieka? Chyba nie, powiedzielibyśmy raczej poprostu, iż temperatura 18° jest dla nas najprzyjemniejsza, że w niższej jest nam za zimno, w wyższej zaś za gorąco. Ubierzmy naszych ludzi w palta, a zbiorą się oni w okolicy 10—12°. Włóżmy im tylko kostjumy kąpielowe, a najchętniej będą przebywali w temperaturze 25—27°. Gdyby część ludzi trzymać przez parę godzin w temperaturze 22°, część zaś w 15° i potem dopiero wpuścić ich do naszego korytarza, ci pierwsi zebraliby się gdzieś około 20°, ci drudzy — raczej około 18°. Optimum ulegnie pewnemu przesunięciu.

Przepraszam, ale czy my właściwie opisujemy tu zachowanie się ludzi, czy pantofelków? To przecież wszystko jedno, nie idzie o objekt, idzie o zjawisko.

W przypadku człowieka jest ono dla nas „zrozumiałe". Wiemy, że człowiek jest organizmem o stałej temperaturze ciała, że produkuje on ciepło i broni się przeciwko zmianom temperatury wewnętrznej zapomocą subtelnego aparatu termoregulacyjnego, któremu dopomaga mieszkaniem, piecami, ubraniem lub brakiem ubrania, zależnie od okoliczności. Jego temperatura wewnętrzna, usilnie podtrzymywana, wynosi około 37°. Z punktu widzenia pracy aparatu termoregulacyjnego, najdogodniej byłoby człowiekowi przebywać w temperaturze 37°, bowiem wtedy organizm jego nie potrzebowałby dbać o regulację cieplną, a jak wiadomo ideałem jest zawsze rozkoszne *dolce far niente*. W rzeczywistości temperaturę tę odczuwamy jako przykry i uciążliwy upał, czujemy się zaś najlepiej w temperaturze niższej, w której ciało nasze traci znaczne ilości ciepła. Dlaczego taka niezgodność, nie wiemy. Wiemy zato na pewno, że człowiek wyszukuje sobie temperaturę optymalną nie ze względu na pożytek dla jego organizmu, lecz dlatego, że jest ona dla niego najprzyjemniejsza. Podobnież jemy nie poto aby dostarczyć naszemu ciału tylu a tylu kaloryj, lecz jemy dlatego, że jesteśmy głodni lub że nam smakuje. Dajmy człowiekowi najpiękniejsze kalorje, posypane chininą, a odwróci się od nich, choć miałby z nich podwójny pożytek. Może i z pantofelkiem jest tak samo? Istnieje możliwość, że temperatura około 26° jest najkorzystniejsza dla jego procesów życiowych. Pantofelek wyszukuje ją jednak nie ze względu na przewidywany pożytek, lecz poprostu

dlatego, że mu to sprawia przyjemność. Skoro w przypadku człowieka wyszukiwanie optymalnej temperatury uważamy za zrozumiałe, choć przyczyny jego postępowania nie są wcale jasne, może słuszniej będzie i w przypadku pantofelka dać spokój uczonym spekulacjom na temat: „odwracalnej zmiany koloidów protoplazmy w związku z modyfikacjami lokalnego napięcia powierzchniowego ciekłych składników błony rzęskowej", powiedzieć zaś poprostu, że pantofelek dąży do temperatury, w której czuje się najlepiej.

Czy ten pogląd na termotropizm jest słuszny? Nie wiem. Ma w każdym razie tę zaletę, że słuszność jego można badać doświadczalnie, a ponadto zgadza się on doskonale z tem, co wiemy o innych tropizmach.

Do najbardziej opracowanych, ale też i najbardziej zagadkowych tropizmów należy *chemotropizm*, czyli ruch kierunkowy pod wpływem podniet natury chemicznej. Jest to piękne zjawisko, które z łatwością i w każdej chwili można obserwować. Dużą kroplę wody z pantofelkami umieścimy na szkiełku przedmiotowem, położymy po obu bokach kropli dwie bardzo cienkie rureczki szklane, takie, jakie otrzymaliśmy po ułamaniu zbyt długich końców pipetek, i przykryjemy wszystko szkiełkiem pokrywkowem. Pomiędzy obydwoma szkiełkami znajdzie się warstwa wody, w której pantofelki mogą swobodnie pływać. Zapomocą pipety o włoskowatym końcu, który wchodzi łatwo pomiędzy oba szkiełka, wpuścimy niewielką kroplę kwasu octowe-

go o stężeniu około 1/50%. Już po paru sekundach wystąpi wyraźne zjawisko tropizmu: wymoczki zaczną gromadnie skupiać się we wpuszczonej kropli kwasu. Zachowanie się zwierzątek nie będzie dla

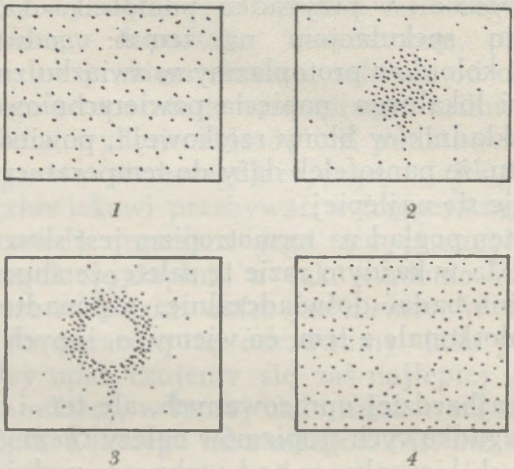


Fig. 37. Zjawisko chemotropizmu. 1 — wymoczki rozproszone; 2 — po wpuszczeniu kropli słabego kwasu; 3 — kropla kwasu 0.1%; 4 — kropla słabego amonjaku.

nas nowością. Wymoczek wpływa do kropli kwasu, nie wykazując żadnej reakcji, spokojnie przepływa ją wpoprzek, ale na jej przeciwległym brzegu, gdzie kwas styka się z wodą, cofnie się raptownie i zawróci ku środkowi kropli (fig. 38). Odtąd ta sama reakcja powtarza się po każdem zetknięciu się pantofelka z brzegiem wpuszczonej kropli i pantofelek okazuje się w potrzasku, z którego nie może wyjść. Po pewnym czasie większość wymoczków znajdzie się

w kropli kwasowej. Jeśli użyjemy kwasu słabszego, zwierzątka będą przepływały przez kroplę, nie zwracając na nią żadnej uwagi. Zupełnie tak samo nie reagowały na serję temperatur, niższych od optymalnej. Natomiast w przypadku kwasu mocniejszego reakcja się odwraca: kwas zaczyna działać odpychająco, czyli wywołuje chemotropizm ujemny. Jego przebieg jest znowuż dokładnie ten sam, co w przypadku termotropizmu. Po silniejszem

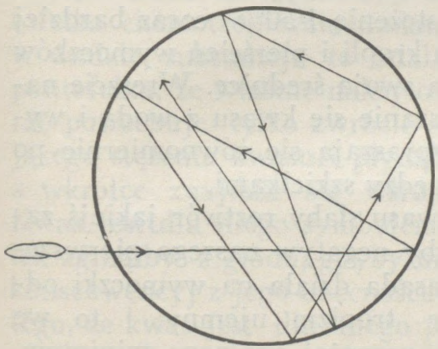


Fig. 38. Zachowanie się wymoczka, wpływającego do kropli słabego kwasu (Jennings, zmienione)

ogrzaniu środka rurki, wymoczki odsuwają się odeń, podążając za temperaturą 26°. Podobnie z kwasem. Kropla silnego kwasu zaczyna się rozpływać, stopniowo mieszając się na swoim obwodzie z wodą i coraz to zwiększając swoją średnicę. Im dalej od środka kropli, tem słabsze jest stężenie kwasu i w pewnej odległości spada ono do zera. Skutkiem tego środek wpuszczonej kropli kwasowej będzie jakby otoczony szeregiem współśrodkowych pierścieni o wszelkich stężeniach kwasu, od stężenia po-

czątkowego aż do zera. Wśród nich musi oczywiście znaleźć się wąski piercień, zawierający kwas octowy o stężeniu 1/50%. Kwas słabszy, t. zn. leżący nazewnątrz od pierścienia 1/50%, jest dla pantofelków obojętny, o ile wymoczek zbliża się doń od strony zewnętrznej, wywołuje natomiast cofnięcie się, skoro wymoczek zderza się z nim od wewnątrz. Kwas mocniejszy od 1/50% wywołuje tropizm ujemny. Wobec tego wymoczki utworzą dokoła kropli ruchomy pierścień, z którego żaden nie wyjdzie. W miarę rozpływania się kwasu, stężenie 1/50% coraz bardziej odsuwa się od środka kropli i pierścień wymoczków odpowiednio zwiększa swoją średnicę. Wreszcie następuje zupełne zmieszanie się kwasu z wodą i wymoczki ponownie rozpraszają się równomiernie po całej przestrzeni pomiędzy szkiełkami.

Stosując zamiast kwasu słaby roztwór jakiejś zasady, otrzymamy jakby negatyw naszego pierwszego doświadczenia: zasada działa na wymoczki odpychająco, wywołuje tropizm ujemny, i to we wszystkich stężeniach powyżej pewnego minimum. Dlatego też wymoczki będą pływały wszędzie pomiędzy szkiełkami, ale wpuszczona kropla pozostanie pusta.

Zjawiska chemotropizmu odpowiadają więc dokładnie temu, co już poznaliśmy w przypadku termotropizmu. W obu razach ze wszelkich możliwych stopni natężenia bodźca wymoczki wybierają jakiś jeden określony i reagują nań tropizmem dodatnim. Jeśli jednak temperatura 26° jest z różnych względów dogodna dla pantofelka, jaki pożytek czerpie

on z kwasu? Wiemy już o tem cośkolwiek. W hodowlach pantofelków, karmionych pożywką sianową, zwykle panuje słabo zasadowa reakcja. Oczywiście niepodobna uważać pożywki sianowej za normalne środowisko życiowe. W warunkach naturalnych pantofelek najczęściej przebywa w środowisku obojętnem. Pokarm swój znajdzie wymoczek tam, gdzie są bakterje, bakterje zaś będą na pewno tam, gdzie odbywa się jakieś gnicie, związane z powstawaniem kwasów i innych substancyj, działających na pantofelka chemotropicznie dodatnio. Rozpływając się w wodzie, substancje te zdala już zawiadamiają pantofelka, że właśnie nakryto dlań do stołu. Zwierzę potrzebuje tylko zwrócić się w stronę wzrastającego stężenia kwasu i płynąć prosto przed siebie, a wkrótce znajdzie się wśród licznych bakteryj. Kwas jest dla niego symbolem pokarmu i pantofelek zginąłby z głodu, gdyby nie potrafił wyciągnąć konsekwencyj z jego obecności. Wyciąga je zaś dlatego, że kwas jest dla niego pociągający. Przecież nie korzysta on z niego bezpośrednio, kwas oddziaływa raczej ujemnie na wymoczka, powodując niekorzystne zmiany gęstości jego protoplazmy. Wiąże się jednak z przyjemną czynnością jedzenia i dlatego sam stał się przyjemny.

Podobieństwo termotropizmu i chemotropizmu sięga jeszcze głębiej. Wrażliwość zwierzątka na kwas bardzo zależy od tego, w jakiem środowisku pantofelek przebywał przedtem. Najwyższą wrażliwość obserwujemy po długotrwałym pobycie w czystej wodzie, w praktyce, po dłuższem pływaniu ru-

chem prawidłowym. Ruch ten jest wszak poszukiwaniem pokarmu, nic więc dziwnego, że właśnie wtedy pantofelek jest najwrażliwszy. Natomiast pobyt w środowisku słabo kwaśnem przytępia tę wrażliwość, co jest także zrozumiałe. Skoro bowiem zwierzę już znajduje się w środowisku bakteryjnem, jego wrażliwość na kwas ma dla niego mniejsze znaczenie.

Czeka nas jednak niemiły zarzut. Prócz kwasów, szereg innych substancyj wywołuje chemotropizm dodatni i to takich, z któremi pantofelek na pewno nigdy w życiu się nie stykał i których pożyteczności nie mógł ocenić. Są pomiędzy niemi substancje szkodliwe, trujące, a jednak zwabiające pantofelki ku pewnej śmierci. Jakkolwiek pantofelek potrafi wybrać sobie nieszkodliwe stężenie kwasu, często zapędza się za daleko i kropla silnego kwasu zwykle otacza się pierścieniem trupów. Cały chemotropizm oparty jest na ślepym mechanizmie rzęsek i na niczem więcej. Nie opowiadajcie nam o jego pożytku!

Powoli. Argumenty te musimy dokładnie rozważyć. Istotnie, określone stężenia wielu związków chemicznych wywołują chemotropizm dodatni pantofelka. W tych przypadkach stężenia silniejsze od optymalnych wywołują powstanie znanego nam pierścienia dokoła kropli. Do takich związków należą np. różne sole żelazowe, chromowe, glinowe, arsenowe i t. d. O działaniu tropicznem soli decyduje, jak się zdaje, jej metal, nie jon kwasowy. Można to stwierdzić, dobierając różnych kombina-

cyj metali i kwasów. Jeśli np. chlorek sodu, siarczan sodu i azotan sodu są mniej więcej tropicznie obojętne, gdy te same związki glinu wszystkie wywołują chemotropizm dodatni, działanie musimy przypisać metalowi. Ważne znaczenie zdaje się mieć następnie wartościowość metalu. Obszerne badania w tym kierunku z pewnością przyczyniłyby się do wyjaśnienia chemicznej strony reakcji chemotropicznej, pozwoliłyby ustalić w niej pewne prawidłowości.

Słuszne jest najzupełniej, że chemotropizm dodatni lub ujemny może zostać wywołany przez związki, których pantofelek z pewnością nie zna.

Słuszne jest wreszcie, iż w wielu przypadkach reakcja chemotropiczna prowadzi pantofelka do zguby. Pantofelki nieraz zostają przyciągane przez ciała dla nich śmiertelne.

Czy więc pantofelek jest ślepym mechanizmem? Nie żądajmy od niego więcej, niż żądamy od siebie samych. Apetyt człowieka może zostać pobudzony nietylko przez substancje pożywne, ale i przez zgoła obojętne lub szkodliwe, np. przez „krople na apetyt", które nie zawierają żadnych składników pożywnych, drażniąc tylko ścianki przewodu pokarmowego. Gdybyśmy systematycznie wypróbowali miljony możliwych do otrzymania związków organicznych w ich działaniu na ustrój człowieka, z wszelką pewnością znaleźlibyśmy wśród nich takie, które pobudzają apetyt, jakkolwiek z ciałami temi człowiek styka się jedynie, gdy jako student przygotowuje się do egzaminu z chemji organicznej,

a w tydzień później ciała odnośne ulatniają się z jego pamięci bezpowrotnie. Jakież stąd wnioski? Że badania chemiczne nie wykryją w tropizmach nic zgoła, prócz ich strony chemicznej, jest zupełnie naturalne. Fizyk wykryje w zjawiskach życiowych przemiany fizyczne. Niechże więc biologowi wolno będzie zwrócić uwagę na ich stronę biologiczną. Powiedzieć, że wymoczek płynie do bakteryj, bo go przyciąga wydzielany przez nie dwutlenek węgla, to to samo, co powiedzieć, że człowiek zgłodniały wyciąga rękę po chleb, gdyż przyciąga go brunatna barwa jego skórki. U człowieka barwa skórki chlebowej jest skojarzona ze smakiem chleba, z uczuciem nasycenia, jej widok wywołuje określone przeżycia psychiczne i dopiero te stają się źródłem ruchu jego ręki. Więc może i wymoczek myśli sobie niekiedy: „Jaki smaczny kwas! Na pewno znajdę tam parę miljoników tłustych bakteryj". A może myśli to samo, gdy mu się podaje dwuchromian potasu? Może zdołaliśmy tylko go oszukać, wzbudzić w nim nadzieje, które się nie spełnią? Pantofelek posiada takie właściwości, jakie mu są potrzebne w jego zwykłych warunkach życiowych i trudno żądać, aby przewidział, że dwuchromian potasu, z którym nigdy nie miał do czynienia, przyprawi go kiedyś o zgubę. Nie zdawał on egzaminu z chemji, nie pracował w laboratorjum i nie nauczył się odróżniać arszeniku od ołowiu. Jednak substancje, które grają rzeczywistą rolę w jego życiu, odróżnia z całą subtelnością. W warunkach przyrodzonych pantofelka jego tropizm dodatni względem pewnych

stężeń kwasów jest nietylko celowy, ale umożliwia istnienie zwierzęcia.

Ważną rolę w życiu pantofelka zdają się odgrywać zjawiska *tigmotropizmu*, które niezupełnie słusznie zresztą zaliczono do kategorji tropizmów. Nie idzie tu bowiem o ruch, przynajmniej w przypadku tigmotropizmu dodatniego, lecz o przerwę w ru-

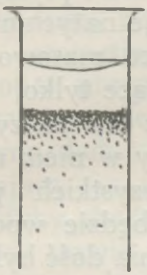


Fig. 39. Górna część próbówki z pantofelkami. W odległości kilku mm od powierzchni cieczy utworzył się pierścień pantofelków, przytwierdzonych do szkła.



Fig. 40. Pantofelek osiadły na przedmiocie podwodnym (Jennings)

chach, wywołaną zetknięciem się zwierzęcia z jakąś szorstką powierzchnią. Zjawisko tigmotropizmu łatwo jest obserwować zwłaszcza w gęstych, dobrze odżywianych hodowlach. W tych warunkach, na ściance naczynia, w odległości kilku milimetrów od wolnej powierzchni cieczy, osiada pierścień pantofelków, przytwierdzonych do szkła. Siedzą one nie-

raz tak gęsto jeden obok drugiego, że cała powierzchnia szkła na szerokości paru milimetrów, gdyż taka jest zwykle rozciągłość pierścienia, jest niemi szczelnie pokryta. W pierścieniu tym zachodzi ciągły ruch. Coraz to jakiś wymoczek posuwa się po powierzchni szkła o jedną lub dwie długości ciała i znowu osiada nieruchomo. Czasem poszczególne osobniki odrywają się od szkła i płyną, a opróżnione przez nie miejsce zostaje natychmiast zajęte przez inne wymoczki, pływające masowo w okolicach pierścienia i jakby czekające tylko, aż uwolni się jakieś miejsce. Spoglądając na naczynie hodowlane pod światło, dostrzeżemy w niem masy pantofelków, pływających na wszystkich poziomach cieczy, najwięcej ich jednak będzie wpobliżu powierzchni. Na ściankach naczynia dość byłoby miejsca dla wszystkich. Nie mniej tłoczą się one i popychają, aby tylko osiąść w pierścieniu, zajmującym parę milimetrów szerokości. Widocznie nie cała ścianka słoja jest dla wymoczków atrakcją, atrakcja znajduje się specjalnie na ściśle określonej głębokości.

Taki siedzący pantofelek ma rzęski ciała prawie nieruchome; zwłaszcza rzęski, zwrócone do szkła, są zwykle wyprężone pod kątem prostym do powierzchni ciała i końcami opierają się o szkło (fig. 40). Tylko rzęski peristomalne nie ustają w ruchu, sprowadzając wciąż masy bakteryj do lejka ustnego. Siedzące pantofelki są zwykle przepełnione pokarmem.

Jest inny sposób obserwacji tigmotropizmu. Do kropli cieczy z wymoczkami, umieszczonej na szkieł-

ku, wkładamy kilka włókienek zwykłej waty i pokrywamy kroplę szkiełkiem przykrywkowem. Po kilkunastu minutach rozproszone dotąd pantofelki utworzą skupienia tigmotropiczne w kilku miejscach kropli, w jakimś kącie pomiędzy włókienkami znajdziemy zawsze masy osiadłych wymoczków, wykazujących słaby tylko ruch.

Pamiętając o niefortunnych próbach tłumaczenia ruchów wymoczka bezpośredniem oddziaływaniem czynników zewnętrznych na jego rzęski, będziemy skłonni przypuścić, że zetknięcie się z jakimś przedmiotem nie jest bezpośrednią przyczyną tigmotropizmu dodatniego. Jest ono raczej podnietą, wywołującą w organizmie zwierzęcia jakieś zmiany. Gdyby chodziło o sam fakt zetknięcia się, pantofelek w stawie lub kałuży musiałby osiadać na każdym przedmiocie podwodnym, z którym przypadkowo się zderzy. Musiałby ponadto siedzieć na nim wiecznie, gdyż nie byłoby żadnych powodów odpłynięcia. Jeśli zetknięcie się działa wprost na rzęski, nie rozumiemy, dlaczego ustają w ruchu rzęski strony przeciwległej, nie stykające się z przedmiotem.

Sprawa ta wcale nie jest tak prosta. Mówiliśmy, że tigmotropizm najłatwiej jest obserwować w dobrze odżywianych hodowlach. Istotnie, umieśćmy pantofelki w świeżej pożywce sianowej, nie zawierającej zbyt dużo bakteryj, a nie będą one wcale osiadały na ściankach. Gdy po paru dniach bakterje rozmnożą się, pojawi się charakterystyczny pierścień tigmotropiczny. Po dalszych kilku dniach

ciecz hodowli staje się przezroczysta, co oznacza, że bakterje zostały w znacznym stopniu wytępione. Wtedy wymoczki odrywają się od ścianki i rozpraszają się po całem naczyniu. Tigmotropizm jest jakoś związany z odżywianiem się pantofelka. To nie ulega wątpliwości.

Powstaje przypuszczenie, czy niema tu zależności odwrotnej? Właśnie dlatego pantofelki osiadają, że są zbyt najedzone i ciężko im pływać. Jak dowiemy się niedługo, rzęski peristomalne, energicznie pracujące u osobników osiadłych, są najbardziej czynne, gdy wymoczek jest nieruchomy. Skoro rzęski te napędzają coraz to nowe zastępy bakteryj do wnętrza nigdy nienasyconego żarłoka, w myśl powyższego przypuszczenia doszlibyśmy do absurdalnego wniosku, że ponieważ pantofelek jest przejedzony, osiada na ściance, czyli zajmuje położenie, w którem najłatwiej mu jest pokarm pobierać. Nie inaczej, tylko pantofelek musiałby pęknąć! Nie, nie dlatego pantofelek osiada, że ciężko mu pływać, raczej osiada, aby wygodniej mu było żerować. Cóż więc go do tego skłania?

Jedna tylko możliwość pozostaje w zgodzie ze wszystkiem, co już wiemy o pantofelku. Wymoczek osiada na jakimś przedmiocie tylko dlatego, że wpobliżu są bakterje. Nie na każdym przedmiocie osiądzie nasz mały bohater, ale zawsze na takim, który stanowi dlań dogodną bazę operacyjną. Podnieta ze strony przedmiotu musi być skojarzona z podnietą ze strony bakteryj. Jak wiemy, wpobliżu bakteryj środowisko posiada specjalne właściwo-

ści: mało w niem tlenu, dużo zaś kwasu węglowego i innych substancyj, produkowanych przez bakterje. Z drugiej strony wysoce zastanawiający jest fakt, że w słojach hodowlanych pierścień tigmotropiczny tworzy się stale wpobliżu wolnej powierzchni cieczy. Te zjawiska muszą być z sobą w jakimś związku. Samo przez się nasuwa się przypuszczenie, iż pantofelek wyszukuje sobie określone stężenie tlenu i dwutlenku węglowego, nie za duże, nie za małe. W świeżej pożywce sianowej bakteryj jest niewiele, dość więc tam tlenu i mało dwutlenku. Gdy bakterje rozmnożą się, w całym słoju ilość tlenu maleje bardzo znacznie, zawartość jego jest wtedy zupełnie minimalna. Ale oczywiście tlen z powietrza przedostaje się wciąż do cieczy przez jej wolną powierzchnię, w cieczy zaś zostaje zużyty przez masowo rozwijające się bakterje. Wobec tego tylko wpobliżu powierzchni cieczy dość będzie tlenu, ale już na głębokości niewielu milimetrów ilość jego maleje ogromnie. Pierścień tigmotropiczny znajduje się zatem na głębokości, na której tlen i dwutlenek węgla zawarte są w cieczy w przyjemnej dla pantofelka proporcji. Wymoczek osiada wygodnie na ściance naczynia, niby gość na tarasie hotelowym. Obfite jedzenie i świeże powietrze! Gdy wreszcie bakterje zostaną wytępione, ciecz hodowli nasiąka znowuż tlenem, jest jego dość na wszystkich poziomach i pantofelki rozpraszają się. Że tłumaczenie to jest trafne wynika także z tego, iż w czystej wodzie, ale świeżo przegotowanej, a więc zawierającej mało tlenu, ruchy wymoczków są bardzo po-

wolne i panuje wybitna dążność do tworzenia się skupień tigmotropicznych.

Innemi słowy, tigmotropizm jest związany z pobieraniem pokarmu, ale pośrednio. Pantofelek nie jest wcale pozbawionym wszelkich delikatnych uczuć materjalistą, który wierzy tylko w rzeczy namacalne. Bynajmniej, wystarcza mu symbol. Nie wtedy czuje bakterję, gdy ta wpada mu do gęby, ale wyczuwa jej obecność już w samej otaczającej atmosferze. Wierzy przytem niezłomnie w stałość praw przyrody i w logikę Arystotelesa. Powiada sobie, że skoro w środowisku ilość tlenu maleje, wzrasta zaś ilość dwutlenku węglowego (pierwsza przesłanka), skoro osiądzie nieruchomo (druga przesłanka) i puści w ruch mechanizm rzęsek peristomalnych (trzecia przesłanka), musi bezwzględnie pojawić się jedzenie w jego przełyku (wniosek). W przyrodzie pantofelek nie myli się, przesłanki jego są konsekwentne i wniosek słuszny. Ale złośliwy człowiek w laboratorjum potrafi niekiedy zadać gwałt logice, zrealizować wszystkie przesłanki, a eskamotować wniosek. Oszukuje pantofelka i w ten podstępny sposób wyłudza mu jego tajemnice.

Wszystkie nasze rozważania dotyczyły tigmotropizmu dodatniego. Możliwy jest także i tropizm ujemny, który jest zjawiskiem, dobrze nam już znanem z rozdziału poprzedniego. Wymoczek, wykonywujący ruch prawidłowy, odbija się od przeszkód pod stałym kątem. Zderzenie takie jest podnietą

kierunkową, wywołującą kierunkową reakcję. Ta ostatnia jest właśnie tigmotropizmem ujemnym.

O działaniu podniet świetlnych na pantofelka, czyli o zjawiskach *fototropizmu*, niewiele możemy powiedzieć. Jak się zdaje, w zwykłych warunkach pantofelek jest zupełnie niewrażliwy na światło. W każdym razie najsilniejsze nawet oświetlanie go w różnych kierunkach nie wywołuje żadnej zmiany ruchów, o ile oczywiście nie zaszło jednoczesne ogrzanie wymoczka. Właściwie i teoretycznie trudno jest przypuścić u pantofelka istnienie wrażliwości na światło, gdyż wymoczek nasz jest bezbarwny, przezroczysty. Autorzy, którzy pisali fantazje o człowieku niewidzialnym, zapomnieli o jednej ciekawej okoliczności. Oto niewidzialny człowiek musiałby być ślepy! Jeśli cały aparat oczny człowieka jest przezroczysty, jak powietrze, a tylko w tych warunkach byłby niewidzialny, nie może on spełniać swego zadania. Jego soczewka i jego ciało szkliste nie mogą skupiać promieni świetlnych i tworzyć obrazów przedmiotów, bowiem ta ich czynność oparta jest właśnie na ich znacznie większym w stosunku do powietrza współczynniku załamania światła. Gorzej, bo światło nie mogłoby wcale podrażnić zakończeń nerwowych oka, albowiem przeszłoby ono przez nie bez przeszkód. We wszelkiem oku musi być jakiś barwnik, zatrzymujący światło i pozwalający mu oddziałać na wrażliwe części. Pantofelek tego nie posiada. Nie oznacza to jednak wcale, aby nie posiadał on także wrażliwości na światło. Nie ma tylko możności wyjawienia jej.

Potrafimy dziś zrobić z pantofelkiem zupełnie niezwykłą sztukę: dostarczyć mu barwnika i wywołać sztucznie zjawisko fototropizmu! Jeśli do czystej wody z pantofelkami dodać odrobinę czerwonego barwnika, zwanego eozyną, i wymoczki postawić w ciemności, nie stanie się im nic złego. Jeśli jednak przenieść je na silne światło, pantofelki zginą bardzo szybko. Jak mówimy, eozyna uczula, sensybilizuje pantofelki względem światła. Stosunek pantofelków do światła w obecności eozyny zależy od ilości rozpuszczonego barwnika. Gdy eozyny jest bardzo mało (np. 1 część eozyny na 6000 części wody), wymoczki nie giną, a zato wykazują zjawisko fototropizmu dodatniego, t. zn. skupiają się na oświetlonej stronie rurki czy szkiełka. Trwa to zresztą dość krótko i zachodzi jedynie w obecności dużej ilości tlenu. Pantofelek wtedy nietylko reaguje na światło, ale i odróżnia barwy. Tak np. promienie zielone i niebieskie wywołują fototropizm dodatni, czerwone i żółte — ujemny. Ślady barwnika przedostają się do protoplazmy, gdzie skupiają się w stopniu nieco większym, niż w środowisku zewnętrznem. Dzięki temu pantofelek uzyskuje możność pochłaniania pewnych promieni świetlnych i reagowania na nie. Słowem, protoplazma pantofelka jest w zasadzie wrażliwa na światło, trzeba jej tylko dać możność jego zatrzymywania. Ciekawy przyczynek do kwestji powstania oka u zwierząt! Może wszelka wogóle protoplazma jest wrażliwa na światło i dość jej dać odrobinę barwnika, aby umożliwić reagowanie nań.

W życiu codziennem pantofelek nie potrzebuje tego, nie istnieje dla niego świat widzialny. Znamy ludzi genjalnych, którzy nie rozumieli i nie cenili muzyki, co nie przeszkodziło im dokonać rzeczy wielkich. Nie miejmyż pretensji do pantofelka. Potrafi on tak wiele, że można mu śmiało wybaczyć, gdy czegoś nie potrafi. Drobna to słabostka.

Pozostaje nam wspomnieć jeszcze o zjawiskach *galwanotropizmu*, czyli o ruchach wymoczków pod

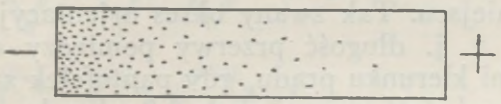


Fig. 41. Galwanotropizm. Wymoczki podążają w kierunku katody.

wpływem prądu galwanicznego. Podobnie jak chemotropizm, galwanotropizm stanowi zjawisko bardzo efektowne i łatwe do obserwowania. Na szkiełko przedmiotowe nalejemy warstwę roztopionej parafiny. Po jej zastygnięciu wytniemy w niej prostokątną wanienkę, długości jakieś 20 mm i szerokości 3 mm. Parafina będzie stanowiła ścianki wanienki, jej dnem zaś będzie szkło. Do wanienki wprowadzimy kroplę wody z pantofelkami i na obu jej końcach zanurzymy w wodzie dwa druty od ogniwa galwanicznego, używanego do dzwonków elektrycznych. Bardzo prędko wszystkie wymoczki skupią się wpobliżu druta, połączonego z ujemnym biegunem ogniwa (katodą). Odwracając kierunek prądu, natychmiast wywołamy reakcję odwrotną, t. j. skierowanie się wymoczków na przeciwległy koniec wanienki. Reak-

cja jest niezwykle szybka i wyraźna. Wciąż odwracając prąd, możemy pędzać wymoczki całemi godzinami z jednego końca wanienki w drugi, zawsze z tą samą szybkością i jednolitością reakcji. Trzeba tylko od czasu do czasu oczyścić końce drutów, na których osiadają pęcherzyki gazu.* Jeśli zapomocą odpowiedniego przyrządu coraz częściej będziemy odwracali kierunek prądu, dojdziemy do tego, że pantofelek zaledwie zdąży się obrócić, gdy następuje zmiana. Wówczas pantofelek będzie tylko obracał się w miejscu. Tak zwany okres orjentacyjny wymoczka, t. j. długość przerwy pomiędzy dwiema zmianami kierunku prądu, gdy pantofelek zaledwie zdąży się obrócić, wynosi około 0,8 sekundy.

Zwiększając stopniowo natężenie prądu, działającego na pantofelka, zauważymy niebawem charakterystyczne zjawiska. Po zamknięciu prądu pantofelki, jak zwykle, zbiorą się na katodzie. W miarę wzrostu natężenia (prąd stały, nieprzerywany) wymoczki zaczną stopniowo tyłem cofać się ku anodzie. Przytem na końcu tylnym, skierowanym do bieguna dodatniego, ciało pantofelka zaostrza się i wyciąga się w postaci czopka. Następuje wyrzucenie trichocystów na tylnym końcu — znak silnego podrażnienia — poczem zwykle rozpoczyna się rozpad protoplazmy pantofelka, poczynając od jego tylnego końca. Jednocześnie, jak to widzimy na fig. 42, równolegle ze wzrostem natężenia prądu zachodzi odwró-

* W laboratorjach używa się zwykle t. zw. elektrod apolaryzacyjnych, na których gaz nie osiada. Do naszych celów wystarczą jednak zwykłe druty.

cenie kierunku coraz to większej liczby rzęsek na katodalnej połowie ciała. W pewnej chwili wymoczek ukazuje nam niezwykłe widowisko. Rzęski przedniej połowy ciała uderzają ku przodowi, popychając wy-

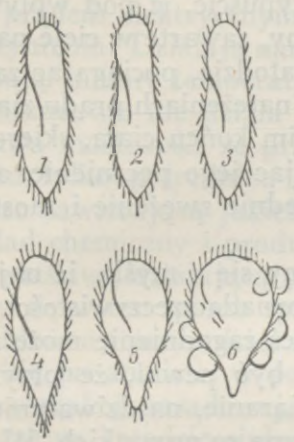


Fig. 42. Zachowanie się wymoczka w polu elektrycznem o wzrastającem natężeniu. Zwrócić uwagę na zmiany położenia rzęsek. Katoda leży u góry (Jennings).

moczka w tył. Zarazem rzęski połowy tylnej popychają ciało naprzód. Słowem, ciało wymoczka jakby rozpadło się na dwie przeciwdziałające sobie połowy.

Takich zjawisk nie ukazuje żaden inny tropizm. Najwidoczniej reakcja jest tu przymusowa, narzucona wymoczkowi, nie może on oprzeć się działaniu prądu. Przemawia za tem także jednolitość reakcji, jej wykonywanie przez wszystkie wymoczki, co w tropizmach jest czemś zupełnie wyjątkowem.

Istnieje szereg różnych poglądów na galwanotropizm. Pogląd fizyczny, tłumaczący zjawisko bezpośredniem działaniem prądu, nasunął się pierwszy,

jako najprostszy. Oddawna wiadomo, że prąd galwaniczny, przechodząc przez ciecz, która zawiera jakiekolwiek drobne ziarenka, wywołuje ich ruch w kierunku katody. Zjawisko otrzymało nazwę *kataforezy*. Było naturalne przypuścić, iż pod wpływem prądu ziarenka protoplazmy, zawarte w ciele pantofelka, skierowują się ku katodzie, pociągając za sobą całe ciało. Przy dużych natężeniach prądu ziarenka zbierają się na przednim końcu ciała, skierowanym ku katodzie, wywołując jego pęcznienie, a zarazem powodując odpowiednie zwężenie i zaostrzenie końca tylnego.

Raz na zawsze rozstańmy się z myślą, iż najprostsze i najoczywistsze odpowiada rzeczywistości. Raczej przeciwnie. Jeśli jakieś zagadnienie może mieć pięć rozwiązań, możemy być pewni, że przyroda obierze jakieś szóste rozwiązanie, najdziwaczniejsze i najbardziej niespodziewane ze wszystkich. W opisanem poprzednio doświadczeniu z ogniwem do dzwonków, napięcie prądu mogło mieć najwyżej parę woltów, opór zaś cieczy w naszej wanience mierzy się setkami tysięcy omów. W obwodzie otrzymamy więc prąd tak słaby, że absolutnie nie może on wywołać jakiejkolwiek dostrzegalnej kataforezy. Jednak pantofelki reagują nań natychmiastowo i niezawodnie. Zresztą niezastosowalność kataforezy do galwanotropizmu można łatwo wykazać. Część pantofelków narkotyzujemy zapomocą chloroformu i umieszczamy je wraz z normalnemi w wanience. Po zamknięciu prądu wymoczki żywe popłyną ku katodzie, uśpione zaś nie ruszą się z miejsca. Ruch

galwanotropiczny zależy od ruchu rzęsek wymoczka, nie może zachodzić, gdy rzęski są nieczynne.

Więc jakże wytłumaczyć zjawisko? Dla każdego tropizmu mogliśmy odnaleźć jakieś znaczenie życiowe. Jakąż rolę może odgrywać galwanotropizm, skoro z prądem elektrycznym pantofelek nigdy nie ma do czynienia? Działają nań różne związki chemiczne, działają zmiany temperatury, światło i bodźce mechaniczne, ale nie działa wcale prąd. Otóż istnieje ciekawa możliwość, że prąd galwaniczny oddziaływa tu tylko pośrednio. Przechodząc przez wodę, zawsze zawierającą jakieś sole, prąd wywołuje ich rozkład chemiczny i produkty tego rozkładu mogą być właściwą działającą podnietą. Galwanotropizm dałby się w ten sposób sprowadzić do chemotropizmu. Możemy przypuścić, że jony dodatnie, skupiające się na anodzie, w połączeniu z wodą utworzą ciała o reakcji zasadowej, natomiast jony ujemne utworzą na katodzie ciała kwaśne. Wówczas katoda będzie działała na pantofelki przyciągająco, anoda zaś odpychająco. To samo powinno zresztą zajść w samem ciele pantofelka: na jego końcu, zwróconym do anody, powstaną ciała zasadowe, na końcu katodowym zaś — ciała kwaśne. Typowe zmiany kształtu pantofelka przy dużych natężeniach prądu dają się również łatwo wytłumaczyć. Bowiem zupełnie takie same zwężenie tylnego końca ciała występuje u wymoczków, które umieszczono w jakimś roztworze zasadowym, bez wszelkiego użycia prądu. Nie jest to zatem reakcja na prąd, lecz reakcja na zasadę. Zwężenie to w doświadczeniach galwanotropicznych nie pojawia się odrazu, wymaga ono pewnego czasu.

Znowuż fakt zrozumiały, bowiem reakcja wymoczka zachodzi dopiero w pewnem stężeniu zasady, a stężenie ciał zasadowych na końcu anodowym wzrasta w miarę działania prądu i na początku może być zbyt słabe, aby wywołać zwężenie tyłu zwierzęcia. Że wymoczki tyłem posuwają się w stronę anody, może zależeć poprostu od tego, iż pod wpływem prądu w wanience wkrótce nagromadza się znaczna ilość produktów elektrolizy. Pantofelki, umieszczone w 0,5 — 0,7% roztworze soli kuchennej, pływają tyłem. Jeśli podziałać na nie prądem galwanicznym, skierują się one do anody! Czyż nie piękna teorja? Pomysłowa, konsekwentna, doskonale wszystko wyjaśnia. Szczerze żałuję, że nie odpowiada ona prawdzie.

Analiza chemiczna wskazuje, że ilość kwasów i zasad, tworzących się w wanienkach doświadczalnych pod wpływem prądu, jest o wiele za mała, aby mogła wywołać reakcję chemotropiczną. Nic się na to nie poradzi, niema tych kwasów i zasad, które miały tłumaczyć zjawisko. Następnie wymoczki skierowują się ku katodzie nawet wtedy, gdy na ich drodze znajduje się kropla cieczy, wywołującej chemotropizm ujemny. Jeśli wpobliżu anody umieścić w wanience kroplę kwasu, pantofelki mimo to skierują się ku katodzie, choć kwas działa na nie przyciągająco. Galwanotropizm okazuje się silniejszy od chemotropizmu i nie można obu tych zjawisk utożsamiać.

Cóż mamy jeszcze powiedzieć? W przeciwieństwie do wszystkich innych tropizmów, galwanotropizm zdaje się polegać na bezpośredniem oddziaływaniu prądu na narządy ruchu. Przeciwny naturze

podział ciała pantofelka na dwie przeciwdziałające sobie połowy wyraźnie na to wskazuje. Gdy na drodze wymoczka, dążącego ku katodzie, znajdują się jakiekolwiek przeszkody mechaniczne, zwierzę nie zwraca na nie żadnej uwagi, przeciska się gwałtownie przez wszystko możliwe, zostaje zaś przyciśnięte do przeszkody, jeśli nie może jej przezwyciężyć. Galwanotropizm jest zjawiskiem sztucznem, narzuconem wymoczkowi gwałtem. Wszystko za tem przemawia. Ruchy zwierzęcia mają w tym przypadku równie mało wspólnego z życiem, jak żywe ruchy zwłok ludzkich podczas spalania ich w krematorjum. Dajmy spokój makabrycznym próbom! Niewiele przyczynią się one do wyjaśnienia zagadnień życiowych.

ROZDZIAŁ V

GEOTROPIZM

JEŚLI czytelnik myśli, że uporał się już ze wszystkiemi tropizmami, jest w błędzie. Istnieje bowiem jeszcze jeden tropizm, najciekawszy i najmniej zrozumiały ze wszystkich. Jest to *geotropizm*, czyli ruch kierunkowy pod wpływem siły ciążenia. Można na jego przykładzie przekonać się, jak trudno jest nieraz poznać rzecz najprostszą i jak bezgraniczna jest pomysłowość badacza - eksperymentatora, który „musi".

Zjawisko samo możemy opisać krótko: wymoczki zwykle zbierają się w górnych warstwach cieczy, czasem zbierają się w dolnych, a czasem jest im wszystko jedno. I to jest właśnie geotropizm. Cóż tu jest do badania?

Przyjrzymy się wpierw dokładniej naszym pantofelkom. Geotropizm najlepiej jest obserwować w wysokich i wąskich naczyniach. Wysokość potrzebna jest, aby dać wymoczkom więcej miejsca na wędrówkę pionową i wogóle na wykazanie swoich talentów, wąskość zaś jest poto, aby zabarwiona zwykle ciecz hodowli mniej przeszkadzała obserwacji. Wlejemy więc gęstą hodowlę wymoczków do takiego naczynia i pozostawimy je ich losom. Początkowo zwierzątka będą rozproszone równomiernie na

wszystkich poziomach cieczy, gdyż podczas wlewania zmieszaliśmy ją gruntownie. Ale po paru sekundach dostrzeżemy przez lupę, że ogromna większość pantofelków ustawi się pionowo, końcem przednim ku górze, i popłynie przed siebie. Wkrótce powierzchniowe warstwy cieczy zarojają się od wymoczków, w dolnych zaś częściach naczynia będzie ich bardzo mało. Nie mniej nigdy reakcji takiej nie wykonywują wszystkie wymoczki. Znajdą się stale osobniki o wybujałej indywidualności, nie poddające się powszechnej modzie i pływające we wszystkich kierunkach.

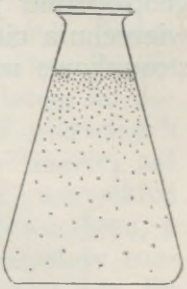


Fig. 43. Zjawisko geotropizmu.

Jaka jest przyczyna takiej wędrówki? Sprawa ta, powiedziano, jest przecież bardzo prosta: wymoczki są lżejsze od wody i dlatego wypływają na wierzch. Zaiste cudownie proste tłumaczenie! Czy jednak prawdziwe? Wymoczek płynie dzięki ruchom swoich rzęsek, a zatem skoro rzęski unieruchomić sztucznie i skoro wymoczek jest lżejszy od wody, powinien on i teraz wypłynąć na wierzch. Unieruchomienie rzęsek pantofelka to żaden problemat. Do hodowli wymoczków wlewamy parę kropli eteru i mieszamy. Zwierzątka ulegają narkozie i rzęski ich ustają w ruchu. Same zaś wymoczki najspokojniej opadają na dno naczynia. Zatem pantofelek jest cięższy od wody, nie lżejszy, jego ciężar właściwy nie jest przyczyną geotropizmu, lecz jest przeszkodą, którą zwierzę musi przezwyciężyć. Nie, tak prosto zjawisko nie da się wytłumaczyć.

Szukajmy dalej. Wymoczek nasz potrzebuje tlenu do oddychania, jak każde inne stworzenie. Otóż w naczyniach wysokich i wąskich, w których zjawisko geotropizmu jest szczególnie jaskrawe, wolna powierzchnia cieczy — źródło dopływu tlenu — jest stosunkowo mała i oddalona od głównej jej masy.

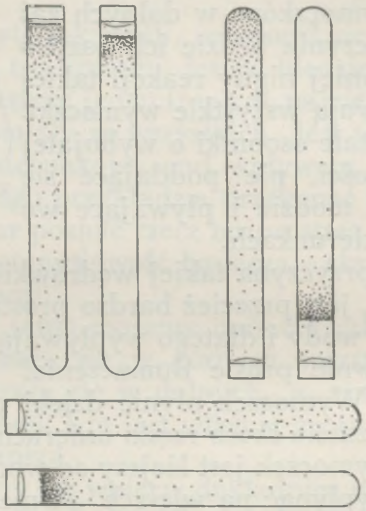


Fig. 44. Zachowanie się wymoczków w 10 minut i w dwie godziny po wlaniu hodowli do rurek.

Ponieważ pantofelek musi dążyć ku źródłu tlenu, być może dlatego właśnie płynie on w górę? W tym przypadku geotropizm byłby poprostu „tlenotropizmem". Jeśli przypuszczenie to zrodziło się w umyśle czytelnika, należy mu się za to uznanie. Bowiem rozumowanie jego było logiczne i ściśle przyrodnicze.

Że zaś nie udało mu się zgadnąć, to już nie jego wina, lecz wina pantofelka, który nic nie chce wiedzieć o logice. Geotropizm nie jest tlenotropizmem. Trzy jednakowe rurki szklane, zalutowane na jednym końcu, napełnimy hodowlą pantofelków. Jedną z nich postawimy pionowo, końcem otwartym ku górze, drugą — również pionowo, ale wylotem ku dołowi, trzecią zaś położymy poziomo. W pierwszych dwóch wymoczki skupią się u góry, w trzeciej zaś pozostaną rozproszone (fig. 44). We wszystkich trzech otwarty wylot był źródłem dopływu tlenu, a jednak w rurce poziomej wymoczki pozostały rozproszone, a w rurce 2 popłynęły w kierunku dna. Po paru godzinach, gdy tlen w cieczy zostanie w znacznym stopniu zużyty, pantofelki we wszystkich trzech rurkach skupią się koło wylotu, tworząc tam pierścień tigmotropiczny. Ta reakcja jest niewątpliwie związana z tlenem, ale nie jest ona geotropizmem. Ponadto wymoczki, przebywające w cieczy hodowli, zawierającej bardzo mało tlenu, wykazują nader słaby geotropizm. Jeśli je natomiast przenieść do czystej wody wodociągowej, obfitującej w tlen, reakcja geotropiczna będzie bardzo silna. Pocóż wymoczki, mające do rozporządzenia wielki nadmiar tlenu, miałyby go poszukiwać? Jakoś to się nie zgadza.

Czemuż więc pantofelki płyną w górę? Wymyślono bardzo chytre tłumaczenie. Pantofelek w cieczy ulega działaniu ciśnienia hydrostatycznego, tem większego, im wymoczek jest głębiej. Teorja polega na tem, że ciśnienie cieczy pobudza rzęski zwierzęcia do ruchu tem szybszego, im ciśnienie jest większe.

Tu właśnie tkwi chytrość. Wyobraźmy sobie wymoczka, płynącego poziomo. Na górną powierzchnię jego ciała oddziaływa pewne ciśnienie wody. Ale na powierzchnię dolną działa ciśnienie większe, gdyż znajdujący się nad nią słup wody jest wyższy o szerokość ciała zwierzęcia. Zatem, rzęski połowy dolnej będą uderzały silniej i pantofelek musi zawrócić ku górze. Wtedy dopiero ciśnienie wody oddziała na rzęski symetrycznie, gdy wymoczek stanie pionowo. Proste i jasne. Jednak na chytrość zawsze znajdzie się jakaś inna chytrość. Gdyby teorja była słuszna, wymoczki musiałyby pływać tem prędzej, im głębiej znajdują się w naczyniu. Ale gdy wymierzono prędkość ruchu pantofelka na różnych poziomach cieczy w tem samem naczyniu, okazało się, iż jest ona wszędzie jednakowa. Jeszcze jedno tłumaczenie spaliło więc na panewce.

Nie składamy broni. Będziemy szukali innych sposobów wytłumaczenia zjawiska. A może wymoczek poprostu chce sobie płynąć w górę? Gdy człowiek wchodzi na jakiś szczyt górski, nie próbujemy wytłumaczyć jego postępowania tem, że na głowę jego oddziaływa mniejsze ciśnienie atmosferyczne, niż na nogi, albo że przyciąga go chemotropicznie powietrze górskie. Może i wymoczek płynie w górę, bo ma w tem jakiś interes? Owszem, bardzo to piękne tłumaczenie, ale nie wiemy z niego, jak wymoczek dowiaduje się, gdzie leży góra, a gdzie dół. Jest i na to teorja. W jakimkolwiek kierunku płynie pantofelek, musi on przezwyciężać zawsze jedno i to samo tarcie swego ciała o wodę. Wielkość tarcia zależy od prędkości ruchu, ale nie od jego kierunku.

Ponadto płynący w górę wymoczek ma do pokonania ciężar własnego ciała, skoro zaś skieruje się w dół, ten sam ciężar ciała ułatwia mu zadanie. Być może wymoczek ustawia się tak, aby miał do przezwyciężenia największy opór. Kierunek zaś największego oporu będzie zarazem kierunkiem ku górze. Poco wymoczek tak się ustawia, to inna sprawa, ale kierując się wielkością oporu, mógłby on istotnie odróżnić górę od dołu.

Zawiłemi drogami trzeba iść, aby sprawdzić słuszność tego tłumaczenia. Wiemy już, że pantofelek jest cięższy od wody. Powinniśmy jednak wiedzieć o ile jest cięższy, musimy znać jego ciężar właściwy. W celu jego wyznaczenia, szereg rurek szklanych, zalutowanych na jednym końcu, napełnimy różnemi roztworami gumy arabskiej w wodzie o wymierzonym poprzednio ciężarze właściwym, wynoszącym od 1,034 do 1,044. Guma arabska jest substancją nieszkodliwą dla wymoczków, mogą one w niej żyć i pływać przez długi czas. Do każdej rurki wlejemy kropelkę wody z pantofelkami i wstawimy je wszystkie na wirówkę. Wirówka, jak wiadomo, jest przyrządem, za którego pomocą możemy poddawać przedmioty szybkim ruchom obrotowym. Rurki ustawimy wzdłuż promienia obrotu, ich końce zalutowane skierujemy na zewnątrz, czyli odśrodkowo. W niektórych rurkach roztwór gumy arabskiej jest cięższy od wymoczka, w innych lżejszy, w jeszcze innych równy mu lub prawie równy. W rurkach pierwszego rodzaju siła odśrodkowa powinna odrzucić nazewnątrz ciecz, jako cięższą, wymoczki zaś zbiorą się w ich częściach dośrodkowych. W rurkach drugiej

kategorji zajdzie zjawisko odwrotne: wymoczki zostaną odrzucone ku obwodowi. Jeśli wreszcie ciecz w rurce ma ten sam ciężar właściwy, co wymoczki, wirowanie nic nie zmieni w ich układzie wzajemnym

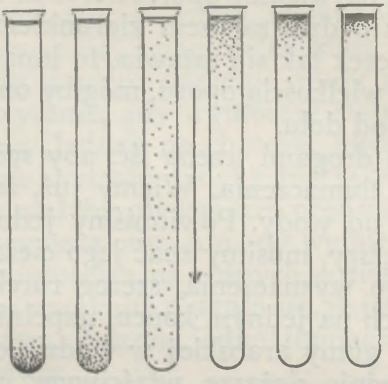


Fig. 45. Pantofelki, wirowane w cieczach o różnym ciężarze właściwym. Tylko w cieczy o cięż. wł. 1,038 wymoczki pozostały rozproszone. Strzałka wskazuje kierunek działania siły odśrodkowej.

i pantofelki zostaną rozproszone w rurce. Po zakończonem wirowaniu znaleziono, że pantofelki pozostały rozproszone tylko w tej rurce, w której ciężar właściwy roztworu wynosił 1,038. A zatem taki też musi być ciężar właściwy pantofelka (fig. 45).

Poco to wyznaczaliśmy? Zaraz. Bierzemy raz jeszcze szereg rurek z gumą arabską o ciężarze właściwym od 1,034 do 1,044 i do każdej wpuszczamy trochę pantofelków. Rurki ustawiamy pionowo i czekamy, co nastąpi. Jeśli wymoczek rzeczywiście wyszu-

kuje kierunek największego oporu, w cieczy lżejszej od niego samego będzie on wypływał na wierzch, jak robi to w zwykłej wodzie. Jednak w cieczy cięższej od niego ta sama logika powinna zaprowadzić wymoczka na dół. Teraz przecież kierunek ku dołowi będzie kierunkiem największego oporu, bowiem ciecz wypycha wymoczka w górę. Trzeba oddać sprawiedliwość, że doświadczenie zostało bardzo sprytnie pomyślane. Jeszcze sprytniejsze okazały się wymoczki, które we wszystkich rurkach wypłynęły na wierzch. W jednych płynęły w kierunku największego oporu, w innych — w kierunku oporu najmniejszego, a w jeszcze innych we wszystkich kierunkach miały opór jednakowy. Pantofelki nie dbają o żaden opór, tyle jest jasne.

Dotychczasowe tłumaczenia nic nam nie wytłumaczyły, wciąż zgadywaliśmy nietrafnie. Musimy jednak wiedzieć, jak pantofelek odróżnia górę od dołu, ambicja nie pozwala nam cofnąć się przed wymoczkiem. Zamiast ślepego wynajdywania różnych możliwości, rozejrzymy się, jak inne zwierzęta dają sobie z tem radę. Do odróżniania góry od dołu zwierzęta różnego autoramentu posiadają specjalny aparat. W najprostszej swojej postaci aparat taki jest dołkiem lub zamkniętym pęcherzykiem, nazwanym *statocystą*, w którym znajdują się jakieś ciężkie ciałka (statolity), najczęściej małe kulki wapienne (Fig. 46). Na wewnętrznej powierzchni statocysty siedzą liczne włoski czuciowe i na nich właśnie spoczywają statolity. Skoro zwierzę zmieni swoje położenie w stosunku do pionu, statolity staczają się do najniższego punktu statocysty, teraz więc będą naciskały na inne

włoski czuciowe, niż przedtem, i tem zawiadomią zwierzę o zmienionej pozycji ciała. Być może cały nasz wymoczek jest czemś w rodzaju takiego woreczka. Wewnątrz pantofelka zawsze znajdują się jakieś

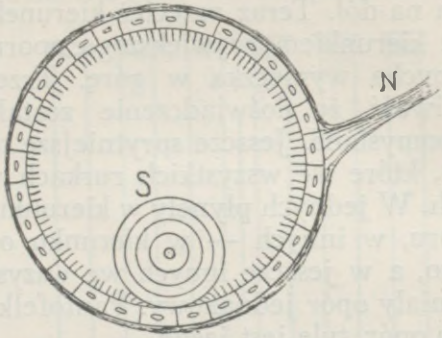


Fig. 46. Schemat statocysty. S—statolit, N—nerw. (Buddenbrock).

ciałka, cięższe od protoplazmy, chociażby kryształki fosforanu wapniowego, które mogą doskonale odegrać rolę statolitów. Gdy zmienia się położenie ciała zwierzęcia, statolity uciskają protoplazmę w innym kierunku, niż przedtem, a wrażliwa protoplazma odczuwa to i wie odrazu o zmianie położenia. To także bardzo chytra teorja. Nie tak łatwo jest dojść, czy odpowiada ona rzeczywistości.

Sprawa wyjaśniłaby się, gdybyśmy wiedzieli na pewno, co jest statolitem w ciele pantofelka i gdyby siła ciążenia działała tylko na statolity, a nie działała na inne części ciała. W takim bowiem razie tylko statolity przesuwałyby się pod wpływem grawitacji, jeśli zaś wymoczek odpowiadałby na to ruchem geotropicznym, znalibyśmy jego przyczynę. Ale prze-

cież jest to zadanie nierozwiązalne! Jakże mamy uniknąć wpływu ciążenia na całego wymoczka? Nie znamy takich izolatorów, które oddzieliłyby nas od wpływów ciążenia ziemskiego. Ale powiedziałem, że

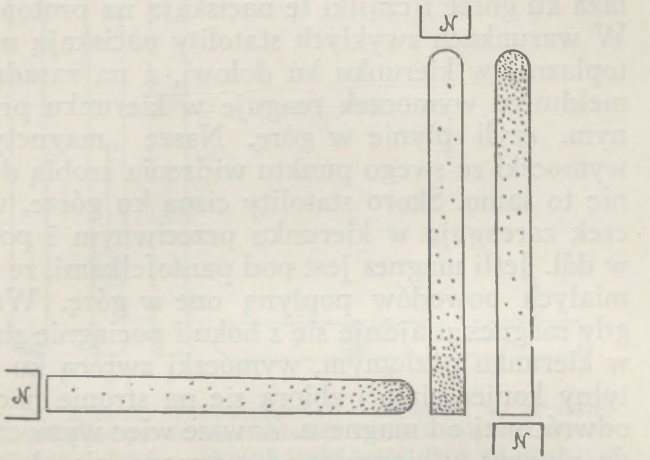


Fig. 47. Ruch pantofelków, nakarmionych sproszkowanem żelazem, w polu magnetycznem. N — biegun magnesu.

eksperymentator, który musi, potrafi zrobić wszystko. Nakarmiono pantofelki sproszkowanem żelazem, którego można dostać w każdej aptece pod nazwą *ferrum reductum*. Wymoczki pochłaniają cząstki żelaza, tworząc z nich wędrujące po całem ciele wodniczki pokarmowe. Postanawiamy sobie, że te wodniczki żelazowe mają być statolitami. Aby tego dopiąć, oddziałamy na wymoczki bardzo silnym magnesem. Teraz stosunki zmieniły się, gdyż mamy

sztuczne statolity oraz sztuczną grawitację, która działa tylko na statolity, ale na nic więcej. W nader prosty sposób zadanie nasze zostało rozwiązane. Jakże zachowają się wymoczki? Niech magnes znajduje się u góry, nad wymoczkami. Pociąga on cząstki żelaza ku górze i cząstki te naciskają na protoplazmę. W warunkach zwykłych statolity naciskają na protoplazmę w kierunku ku dołowi, a na zasadzie ich meldunku wymoczek reaguje w kierunku przeciwnym, czyli płynie w górę. Nasze „magnetyczne" wymoczki ze swego punktu widzenia zrobią dokładnie to samo. Skoro statolity cisną ku górze, wymoczek zareaguje w kierunku przeciwnym i popłynie w dół. Jeśli magnes jest pod pantofelkami, ze zrozumiałych powodów popłyną one w górę. Wreszcie gdy magnes znajduje się z boku i pociągnie statolity w kierunku poziomym, wymoczki zwrócą ku niemu tylny koniec ciała i zbiorą się na stronie naczynia, odwróconej od magnesu. Zawsze więc wymoczki będą płynęły w kierunku od magnesu, niezależnie od jego położenia, czyli w swojem mniemaniu wykonają ruch geotropiczny. Warunkiem jest tylko, aby magnes był dość silny. Piękny naprawdę przykład sztuki eksperymentatorskiej!

Posiadamy jeszcze inny argument na korzyść teorji statocysty, nie mniej przekonywujący. Jeśli pantofelki w rurce poddać bardzo silnemu wirowaniu i po zatrzymaniu wirówki postawić rurkę pionowo, jej końcem dośrodkowym ku górze, wymoczki szybko skupią się w górnych częściach rurki. Jest to normalny geotropizm, z tą tylko różnicą, że ruch zwierzątek jest szybki i bardzo jednolity: prawie wszy-

stkie osobniki płyną pionowo w górę. Zmieniamy nieco warunki doświadczenia. Rurkę po wirowaniu stawiamy pionowo, ale końcem dośrodkowym ku dołowi. Teraz zajdzie coś niezwykłego: wymoczki, sku-

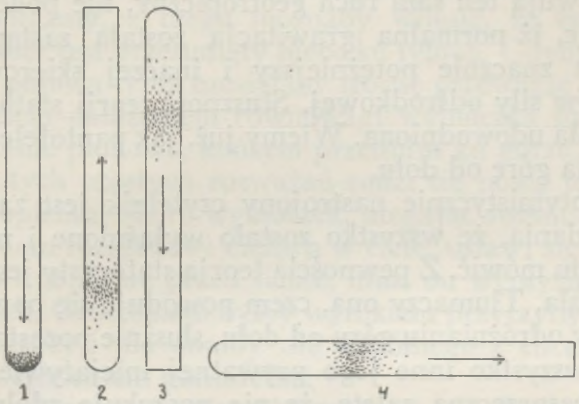


Fig. 48. Zjawisko centrotropizmu. 1 — wymoczki tuż po zakończonem wirowaniu. Strzałka wskazuje kierunek działania siły odśrodkowej. 2, 3 i 4 — kierunek ruchu pantofelków po wirowaniu, w trzech położeniach rurki.

pione przez wirowanie na dnie rurki, zwróconem obecnie ku górze, popłyną wszystkie w dół. Jeśli wreszcie po wirowaniu położymy rurkę poziomo, znowuż zwierzątka całą gromadą skierują się ku jej końcowi dośrodkowemu. Zatem zawsze wymoczki płyną w kierunku, w jakim znajdował się podczas wirowania środek obrotów wirówki, niezależnie od położenia rurki w przestrzeni. Zjawisko to otrzymało nazwę *centrotropizmu*. Ze stanowiska teorji statocysty jest ono łatwo zrozumiałe. Pod wpływem silnego wirowania statolity w ciele pantofelka prze-

sunęły się w kierunku działania siły odśrodkowej, a więc nazewnątrz, wymoczek zaś reaguje w kierunku przeciwnym ruchowi statolitów, t. zn. płynie dośrodkowo. W swojem mniemaniu wymoczki zawsze wykonywują ten sam ruch geotropiczny, nie podejrzewając, iż normalna grawitacja została zastąpiona przez znacznie potężniejszy i inaczej skierowany wpływ siły odśrodkowej. Słuszność teorji statocysty została udowodniona. Wiemy już, jak pantofelek odróżnia górę od dołu.

Optymistycznie nastrojony czytelnik jest zapewne zdania, że wszystko zostało wyjaśnione i niema o czem mówić. Z pewnością teorja statocysty jest doskonała. Tłumaczy ona, czem powoduje się pantofelek w odróżnianiu góry od dołu, słusznie pozostawiając wszystko inne jego prywatnej inicjatywie. Ma tę bezsprzeczną zaletę, że nie poszukuje zdolności, właściwych tylko pantofelkowi i nieznanych gdzie indziej, ale odnajduje u pantofelka urządzenie, bardzo szeroko rozpowszechnione w całem państwie zwierzęcem. Wreszcie przemawiają na jej korzyść różne fakty, zdobyte w drodze bardzo pomysłowych dociekań. Pod każdym względem jest to dobra teorja naukowa. Jednak w nauce każda teorja, nawet najdoskonalsza, ma swego śmiertelnego wroga, podstępnego i bezlitosnego. Jest nim teorja jeszcze lepsza! Człowiek łatwo przyzwyczaja się do dobrych teoryj i niechętnie rozstaje się z niemi, bo jest z natury leniwy i nie chce mu się uczyć się na nowo czegoś, czego już raz się nauczył. Nie mniej, lepsza teorja jest bez litości. Mówiłem to zresztą nie poto, aby

czytelnika pouczać, lecz tylko poto, aby pozwolić mu trochę wytchnąć. Teraz zaś idziemy dalej.

Powstało interesujące pytanie: gdzie znajduje się w ciele pantofelka środek ciężkości? Tylna jego połowa jest grubsza od przedniej, zawiera więcej protoplazmy, z czego możnaby wnosić, że środek ciężkości jest przesunięty nieco ku tyłowi. Gdyby tak było, połowa tylna musiałaby trochę przeważać i naturalnem położeniem równowagi wymoczka byłoby położenie pionowe, końcem przednim ku górze. Nagle z tych prostych rozważań rodzi się nowa teorja geotropizmu! Skoro wymoczek, ulegając swemu normalnemu rozkładowi ciężaru w ciele, ustawi się pionowo i popłynie przed siebie, musi on wypłynąć na wierzch. Geotropizm byłby wynikiem przyczyny mechanicznej i nie miałby nic wspólnego z chceniem czy niechceniem pantofelka.

Mamy nową możliwość i musimy ją jakoś sprawdzić. Najprościej byłoby oprzeć środek ciała wymoczka na ostrzu noża i zobaczyć, która połowa przeważy. Niestety, żaden nóż nie jest na to dość ostry, a i pantofelek nie zechciałby na nim osiąść. W ten sposób nic się nie da zrobić. Spróbujemy drogi okólnej. Raz jeszcze nakarmimy pantofelki sproszkowanem żelazem. Jak zobaczymy w następnym rozdziale, tylko co utworzony wodniczek pokarmowy wędruje na tył ciała zwierzęcia, gdzie pozostaje przez kilka minut, i potem dopiero rozpoczyna swój obieg dokoła endoplazmy. Można skorzystać z tej chwili, gdy wodniczek obciąża tył ciała zwierzęcia. Możemy twierdzić z dużem prawdopodobieństwem, iż w tym momencie tylna połowa ciała jest cięższa

od przedniej, gdyż została dodatkowo i stosunkowo znacznie obciążona. Jak się okazuje, takie wymoczki wykonywują silnie wzmożoną reakcję geotropiczną. Przemawia to na korzyść naszej teorji, bowiem skoro przewaga tylnej połowy jest naturalną przyczyną geotropizmu i skoro została ona sztucznie zwiększona, z natury rzeczy reakcja geotropiczna powinna ulec wzmożeniu, co obserwujemy też w rzeczywistości.

Nie jest to zresztą dowód zbyt mocny. Postaramy się o inny. Jeśli połowa tylna jest cięższa od przedniej, należy się spodziewać, że wymoczki, poddane wirowaniu, ustawią się w rurce, skierowując swój koniec przedni ku środkowi obrotów. Ale jak to zobaczyć? Gdy zatrzymamy wirówkę i wyjmiemy z niej rurkę, pantofelki natychmiast zmienią swoje położenie i nic nie będziemy wiedzieli. Potrzeba tu więcej wyrafinowania. Koniec odśrodkowy rurki wyciągamy w cienką rureczkę włoskowatą, której średnica jest tak dobrana, aby wymoczek mógł do niej wejść, ale nie potrafił w niej się obrócić. Rureczkę włoskowatą napełniamy czystą wodą, do rurki szerszej zaś wlewamy hodowli pierwotniaków. Teraz siła odśrodkowa wpędzi wymoczki do rurki włoskowatej, w której ustawią się one rzędem, jeden za drugim, jak na fig. 49. Zatrzymując wirówkę i ułamując szybko rurkę cienką, stwierdzimy pod mikroskopem, jak ustawione są w niej pantofelki. Jak zwykle z naszym wymoczkiem, wynik doświadczenia był wręcz przeciwny spodziewanemu. Prawie wszystkie wymoczki ustawiły się końcem przednim ku obwodowi, tylnym zaś ku środkowi obrotów! Wy-

nika stąd, że cięższa jest przednia połowa, nie tylna. Jakkolwiek połowa tylna jest grubsza, nie jest bynajmniej wykluczone, że połowa przednia zawiera cięższą protoplazmę. Tego nie wiemy. Tak czy inaczej, naturalnem położeniem równowagi wymoczka jest położenie pionowe, ale końcem przednim ku dołowi. Wykonywując ruch geotropiczny, zwierzę musi przeciwdziałać tej swojej naturalnej skłonności, przeszkadza mu ona w reakcji, nie pomaga. Fakty zaprzeczają naszej teorji.

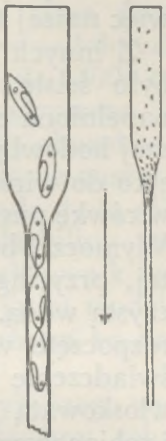


Fig. 49. Zachowanie się pantofelków w rurce włoskowatej pod wpływem wirowania. Na lewo środkowa część rurki w powiększeniu (według danych Lyona).

Trudno, nauka jest walką. Ten, kto jest na dole, nie powinien tracić zimnej krwi, może jeszcze znaleźć się na wierzchu. Spróbujmy ratować naszą nową teorję. Pantofelek posiada pewną zdolność, o której dotąd nie było mowy. Jest nią t. zw. *reotropizm*, czyli ruch zwierzęcia przeciwko prądowi wody, znany każdemu, kto kiedykolwiek obserwował zachowanie się ryb w szybko płynącym strumieniu. Gdy tylko ciecz się porusza, pantofelek ustawia się w niej pod prąd. Pomyślmy teraz, co się dzieje z wymoczkami podczas wirowania. Siła odśrodkowa odrzuca je ku obwodowi, a zatem wymoczki poruszają się względem cieczy i względem ścianek rurki. A czy nie wszystko jedno zwierzęciu czy woda płynie, ono zaś stoi na miejscu, czy też woda stoi a ono płynie? W obu razach istnieje przecież ten sam ruch cieczy

względem wymoczka, a zatem pantofelek ustawi się przednim końcem „pod prąd", czyli skieruje go nazewnątrz. Uczyni to nie dlatego, że koniec przedni jest cięższy, lecz dlatego, iż wykonywa reakcję reotropiczną. Doświadczenie z wirowaniem nie obala więc naszej teorji.

Z innych jeszcze względów doświadczenie to nie było ścisłe. Jak mówiłem, rurka włoskowata była napełniona czystą wodą, potem wlano do rurki szerszej hodowlę pantofelków, a potem wstawiono wszystko do wirówki. Otóż okazało się, że zanim jeszcze wirówkę puszczono w ruch, już stało się nieszczęście. Wymoczki bowiem powchodziły do rurki włoskowatej, przyciągnięte chemotropicznie napełniającą ją czystą wodą. Oczywiście weszły tam przodem i gdy rozpoczęto wirowanie, rurka już była pełna. Doświadczenie było bez wartości. Napełniając rurkę włoskowatą cieczą hodowli, zamiast czystą wodą, i robiąc wszystko możliwie prędko, otrzymano zupełnie inny wynik: połowa pantofelków miała zwrócony ku obwodowi koniec tylny, a połowa przedni. Doświadczenie nie daje odpowiedzi na to, która połowa ciała jest cięższa.

Nie dość tego. Z plastyliny robiono modele wymoczków i wrzucano je do lejka z wodą, którego rurka była o tyle tylko szeroka, aby modele mogły do niej wpaść. Okazało się, że w połowie przypadków modele zwróciły ku dołowi swój koniec przedni, a w połowie tylny. Ciekawe w tym wyniku jest to, że w modelach plastylinowych na pewno tylna połowa ciała była cięższa od przedniej. Model składa się przecież z jednolitej substancji, niema w nim plasty-

liny lżejszej i cięższej, a ponieważ tylna połowa ciała jest grubsza, musi ona być cięższa. Dlaczegoż w takim razie nie wszystkie modele spadały tylnym końcem naprzód? Poprostu dlatego, że spadały szybko i nie zdążały się obrócić zgodnie z położeniem swego środka ciężkości. Dokładnie to samo musi dziać się z pantofelkami. Stosuje się w podobnych doświadczeniach bardzo szybkie obroty, do 12000 na minutę, i wymoczki zostają tak szybko odrzucone, że nie zdążą się obrócić tylnym końcem ku obwodowi. Nic niema prostszego, jak zwolnić opadanie naszych modeli w lejku. Wystarczy zastąpić wodę gęstą gliceryną, w której szybkość opadania plastyliny jest bardzo nieznaczna. W tych warunkach wynik był zupełnie inny: teraz wszystkie bez wyjątku modele obróciły się podczas spadku tylnym końcem ku dołowi!

Istnieje inna jeszcze przyczyna niewyraźnego wyniku doświadczeń z modelami. Wyobraźmy sobie model, opadający w lejku w jakiemkolwiek dowolnem położeniu (fig. 50). W pewnej chwili jego tylny koniec zderzy się z ukośną ścianką lejka i zostanie wstrzymany w ruchu, gdy koniec przedni opada dalej. Co za tem idzie, model obróci się przednim końcem ku dołowi i wpadnie do rurki lejka, która nie pozwoli mu na dalszy obrót. Jakkolwiek tylna połowa modelu jest cięższa od przedniej, zderzenie ze ścianką lejka może zupełnie odwrócić ostateczny efekt opadania. Otóż rurki, w których wirowano pantofelki (fig. 49), miały właśnie kształt lejkowaty i to musiało wpłynąć na wynik doświadczenia.

Teorja nasza skutecznie zwalcza swoich wrogów,

nie można jej tego nie przyznać. Czy może jednak przytoczyć jakieś dowody pozytywne? Owszem. Wy-

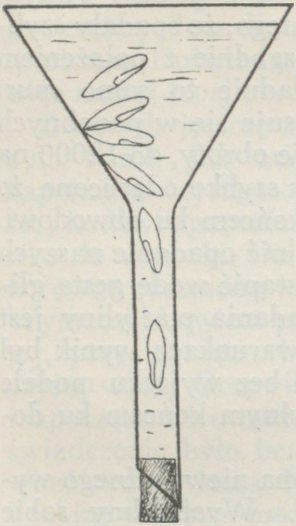


Fig. 50. Opadanie modeli plastylinowych w lejku z wodą.

moczki karmimy sproszkowanym chromianem baru, który jest substancją ciężką a jednocześnie nie rozpuszcza się w wodzie i nie może wymoczkom szkodzić. Pantofelki tworzą po godzinie kilkadziesiąt wodniczków barowych, rozproszonych równomiernie w całej endoplazmie. Wymoczki takie umieszczamy w rurce walcowatej, niezwężonej i wirujemy je, początkowo wolno, potem coraz prędzej. Jako cięższe od protoplazmy, wodniczki barowe zostają odrzucone ku temu końcowi ciała, który podczas wirowania był skierowany nazewnątrz. Po skończonem wirowaniu oglądamy pod mikroskopem, gdzie

u wymoczka leżą wodniczki i wnioskujemy stąd, jak ustawił się on w czasie wirowania. W jednem takiem doświadczeniu znaleziono np., że 3,5% wymoczków miało wodniczki skupione na przednim końcu ciała, u 4,8% wodniczki były rozproszone, a aż u 91,7% wodniczki zebrały się na końcu tylnym (fig. 51). Oznacza to, że olbrzymia większość wymoczków

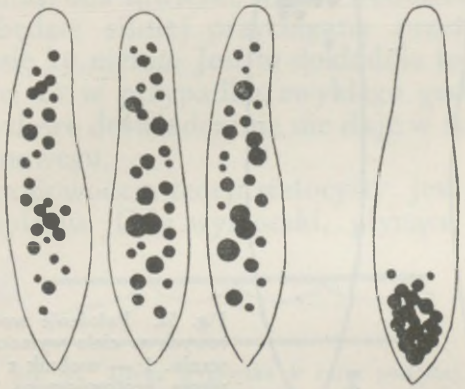


Fig. 51. Wymoczki, karmione zawiesiną chromianu baru. Przed wirowaniem wodniczki pokarmowe są rozproszone, po wirowaniu — skupione w końcu tylnym.

ustawiła się podczas wirowania końcem tylnym ku obwodowi, a zatem połowa tylna jest cięższa. Możemy posunąć się jeszcze dalej. Nakarmione chromianem baru pantofelki wirujemy, a następnie umieszczamy w pionowej rurce. Bardzo znaczna większość ich skieruje się w górę, ale pewna część popłynie w dół lub rozproszy się. Możemy zbadać, jaka jest różnica pomiędzy wymoczkami u góry i dołu rurki. Zapomocą cienkiej pipetki wyjmujemy osobno porcję

wymoczków z góry, a osobno porcję z dołu. Okazuje się przytem, że olbrzymia większość tych pierwszych ma obciążony koniec tylny, większość zaś drugich ma wodniczki barowe, skupione w przednim końcu

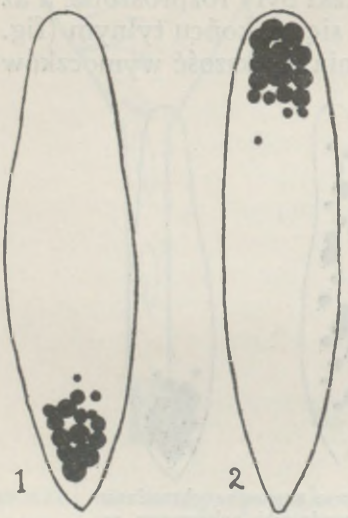


Fig. 52. Położenie wodniczków barowych w ciele wymoczka po wirowaniu. 1 — osobnik z górnego skupienia geotropicznego, 2 — wymoczek, który skierował się w dół.

ciała (fig. 52). Sztuczne obciążenie tyłu ciała wzmaga znacznie normalny ruch geotropiczny, obciążenie przodu natomiast zmienia znak geotropizmu, powoduje ruch ku dołowi. Że pewna część wymoczków zwróciła podczas wirowania koniec przedni ku obwodowi, nic w tem niema dziwnego. Stłoczone i zgniecione na wąskiej przestrzeni, wymoczki poprostu nieraz nie zdołają się obrócić i zostają unieruchomione w jakiemkolwiek przypadkowem położeniu.

Tak wzmocniona na siłach teorja przewagi tylnej połowy, nazwana *teorją mechaniczną*, zaczęła być

agresywna. Zechciała zmierzyć się z teorją statocysty. Powróćmy na chwilę do doświadczeń magnetycznych. Pod wpływem pola magnetycznego wymoczki zwracały do magnesu koniec tylny. Teorja mechaniczna powiada, że właściwie inaczej być nie mogło. Wymoczek jest napełniony wodniczkami żelazowemi, rozproszonemi w całej endoplazmie. Ponieważ tylna połowa ciała zawiera więcej endoplazmy, musi ona zawierać więcej wodniczków. Tem samem będzie silniej przyciągana przez magnes i zwróci się ku niemu. Jest to dokładnie to samo zagadnienie, co w przypadku zwykłego geotropizmu, tak pomysłowe doświadczenie nie daje w tym względzie nic nowego.

Drugim dowodem teorji statocysty jest zjawisko centrotropizmu. Gdy wymoczki, płynące po wiro-

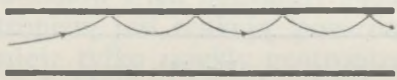


Fig. 53. Droga wymoczka w rurce poziomej, po wirowaniu.

waniu w rurce poziomej, obserwować nie z góry, jak to się zwykle robi, lecz z boku, dostrzega się coś ciekawego. Droga wymoczka nie jest prostolinjowa, lecz składa się z szeregu prawidłowych krzywych, jak na fig. 53. Coraz to pantofelek uderza o górną ściankę rurki, odbija się od niej, płynie ukośnie w dół, zawraca ku górze, znowu się odbija i t. d. Ruch jego jest najwyraźniej wypadkową dążności ku górze i oporu ścianki, która na jej wyjawienie nie pozwala. Gdyby w punkcie, w którym zwierzę zde-

rza się ze ścianką, znajdował się otwór, wymoczek popłynąłby w górę, t. zn. wykonałby zwyczajny ruch geotropiczny. Spróbujemy to zrobić. Bierzemy rurkę szklaną zalutowaną na obu końcach. Wpobliżu jednego końca posiada ona bocznicę w postaci krótkiego kawałka cieńszej rurki, otwartej na końcu. Przez ten otwór napełniamy cały przyrząd hodowlą pantofelków i wstawiamy go do wirówki. Przytem rurka boczna stoi pionowo, znajduje się ona na końcu odśrodkowym całego aparatu. Po wirowaniu wymoczki zostają odrzucone do ślepego końca rur-

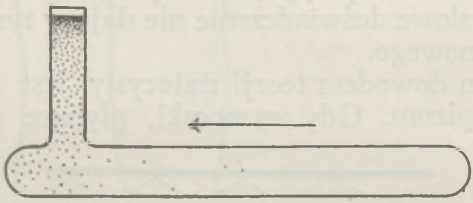


Fig. 54.

ki większej (fig. 54). Co zrobią pantofelki po zatrzymaniu wirówki? Mają przed sobą dwie drogi i na jedną z nich muszą się zdecydować. Jeśli słuszna jest teorja statocysty, statolity wymoczków podczas wirowania musiały przesunąć się w kierunku odśrodkowym, a zatem pantofelki powinny popłynąć dośrodkowo, t. zn. skierować się do przeciwległego końca rurki grubszej. Jeśli jednak teorja jest błędna, pantofelki skierują się do rurki pionowej. Doświadczenie można uważać za rodzaj plebiscytu: wymoczki same mają zdecydować, która teorja im lepiej odpowiada. Otóż wymoczki nasze zakreślają

piękny łuk i wszystkie wpływają do rurki pionowej! W rzeczywistości więc centrotropizm nie istnieje, po wirowaniu wymoczki wykonywują tylko wzmożony ruch geotropiczny, ich ruch ku końcowi dośrodkowemu jest jedynie wynikiem oporu górnej ścianki rurki, która przeszkadza geotropizmowi.

Jeśli po wirowaniu zwykłą rurkę z wymoczkami ustawiono pionowo, końcem dośrodkowym ku dołowi, wymoczki tłumnie skierowują się w dół, ale po przebyciu 1—2 cm zawracają i płyną zpowrotem w górę. Teorja mechaniczna zaciera ręce, bowiem tak właśnie być musiało. Początkowo pantofelki, podrażnione wirowaniem, popłynęły w dół, bo droga ku górze była dla nich zamknięta. Dokądże miały płynąć? Natychmiast jednak dała się poznać przewaga tylnej połowy, która powoduje odwracanie się wymoczków i ich normalny ruch geotropiczny. Centrotropizm jest reakcją pozorną, w rzeczywistości istnieje tylko zwykły geotropizm.

Teorja mechaniczna coraz bardziej gnębi swego przeciwnika. Idzie ona jeszcze dalej. Co wymoczki robią na wirówce i jak się ustawiają podczas samego wirowania, nie wiemy, bo nikt tego nie widział. Bo i jak tu obserwować coś, co się kręci? Ale badacz, który musi, potrafi i to wymyślić. Zbudowano w tym celu skomplikowany aparat. Wymoczki w cienkiej rurce umieszcza się na wirującej tarczy, w kierunku jej promienia. Tuż nad tarczą znajduje się druga taka sama tarcza (fig. 55), osadzona na tej samej osi i wirująca wraz z pierwszą. W tarczy drugiej jest bardzo wąska szczelina, równoległa do rurki i przebiegająca tuż nad nią. Jeszcze wyżej znaj-

duje się nieruchomy ekran, posiadający wąską szczelinę, dokładnie równoległą do szczeliny poprzedniej, gdy tarcza odpowiednio się ustawi. Od

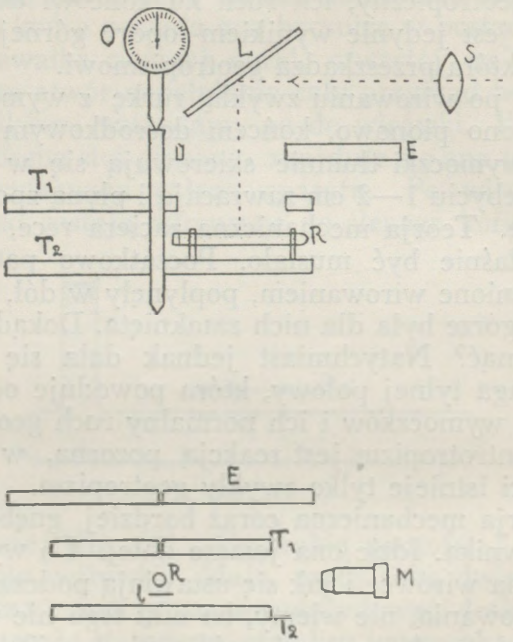


Fig. 55. Schemat przyrządu do obserwacji wymoczków podczas wirowania. U góry — przekrój w płaszczyźnie obu szczelin, u dołu —prostopadły do nich. T_1 i T_2 — tarcza górna i dolna, E — nieruchomy ekran, R — rurka z wymoczkami, L — lustro, S — soczewka skupiająca lampy, ustawionej z boku, O — licznik obrotów, M — objektyw mikroskopu.

góry rzucamy na górną szczelinę promień silnego światła. Podczas obrotów tarcz, rurka z wymoczkami zostaje oświetlona tylko w tych momentach, gdy

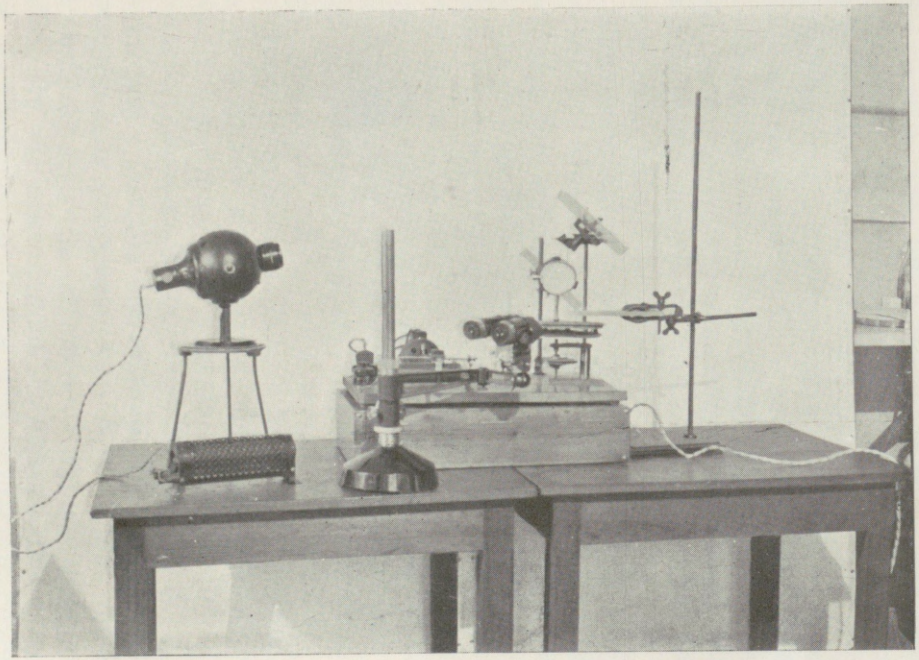


Fig. 56. Ogólny wygląd instalacji do obserwacji podczas wirowania.

obie szczeliny są do siebie równoległe, co wobec wąskości obu trwa znikomy ułamek sekundy. Za każdym obrotem rurka zostaje oświetlona jakby nagłym błyskiem, a przytem rurka w chwili jej oświetlenia zawsze znajduje się w tem samem położeniu. Nastawiając z boku mikroskop, możemy obserwować, co dzieje się w rurce podczas wirowania, gdyż krótkie błyski zlewają się z sobą i otrzymujemy wrażenie, iż rurka stoi nieruchomo.

Zapomocą takiego przyrządu stwierdzono ciekawe rzeczy. Musimy tylko pamiętać o ważnej okoliczności. Siła odśrodkowa w jednej i tej samej rurce nie jest wielkością stałą, gdyż jest ona tem większa, im dalej dany punkt wirowanej rurki znajduje się od środka obrotów. Zatem w rurce takiej mamy zawsze znaczny wzrost siły odśrodkowej od końca dośrodkowego ku obwodowi, jak to widzimy na fig. 57. Możemy wymierzyć, jaka siła odśrodkowa jest potrzebna na to, aby wymoczki ustawiły się w rurce kierunkowo. Siłę odśrodkową wyrazimy w jednostkach siły ciążenia, np. siła odśrodkowa równa 5 jest pięć razy większa od normalnej grawitacji. Obliczyć ją można ze wzoru $c = R\,(\frac{N}{300})^2$, w którym c jest siłą odśrodkową, R — promieniem wirowania w centymetrach, i N — liczbą obrotów na minutę. Jeśli siła odśrodkowa wzrasta stopniowo, aż do jej wielkości około 3,5 wymoczki nie reagują na nią zupełnie, pozostając w rozproszeniu. Powyżej tej wielkości ustawiają się one kierunkowo i płyną ku środkowi wirowania, czyli przeciwko działaniu siły odśrodkowej. Ich zdaniem, wykonywują one

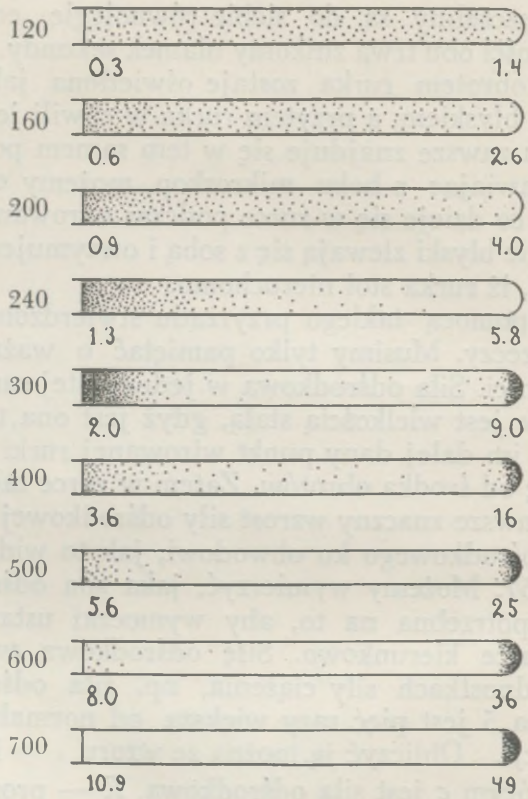


Fig. 57. Zachowanie się pantofelków podczas wirowania. Z lewej strony podane są liczby obrotów na minutę, liczby na obu końcach każdej rurki oznaczają wielkość siły odśrodkowej w jednostkach grawitacji. Początkowo, aż do 240 obr./min. wymoczki płyną dośrodkowo. Przy 300 obr./min. następuje zmiana reakcji: część osobników, która uległa działaniu siły odśrodkowej poniżej 7—8 jednostek, skierowała się dośrodkowo, pozostałe zaś zostały biernie odrzucone ku obwodowi. Im szybsze są obroty, tem więcej wymoczków zostaje odrzucone. Gdy siła odśrodkowa w rurce nigdzie nie jest niższa od 9—10 jednostek, odrzucone zostają wszystkie wymoczki

zwykły ruch geotropiczny. Wreszcie powyżej 9 wymoczki nie mogą już oprzeć się sile odśrodkowej i zostają biernie odrzucone ku obwodowi.

Otóż to są ważne fakty. Jeśli statolity wymoczka mogą wyjawić swoje działanie dopiero zaczynając od siły odśrodkowej, 3,5 razy większej od normalnej grawitacji, jak mogą one wogóle działać w zwykłem polu grawitacyjnem? Czy może istnieć urządzenie, które zaczyna funkcjonować dopiero w warunkach, w normalnem życiu zwierzęcia nigdy nieurzeczywistnionych? Być może na Saturnie pantofelki podlegają teorji statocysty, ale na naszej starej Ziemi ciążenie jest na to o wiele za słabe. Trudność ta wydaje się nieprzezwyciężona.

Dobrze, powiedzą nam, ale właściwie teorja mechaniczna musi zwalczyć dokładnie tę samą trudność. Dlaczego wymoczki w zwyczajnem naczyniu ustawiają się kierunkowo, a na wirówce potrzeba na to siły aż 3,5 razy większej? Otóż tu sięgamy samej istoty geotropizmu. Przewaga tylnej połowy ciała wymoczka jest bardzo nieznaczna i sama przez się nie może ona spowodować pionowego ustawienia się zwierzęcia. Najwyżej zdoła przechylić trochę tył ciała ku dołowi. To jednak wystarcza zwierzęciu, bowiem z kierunku przechylenia wie ono odrazu, gdzie znajduje się góra, a gdzie dół. Jeśli wymoczek płynie, przewaga tylnej połowy wogóle nie uzewnętrznia się wcale, gdyż wobec ruchów własnych zwierzęcia jest ona zbyt słaba. To też gdy pantofelek chce dowiedzieć się, gdzie się znajduje, postępuje on bardzo prosto: wstrzymuje na krótką chwilę ruch swoich rzęsek. Wówczas przewaga tyl-

nej połowy powoduje lekkie przechylenie się ciała, a z jego kierunku wymoczek odgaduje bez błędu, dokąd ma płynąć. Natychmiast uruchamia znowuż swoje rzęski, skręca ku górze lub ku dołowi, zależnie od swego życzenia, i udaje się tam, gdzie ma coś do załatwienia. Narządem równowagi wymoczka jest całe jego ciało, przechylające się pod wpływem ciążenia. A ze wskazań narządu korzysta pantofelek do swoich tajemniczych celów. Podczas wirowania wymoczek jest podrażniony i na sekundę nawet nie zawiesza ruchu rzęsek. Tem się właśnie tłumaczy, dlaczego potrzebna jest stosunkowo duża siła odśrodkowa, aby nadać jego ruchom kierunek.

Możemy to wykazać innym sposobem. Wymoczki karmimy chromianem baru, potem wirujemy silnie, a gdy ciężkie wodniczki barowe skupią się w tyle, znacznie obciążając tylną połowę pantofelka, wstawiamy wymoczki do naszego aparatu. Tym razem wystarcza znacznie mniejsza siła odśrodkowa, aby nadać ruchowi wymoczków kierunek. Wynosi ona około 1.5 jednostek zamiast 3.5. Zwiększając sztucznie różnicę ciężarów obu połów zwierzęcia, ułatwiamy mu orjentację.

Czy teraz już wytłumaczyliśmy wszystko w geotropizmie? Właściwie poznaliśmy tylko mechanizm, który pozwala pantofelkowi odróżnić górę od dołu. Ale poco mu to potrzebne? Czego chce u góry? Dlaczego nie zawsze tam płynie? Zjawisko geotropizmu przedstawiłem w formie bardzo uproszczonej. Gdy nalać hodowli do wąskiego naczynia, większość wymoczków płynie w górę. To prawda, ale nie powiedziałem, co się stanie trochę później. Po kilkunastu

minutach pantofelki rozproszą się w całem naczyniu i ze skupienia górnego nie pozostanie ani śladu. Po paru godzinach zwierzęta opadną na dno. Następnego dnia znajdziemy, że ogromna większość wymocz-

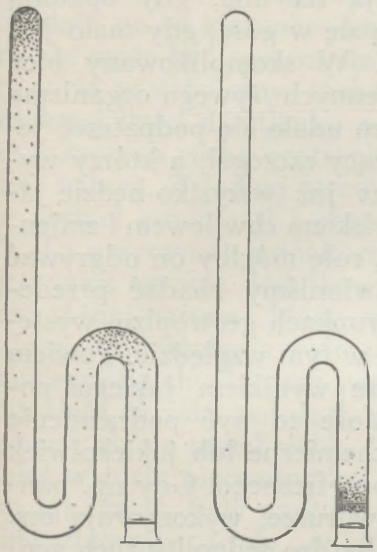


Fig. 58. Geotropizm w rurce wygiętej, po 10 min. i po 5 godzinach. Początkowo pantofelki skierowują się w górę, tworząc w rurce dwa skupienia. W miarę wyczerpywania się tlenu w cieczy, zbierają się wszystkie koło otworu, tworząc tam pierścień tigmotropiczny. Pierwsza reakcja jest geotropizmem, druga — tlenotropizmem.

ków znowu jest na górze, ale tym razem tworzą one piękny pierścień tigmotropiczny na ściance naczynia, tuż pod powierzchnią cieczy. Czy wobec tego tylna połowa ciała wciąż zmienia swój ciężar, raz jest cięższa od przedniej, a raz lżejsza? To być nie może. Przewaga tylnej połowy daje zwierzęciu tylko subtelny środek rozpoznawczy, ale może ono zrobić z niego najrozmaitszy użytek. Mamy przed sobą szereg ruchów wymoczka, wśród których tylko jeden jedyny zasługuje na miano geotropizmu: jest

to owczy pęd ku górze, występujący w pewnych warunkach i zawsze krótkotrwały. W normalnem naczyniu hodowlanem geotropizmu niema wcale. Wymoczki podążają w niem bądź za bakterjami, bądź za tlenem, czasem opadają na dno, gdy opadają bakterje, czasem wznoszą się w górę, gdy mało jest tlenu w cieczy hodowli. W skomplikowany bieg spraw i interesów codziennych żywego organizmu wdaliśmy się my, którym udało się podpatrzeć jeden drobny i mało znaczący szczegół, a którzy wyobraziliśmy sobie, że teraz już wszystko będzie jasne. Geotropizm jest zjawiskiem chwilowem i zmiennem. Chcąc poznać, jaką rolę mógłby on odgrywać w życiu pantofelka, powinniśmy zbadać przedewszystkiem, w jakich warunkach geotropizm występuje. Mamy pewne dane w tym względzie. Powiem odrazu, że jest on zawsze wynikiem jakiegoś podrażnienia wymoczka. Może to być podrażnienie mechaniczne, może być chemiczne lub jakiekolwiek inne, nic w tem niema specyficznego. Gdy np. pantofelki silnie wstrząsać w rurce, wykonywują one powolny wprawdzie, ale bardzo jednolity ruch geotropiczny. Gdy przez hodowlę będziemy przepuszczali pęcherzyki powietrza, wystąpi energiczna reakcja geotropiczna, ale to samo się stanie, jeśli powietrze zastąpimy przez czysty wodór lub azot. Mówiąc nawiasem, fakt ten stanowi decydujący argument przeciwko teorji statocysty, opartej na ściśle kierunkowem działaniu bodźca. Czy przyczyną ruchu jest grawitacja, czy siła odśrodkowa, czy działanie pola magnetycznego, zawsze statolity oddziaływują na protoplazmę w pewnym kierunku i wy-

moczek reaguje w kierunku przeciwnym. Gdy natomiast przepuszczamy przez hodowlę pantofelków pęcherzyki powietrza lub azotu, wymoczki są rzucane i miotane we wszystkich dających się pomyśleć kierunkach przestrzennych. Nie mniej odpowiadają na to kierunkowym ruchem ku górze, który nie może być sprawą statolitów. Bardzo jednolity ruch geotropiczny zachodzi także w obecności większej ilości dwutlenku węgla. Widzimy z tego, że przyczyna ruchu geotropicznego musi być dwojakiej natury. Z jednej strony mamy stałą przyczynę w postaci grawitacji i przewagi tylnej połowy ciała. Ta przyczyna jednak nie wystarcza, potrzebny jest jakiś czynnik dodatkowy, który może być bardzo różnej natury i który sprowadza się zwykle do silnego podrażnienia zwierzęcia. Wtedy wymoczek zawiesza na chwilę ruch swoich rzęsek, z przechylenia ciała określa położenie góry i dołu, zawraca ku górze i płynie przed siebie. Jakie znaczenie może to mieć w życiu pierwotniaka, narazie wolno nam tylko zgadywać. Gdy pantofelek zapuści się gdzieś na dno zbiornika wody, w którym zamieszkuje, gdy znajdzie się nagle w środowisku gnijących ciał organicznych, wydzielających różne szkodliwe dla jego życia substancje, może odczuwa on podrażnienie, które powoduje, że zwierzę odnajduje najkrótszą drogę ku górze i ucieka od źródła niebezpieczeństwa. Taki pogląd wydaje się najprawdopodobniejszy. Czy jest prawdziwy, pokażą przyszłe eksperymenty.

Ciężki kawałek prozy miał czytelnik do strawienia! A przecież nie powiedziałem o geotropizmie i dziesiątej części tego, co możnaby powiedzieć. Opo-

wiedziane tu fakty i teorje zostały zdobyte pracą kilkudziesięciu badaczy w ciągu około 50 lat. Nic więc dziwnego, że ich zestawienie na kilkunastu stronicach wypadło trochę przyciężko.

ROZDZIAŁ VI

POBIERANIE I TRAWIENIE POKARMU

W ROZDZIAŁACH poprzednich była mowa o tem, do jak urozmaiconych czynności zdolne są rzęski pantofelka. Wszelkie ruchy jego ciała, prawidłowe czy nieprawidłowe, wszystkie tropizmy wraz z całą ich skomplikowaną zależnością od warunków zewnętrznych, wogóle wszystko to, co w zachowaniu się naszego zwierzątka jest najbardziej efektowne, lub poprostu rzucające się w oczy, pantofelek rzęskom ma do zawdzięczenia. One to są jego władzą wykonawczą. A jednak to bynajmniej nie wszystko. Rzęski potrafią jeszcze coś innego i bardzo ważnego: dzięki ich niestrudzonej działalności pantofelek pobiera pokarm. Dotąd obracaliśmy się w wysokich sferach, staraliśmy się odgadnąć intymne drgnienia duszy pantofelkowej. W celu zachowania równowagi przyjrzyjmy się także prozie jego życia. Podobno lepszy jest stół, zastawiony smakołykami, niż mało apetyczne zapachy kuchenne. Osobiście jestem innego zdania. Kuchnia jest w gruncie rzeczy terenem bardzo ciekawym. Smakowite przekąski pochłania się w jednej chwili, niema w tej czynności pierwiastków specjalnie uduchowionych. Ale przygotowanie tych przekąsek w kuchni wymaga wiele pracy,

umiejętności i talentu, to działalność twórcza, wcale niepozbawiona swoistej poezji. Nie obawiajmy się zajrzeć do kuchni pantofelka. Niejedno w niej może nas zainteresować.

Aby obserwować proces pobierania pokarmu, umieścimy na szkiełku przedmiotowem dużą kroplę wody z pantofelkami, włożymy do niej kilka włókienek czystej waty i nakryjemy ją szkiełkiem przykrywkowem. Wata ma dwojakie znaczenie. Po pierwsze oprze się na niej szkiełko przykrywkowe i nie zgniecie nam wymoczków. Po drugie zaś wata ułatwia bardzo unieruchomienie zwierzątek. W zwykłym preparacie pantofelki pływają jak szalone i trudno jest coś na nich zobaczyć, gdy jednak znajdują się w nim włókienka waty, po kilku lub kilkunastu minutach występuje zjawisko tigmotropizmu. Wtedy wymoczki tworzą kilka względnie nieruchomych skupień w kątach pomiędzy włókienkami i można im się przyjrzeć. Taki osiadły pantofelek nie zawiesza ruchu wszystkich swoich rzęsek, choć teraz nie służą mu one do poruszania ciała. Rzęski całego wgłębienia peristomalnego wprawiają otaczającą wodę w ruch wirowy, powodują w niej powstanie prądów, którym musimy przyjrzeć się bliżej. W tym celu dodamy do wody z pantofelkami trochę jakiejś nierozpuszczalnej w wodzie substancji, roztartej na możliwie delikatny proszek, np. karminu, indiga lub sepji. Cząstki proszku, porwane prądem, uwydatnią ruchy wody.

Zauważymy odrazu, że cząstki w najbliższem otoczeniu zwierzątka zakreślają spirale, niekiedy robią kilka mniejszych lub większych całkowitych

obrotów, a wkońcu wpadają niezmiennie do lejka ustnego zwierzęcia. Dokoła pantofelka wytwarza się swojego rodzaju „pole sił“, które porywa wszelkie znajdujące się wpobliżu lekkie cząstki w orbitę

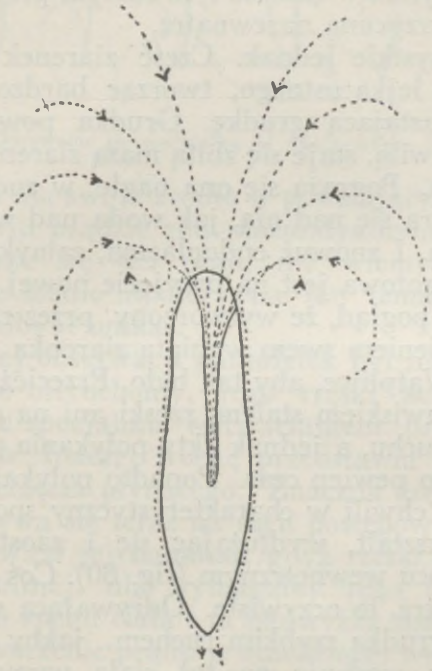


Fig. 59. Prądy wody, wzbudzone ruchem rzęsek pantofelka.

swego działania (fig. 59). Centralnym punktem tego pola, do którego wszystko zmierza, jest dno lejka ustnego. Pantofelek panuje nad swem otoczeniem, wszystko, co się w niem znajduje, podlega

jego kontroli, przechodzi przez jego przełyk. Jak to dokładnie widać pod mikroskopem, najgłębszy punkt wgłębienia peristomalnego jest wciąż bombardowany przez gęsty rój drobniutkich pocisków, których olbrzymia większość tym samym prądem wody zostaje wyrzucona nazewnątrz.

Nie wszystkie jednak. Część ziarenek przykleja się do dna lejka ustnego, tworząc bardzo wyraźną, wciąż wzrastającą grudkę. Grudka powiększa się z każdą chwilą, staje się zbitą masą ziarenek, wreszcie... znika. Pogrąża się ona nagle w endoplazmie, która zwiera się nad nią, jak woda nad wrzuconym kamieniem. I znowuż endoplazma, zamykająca dno przełyku, gotowa jest na przyjęcie nowej porcji.

Istnieje pogląd, że wytworzony przez rzęski prąd wody ciśnieniem swem wgniata ziarenka do endoplazmy. Wątpliwe, aby tak było. Przecież prąd wody jest zjawiskiem stałem, rzęski ani na chwilę nie ustają w ruchu, a jednak akty połykania odbywają się tylko co pewien czas. Ponadto połykana grudka w pewnej chwili w charakterystyczny sposób zmienia swój kształt, wydłużając się i zaostrzając na swoim końcu wewnętrznym (fig. 60). Coś ją ciągnie od wewnątrz, to oczywiste. Odrywająca się od dna przełyku grudka szybkim ruchem, jakby przez coś popchnięta, wędruje na tył ciała wymoczka. Tu grudka zatrzymuje się, przybiera kształt kulisty i naraz... składamy ukłon w jej stronę! Poznajemy w niej wszak naszego starego znajomego — *wodniczek pokarmowy*. Witamy go po długiem niewidzeniu. Jego ruch ku tyłowi zdradza nam coś, bowiem w chwili połykania wraz z utworzonym wo-

dniczkiem wędrują do tyłu ziarenka endoplazmy. Pozwala to przypuszczać, iż szybkie przesuwanie się

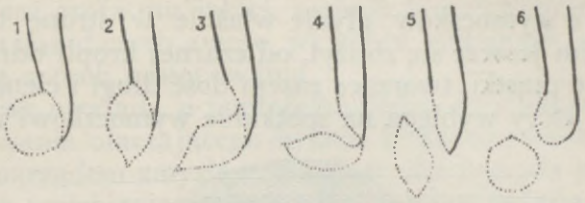


Fig. 60. Odrywanie się wodniczka od dna przełyku (Nirenstein).

wodniczka ma swoje źródło w powstającym w określonej chwili prądzie endoplazmatycznym. Skąd jednak bierze się ten prąd, nie wiemy. Istnieją wprawdzie mętne hipotezy na ten temat, tych jednak wolałbym unikać.

W naszej obserwacji pantofelek był nieruchomy, lub prawie nieruchomy, jego rzęski peristomalne były zajęte specjalnie wytwarzaniem prądów pokarmowych. Inaczej trochę przedstawia się zjawisko u zwierzęcia płynącego. Znaczna część energji rzęsek zużywa się teraz na ruch postępowy. Istnieje jednak pewien jej nadmiar, gdyż rzęski peristomu uderzają silniej, niż wymagałby tego ich udział w ogólnym ruchu ciała i ta nadwyżka zostaje zużyta na wytworzenie prądu w otaczającej wodzie. Płynąc przed siebie, pantofelek wytwarza jednocześnie prąd wody, płynący mu na spotkanie i wpadający do jego przełyku.

Jest to bardzo ważny szczegół. Niech nasze wymoczki znajdują się pomiędzy dwoma szkiełkami, oddzielonemi od siebie rureczkami szklanemi, jak

w doświadczeniu z chemotropizmem. Pomiędzy szkiełka wpuścimy kroplę zwykłego czarnego tuszu i będziemy obserwowali uważnie, co się stanie. Jeden z wymoczków płynie właśnie w stronę tuszu. Zanim jeszcze się zbliżył, od czarnej kropli odrywają się cząstki, tworzące razem dość długi i cienki język, który wybiega na spotkanie wymoczkowi i któ-

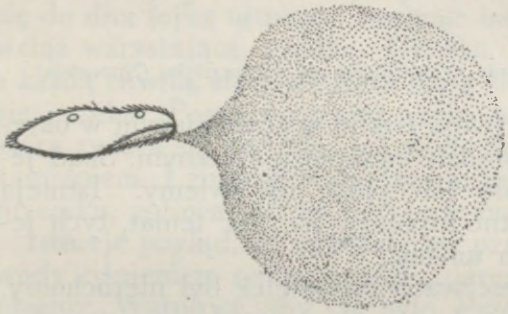


Fig. 61. Pantofelek, zbliżający się do kropli tuszu. Uwidoczniony język tuszu, wpadający do przełyku, tworzy się tylko w przypadku wolnego ruchu postępowego wymoczka (Jennings).

rego ostrze wpada do przełyku zwierzęcia (fig. 61). Weźmy zamiast tuszu kroplę jakiejś substancji, szkodliwej dla pantofelka, np. amonjaku. Dzięki prądom, wytworzonym przez płynącego wymoczka, zwierzątko odczuje obecność amonjaku już zdaleka, pojedyńcze cząstki substancji drażniącej zawczasu wpadną do przełyku, zawiadamiając jego posiadacza o grożącem niebezpieczeństwie. Przytem cienki strumień amonjaku, przepływający przez środowisko wodne, ulega po drodze znacznemu rozcieńczeniu i dociera do pantofelka w postaci osłabionej, nieszkodliwej. Ponieważ płynący pantofelek obraca się dokoła swej osi podłużnej, skierowuje on peristom w różne strony i otrzymuje próbki znajdującej

się przed nim wody z różnych punktów. Jest więc stale dokładnie powiadomiony o tem, co się przed nim dzieje, czy płynie on ku uciechom doczesnym, czy też grożą mu jakieś niemiłe konsekwencje. Na tych zaś danych swego wywiadu wymoczek opiera swój sposób postępowania.

Tak wygląda u pantofelka jeden ze środków poznawania otaczającego świata. U nas nazwalibyśmy go narządem zmysłów. Zamiast oka posiada pantofelek wgłębienie peristomalne, zamiast światła wpada doń wytworzony przez rzęski wir wodny. Tkwi w tem jednak głębsze zagadnienie. Przypuśćmy, że idę chodnikiem ulicznym i widzę przed sobą kałużę. Wtedy skręcę np. na prawo i ominę kałużę. Każdy z nas to robi i rzadko kto się nad tem zastanawia. Rzecz jest godna jednak zastanowienia. Dlaczego właściwie skręciłem? Dlaczego nie wszedłem w wodę? Ze strony kałuży dociera do mnie tylko światło, odbite od jej powierzchni i wpadające do mego oka. Skręciłem na prawo, gdyż mięśnie mego tułowia i moich nóg zaczęły pracować trochę inaczej, niż przedtem. Jakiż jest związek pomiędzy światłem, a mięśniami? Związku bezpośredniego być nie może, bowiem światło wcale nie dociera do moich mięśni, a gdyby nawet dotarło, w niczem nie zmieniłoby to ich pracy. Trzeba dopiero pośrednictwa moich oczu, moich nerwów, mego mózgu, mego zawiłego aparatu przełączeń, trzeba pośrednictwa całego zespołu skojarzeń, aby wytłumaczyć to moje pozornie tak proste postępowanie. Nie inaczej jest z pantofelkiem. Docierają do niego tylko cząstki amonjaku, oderwane od ogólnej masy kropli i wpadające do

jego lejka ustnego. Pantofelek skręca na prawo, gdyż rzęski lewej połowy ciała zaczęły przeważać nad rzęskami połowy prawej i spowodowały zwrot. Jakiż jest związek pomiędzy amonjakiem, a ruchem rzęsek? Niema i tu związków bezpośrednich. Wszak ruch rzęsek jest uzgodniony i skoordynowany przez uporządkowane wpływy wewnętrzne, jakakolwiek przyczyna zewnętrzna mogłaby tylko poplątać i pogmatwać ich działanie. Widzimy naocznie, że cząstki tuszu czy amonjaku docierają tylko do rzęsek peristomalnych. W przypadku oddziałania bezpośredniego one to powinnyby odpowiedzieć na podrażnienie wzmożonym ruchem. Ale zwiększenie energji ruchu rzęsek peristomalnych może spowodować jedynie większe lub mniejsze odchylenie przedniego końca ciała, które dzięki obrotom zostanie natychmiast wyrównane. W tych warunkach wymoczek wcale nie mógłby zmienić kierunku swego ruchu postępowego. Nie, zmiana w ruchu rzęsek zależy nie od wpływów bezpośrednich, lecz została spowodowana drogą okólną: przez podrażnienie dna peristomu. Wiemy skądinąd, że właśnie dno peristomu jest szczególnie wrażliwe na wszelkiego rodzaju bodźce. Gdy podrażnia się różne punkty ciała wymoczka zapomocą cieniutkiego włoska, reaguje on najżywiej na dotknięcie peristomu. Niedarmo tam właśnie wykryto ośrodek neuromotoryczny. Wobec tego zrozumiałe jest, jeśli wymoczek usiłuje skierować wszelkie podrażnienie, które pragnąłby rozpoznać, przedewszystkiem na peristom. Podobnież oko ludzkie zawsze usiłuje ustawić się tak, aby obraz interesującego nas przedmiotu padł na

t. zw. plamkę żółtą, która jest najwrażliwszem miejscem siatkówki. Podrażnienie peristomu zostaje przekazane rzęskom, prawdopodobnie za pośrednictwem włókienek ektoplazmatycznych, rzęski zaś reagują na to zmienionym ruchem, bądź kierując wymoczka do źródła podrażnienia, jeśli przychodzi ono od smakowitych bakteryj, bądź powodując ucieczkę, gdy chodzi o czynniki szkodliwe.

Pantofelek nie mógłby żyć na świecie, gdyby nie odróżniał rzeczy pożytecznych od szkodliwych i gdyby nie wysnuwał stąd praktycznych konsekwencyj. Zważmy, że w naszem doświadczeniu dosięga wymoczka amonjak bardzo rozcieńczony. Ucieczka zwierzęcia nastąpiła przedtem, nim czynnik szkodliwy zdążył wywrzeć swój wpływ niszczący. Słaby amonjak nie jest dla pantofelka niebezpieczeństwem. Ale jest on sygnałem bliskiego niebezpieczeństwa. Groźne jest to, co nastąpi za chwilę, nie to, co się dzieje obecnie. I właśnie tę przyszłość umie przewidywać nasze sympatyczne zwierzątko. Nie jest to u niego zapewne wynikiem doświadczenia indywidualnego. Człowiek, który nigdy w życiu nie widział kałuży i nie wie, że można w niej przemoczyć nogi, niechybnie wmaszerowałby w sam jej środek. Z pantofelkiem jest inaczej, umie on to, czego człowiek musi dopiero się uczyć. Czy nie byłoby to piękne, panie czytelniku, gdyby każdy z nas od urodzenia i bez wszelkiej nauki umiał obchodzić się z logarytmami, mówił biegle po łacinie, potrafił grać na fortepianie i nigdy nie podstawiał nogi swoim bliźnim, którzy nic mu złego nie zrobili? Nieosiągalne marzenia! Chełpimy się naszą zdolno-

ścią nabywania wiedzy i umiejętności, a zapominamy, że jeszcze wyższy jest typ umysłowości, która niczego się nie uczy, a wszystko umie. Człowieka trzeba wytresować, wpoić mu, że takie a takie zjawisko, samo w sobie obojętne, jest stale związane z czemś pożytecznem lub szkodliwem. Wtedy dopiero rzeczy drugorzędne staną się dla niego sygnałem rzeczy ważnych. Całe nasze życie oparte jest na ciągłem nabywaniu takich umiejętności. Pantofelek przynosi to wszystko z sobą na świat. Kwas jest dla niego sygnałem pokarmu, przechylenie ciała — sygnałem góry, amonjak — sygnałem niebezpieczeństwa. Wiedza pantofelka nie wypełniłaby dziesięciu tomów słownika encyklopedycznego, w porównaniu z naszą jest ona uboga. Ale zato dobór jego wiadomości jest celowy, ogarnia wszystko, co mu może być w życiu potrzebne.

Powróćmy jednak do naszej kuchni. Pantofelek połyka swój pokarm zawsze ze znaczną ilością wody, w której pływają cząstki pokarmowe. W warunkach zwykłych będą to bakterje, w naszem doświadczeniu — cząstki jakiegokolwiek ciała, domieszanego do wody. Interesujące jest zbadać, jak często tworzy się taki wodniczek. Zdawałoby się, że powstaje on wówczas, gdy rzęski peristomalne napędzą do przełyku dostateczną liczbę ziarenek, gdy utworzy się grudka dość duża na to, aby warto było ją połknąć. W tym przypadku liczba wodniczków pokarmowych, powstająca w ciągu określonego czasu, powinna zależeć bezpośrednio od gęstości zawiesiny. Im więcej jest w cieczy ziarenek, tem prędzej rzęski uzbierają odpowiednią ich liczbę i tem

wcześniej grudka zostanie połknięta. Ale pantofelek wymaga ostrożności we wnioskowaniu. Nie lubi on dróg prostych, najchętniej wałęsa się po bezdrożach i dopiero gdy się wykreśli dokładny plan tych bezdroży, widzi się, że w istocie zwierzątko ma swoją logikę i swoją konsekwencję. Nietrudno jest sprawdzić słuszność naszego przypuszczenia. Trochę indiga rozetrzemy z wodą na delikatny proszek, rozcieńczymy otrzymaną zawiesinę 2, 4, 8, 16 i t. d. razy i umieścimy w różnych rozcieńczeniach barwnika kroplę wody z pantofelkami. Po upływie godziny policzymy u kilkudziesięciu osobników każdej porcji wodniczki pokarmowe. Jedno takie doświadczenie wykazało następującą zależność:

Rozcieńczenie:	2	4	8	16	32	64	128	256	512
Wodniczków:	26	26	25	24	23	22	19	18	13

Przyjrzyjmy się tym liczbom. Niema mowy, aby istniała jakaś proporcjonalność pomiędzy stopniem



2 *8* *32* *128* *512*

Fig. 62. Wygląd wodniczka pokarmowego, utworzonego w zawiesinie indiga, rozcieńczonej wodą od 2 do 512 razy.

rozcieńczenia barwnika, a liczbą utworzonych wodniczków. Gęstość zawiesiny jest w ostatniej próbce 256 razy mniejsza, niż w pierwszej, a liczba wodniczków zmalała zaledwie dwukrotnie. Natomiast, jak to widzimy na fig. 62, zupełnie odmienny jest wygląd wodniczków w poszczególnych próbkach. W dwukrotnem rozcieńczeniu barwnika wodniczek

jest szczelnie wypełniony ziarenkami i zupełnie nieprzezroczysty, gdy w rozcieńczeniu 512 pływa w nim zaledwie parę ziarenek. Im gęstsza jest zawiesina, tem więcej ziarenek zawiera wodniczek. Ale liczba wodniczków od tego prawie nie zależy. Zatem wodniczek wcale nie powstaje w chwili, gdy rzęski uzbierają dostateczną liczbę ziarenek, jak to niesłusznie przypuszczaliśmy. Co pewien czas odbywają się akty połykania, wszystko jedno, czy ziarenek w środowisku jest dużo, czy mało, a w ciągu przerwy pomiędzy dwoma połykaniami rzęski zdążają napędzić tem więcej ziarenek, im więcej ich jest w środowisku. Co innego jest działalność rzęsek, gromadzących cząstki pokarmowe, a co innego połykanie, które odbywa się niezależnie od tego. Proces pobierania pokarmu jest bardziej skomplikowany, niż myśleliśmy, składa się z dwóch różnych i niezależnych od siebie procesów.

Cokolwiek bada się na świecie, zawsze jedno zagadnienie rodzi drugie. Rozstrzygniemy jedną sprawę, a już musimy zamyślić się nad czemś nowem, czego istnienia nie podejrzewaliśmy. Najlepiej będzie, sądzę, gdy podążymy za pantofelkiem, pod jego światłem kierownictwem udamy się tam, dokąd mu się podoba nas zaprowadzić. Z powyższego faktu wyłania się dalsze przypuszczenie, że i w czystej wodzie, pozbawionej jakichkolwiek ziarenek, wymoczek będzie tworzył wodniczki „pokarmowe". Nie widzimy ich tylko z powodu ich przezroczystości. Zagadnienie to można rozstrzygnąć, choć drogą dość zawiłą. Wymoczki umieścimy w wodnym roztworze jakiegoś nieszkodliwego barwnika, np.

fuksyny lub błękitu metylowego. Po upływie godziny pantofelki utworzą po kilkanaście doskonale widocznych, zabarwionych i pustych wodniczków, czyli połykają one także ciecz, pozbawioną ziarenek. Ciecz ta nie jest jednak wodą, jest ona roztworem nieznanej wymoczkowi substancji i nie jest wcale wykluczone, iż w czystej wodzie zwierzę zachowa się inaczej. Przygotowujemy więc zawiesinę indiga (I) w czystej wodzie (W), oraz roztwór barwnika — błękitu metylowego (M) — także w czystej wodzie. Teraz zrobimy trzy kombinacje: 1) zawiesinę indiga rozcieńczymy wodą (I + W), 2) zawiesinę indiga rozcieńczymy dokładnie w tym samym stopniu, ale roztworem barwnika (I + M), 3) roztwór barwnika rozcieńczymy wodą, aby ilość barwnika rozpuszczonego była dokładnie taka sama, co w porcji poprzedniej (M + W). Do tych trzech środowisk wpuścimy jednakową liczbę pantofelków i po upływie godziny policzymy wodniczki. Wynik otrzymano następujący:

Porcja:	1	2	3
Środowisko:	I + W	I + M	M + W
Wodniczków:	23	23	18

Będziemy rozumowali. Porcje 1) i 2) zawierały tę samą ilość tego samego indiga i różniły się tylko tem, że jedna z nich była rozcieńczona czystą wodą, druga zaś — roztworem barwnika. Ponieważ liczba utworzonych wodniczków w obu była taka sama (23), wnosić należy, iż roztwór barwnika jest dla wymoczków obojętny, nie wpływa na akty połykania. Skoro zaś w samym roztworze barwnika, czyli

w porcji 3), wymoczki utworzyły 18 wodniczków, tę samą liczbę powinny one utworzyć także i w czystej wodzie. Tym razem, zupełnie wyjątkowo, udało się nam zgadnąć: istotnie, w czystej wodzie pantofelki muszą tworzyć wodniczki, nawet w nieobecności jakichkolwiek ziarenek. Z danych naszych wynika także, że w każdym razie obecność ziarenek wpływa trochę na częstość aktów połykania, jak to widzimy z porównania porcyj 2) i 3).

Niestrudzony wymoczek prowadzi nas dalej! Zaledwie coś wyjaśniliśmy, a już trzeba wyjaśniać coś nowego. Nawet w bardzo rozcieńczonych roztworach barwników pantofelki tworzą wodniczki silnie zabarwione, a nieraz się zdarza, iż roztwór barwnika w wodniczku jest skoncentrowany, nawet może się strącać. Obliczono, iż stężenie barwnika w wodniczku może być 25000 razy większe, niż w środowisku zewnętrznem! To jest coś zupełnie niezwykłego. Jakim cudem wymoczek potrafi wyłowić cząstki z roztworu, nie możemy pojąć. To nie jest przecież ciało nierozpuszczalne w wodzie, które tylko sproszkowaliśmy i którego cząstki wyraźnie widzimy pod mikroskopem. To prawdziwy roztwór wodny, którego cząsteczki, niewidzialne nawet przez najsilniejszy mikroskop świata, są obdarzone tak szybkim ruchem, że wydaje się niepodobieństwem, aby wymoczek zdołał sobie z niemi poradzić. Nie mniej radzi sobie doskonale, to nie ulega żadnej wątpliwości. Możemy najwyżej powołać się tu na pewną nader odległą analogję: na znane doświadczenie z jodem i chloroformem. Do próbówki z wodą wlewa się kroplę roztworu jodu, aby mieszanina miała słabo

żółtą barwę. Następnie dodaje się dużą kroplę chloroformu i wstrząsa się silnie próbówkę. Gdy ją teraz postawić, cięższy od wody chloroform, rozbity przez wstrząsanie na drobne kulki, opadnie stopniowo na dno. Będzie on miał intensywnie fioletową barwę, gdy woda nad nim będzie prawie przezroczysta. Zjawisko tłumaczy się tem, że jod o wiele lepiej rozpuszcza się w chloroformie, niż w wodzie, dzięki czemu chloroform wyłapie z wody prawie cały jod. W każdym razie stężenie jodu w kropli chloroformu może być setki razy większe od jego pierwotnego stężenia w wodzie. Być może podobne zjawiska grają rolę w tem zagadkowem zgęszczaniu się barwnika w wodniczkach pokarmowych. Zapewne przykład nasz jest bardzo prosty, zbyt prosty na to, aby wytłumaczyć kuchenne sekrety wymoczka. Jest on raczej porównaniem, niż tłumaczeniem. Do sekretu wymoczka można też zbliżyć się z zupełnie innej strony. Jak zobaczymy trochę dalej, pantofelek niekoniecznie musi odżywiać się bakterjami. Potrafi on w pewnym stopniu zużywać także substancje, rozpuszczone w wodzie, np. cukry lub aminokwasy. W tym razie umiejętność wyłapywania z wody minimalnych ilości rozpuszczonych w niej ciał pokarmowych może mieć dla zwierzęcia pierwszorzędne znaczenie.

Zwrócimy się obecnie do dalszych losów utworzonego wodniczka pokarmowego. Jak powiedziano, wodniczek szybko skierowuje się od dna przełyku do tylnego końca ciała wymoczka. Po paru minutach spoczynku wodniczek zaczyna powoli przesuwać się naprzód, w okolice tylnego brzegu jądra większego,

gdzie przez czas pewien znowu pozostaje bez ruchu. Potem rozpoczyna prawidłowy obieg, sunąc wzdłuż boku ciała, zawraca w jego zaokrąglonym przednim końcu, wreszcie powraca znowuż na tył, wciąż po-

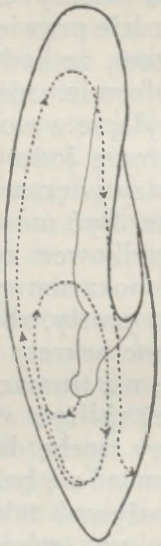


Fig. 63. Droga wodniczka pokarmowego w endoplazmie (Fortner, zmienione).

suwając się równolegle do powierzchni (fig. 63). Jest to t. zw. *obieg duży*. Po jego zakończeniu, wodniczek ponownie skierowuje się naprzód, ale tym razem nie dociera do przedniego końca pantofelka, lecz okrąża jądro większe i znowu powraca na tył, kończąc w ten sposób swój *obieg mały*. Kolejność obu obiegów nie jest zawsze niezmienna. Czasem obieg mały poprzedza duży, czasem zaś powtarza się kilka razy z rzę-

du. W każdym razie zawsze lub prawie zawsze obserwuje się wyraźne dwa obiegi i zawsze skomplikowana wędrówka wodniczka pokarmowego, zwana *cyklozą*, kończy się wpobliżu tylnego końca ciała. Czas trwania wędrówki wynosi 2—3 godziny, co zależy w znacznym stopniu od zawartości wodniczka. Jeśli wodniczek napełniony jest bakterjami, wędrówka trwa dłużej, jeśli zaś w wodniczku znajduje się jakieś ciało, dla wymoczka bezużyteczne, np. karmin, wędrówka ulega znacznemu skróceniu.

W ciągu cyklozy zawartość wodniczka ulega rozpuszczeniu, o ile składała się oczywiście z cząstek pokarmowych, i pozostają w nim tylko nieliczne nierozpuszczalne resztki. W tym stanie wodniczek zbliża się do powierzchni ciała, następuje nagły skurcz protoplazmy i cały wodniczek zostaje wyrzucony nazewnątrz. Nie należy sądzić, że wodniczek jest tylko kropelką cieczy, pływającą w ciekłej endoplazmie. Już wkrótce po swojem utworzeniu się, wodniczek otacza się cieniutką błonką, wyprodukowaną przez przylegającą endoplazmę, i błonka ta nadaje mu pewną indywidualność. Dzięki niej dwa wodniczki pokarmowe, stykające się z sobą podczas cyklozy, nie zlewają się w jedną kroplę. Jeśli rozgnieść pantofelka, zawartość jego ciała wypływa nazewnątrz, a wodniczki pokarmowe, które znalazły się nagle w środowisku wodnem, pozostają indywidualnemi pęcherzykami, zachowującemi własną błonkę. Obecność błonki sprawia, że bardzo często wodniczek zostaje wydalony z ciała, jako jedna całość. Zapamiętajmy sobie ten fakt istnienia błonki. Niebawem zrobimy zeń użytek.

Wydalanie niestrawionych resztek pożywienia, zwane *defekacją*, odbywa się zawsze w tym samym punkcie powierzchni ciała, wpobliżu jego tylnego końca. Po wydaleniu wodniczka, ektoplazma zwiera się tak szczelnie, że trudno jest wprost odnaleźć, w którem miejscu odbyła się defekacja. Stałe położenie tego punktu dowodzi niewątpliwie, że czemś musi on różnić się od punktów sąsiednich. Mikroskop nie daje nam jednak w tym względzie żadnych wyraźnych wskazówek. Jedynie włókienka ektoplazmatyczne w tem miejscu są ułożone trochę inaczej.

W celu wyjaśnienia sobie istoty cyklozy, porównajmy ją z procesem krążenia pokarmu u człowieka. Człowiek posiada zróżnicowany przewód pokarmowy: ma on otwór ustny, przez który pokarm zostaje pobrany, żołądek, w którym odbywają się początki trawienia, jelita, w których pokarm krąży, gdzie ulega dalszemu rozpuszczeniu i skąd przedostaje się ostatecznie do wszystkich części ciała. Że tu droga pokarmu jest określona i stała, nie dziwi nas wcale, bowiem przewód pokarmowy nadaje jej kierunek, jak szyny nadają kierunek tramwajowi. Cóż jednak powiemy o tramwaju, który obchodzi się bez szyn i bez kierowcy, a mimo to przychodzi gdzie trzeba? Pantofelek pobiera pokarm w określonem miejscu ciała, choć niema tam otworu, a endoplazma zwiera się nad każdym połkniętym wodniczkiem. Wydala on niestrawione resztki w określonym punkcie, jakkolwiek punkt ten nie różni się z wyglądu od punktów sąsiednich. Wodniczek zakreśla w endoplazmie określoną i stałą drogę, a jednak

niema tu żadnego jelita, jest tylko ciekła endoplazma. Cóż kieruje ruchami wodniczka? Próbowano wytłumaczyć cyklozę istnieniem w endoplazmie prądu, stale obiegającego dokoła całego ciała. Ale mikroskop nie ukazuje nam żadnych stałych prądów: ziarenka endoplazmy mogą pozostawać w spoczynku, a pomiędzy niemi może miarowo przesuwać się wodniczek pokarmowy. Ten sam wodniczek wykonywa dwa obiegi: duży i mały. Prądy endoplazmatyczne mogłyby być odpowiedzialne najwyżej za jeden z nich, nigdy za oba. Wodniczek sam nie posiada żadnego motoru wewnętrznego, z wszelką pewnością ruch jego jest bierny. Przypuszcza się obecnie, że w endoplazmie zachodzą lokalne skurcze, odbywające się w prawidłowej kolejności i przepychające wodniczek w określonym kierunku. Tembardziej wzrasta nasz podziw! Przecież zjawisko to odpowiadałoby t. zw. ruchowi robaczkowemu jelit ludzkich. Pokarm w jelitach zostaje przepychany właśnie dzięki podobnym lokalnym i uporządkowanym skurczom mięśniowym. Jak widzimy na fig. 63, oba obiegi wodniczka, duży i mały, krzyżują się z sobą w pewnym punkcie. Skoro wodniczek znalazł się w tym punkcie „węzłowym“, skieruje się on albo do przedniego końca ciała, jeśli wykonywa właśnie obieg duży, albo też zakręci dokoła jądra, gdy ma wykonać obieg mały. Skąd endoplazma wie, czy ma skierować wodniczek naprzód, czy też na prawo? Dlaczego w jednym i tym samym jej punkcie lokalne skurcze, przepychające wodniczek, mogą być dwojakiego rodzaju? Narazie nie możemy nawet pokusić się o wytłumaczenie tych zjawisk. Nie rozu-

miemy, jak może istnieć tak głębokie podobieństwo czynności dwóch organizmów, tak bardzo do siebie niepodobnych, a przedewszystkiem niepojęte jest, jak może istnieć skomplikowana i stała w swoim przebiegu czynność, skoro brak odpowiadającej jej struktury. Nie jesteśmy przyzwyczajeni do tego, aby istniała praca maszyny, gdy sama maszyna jest nieobecna.

Narazie są to tylko drobiazgi. Aby należycie zrozumieć sprawy kuchenne pantofelka, powinniśmy wiedzieć, czego w nich poszukujemy. Mała wycieczka do kuchni ludzkiej dostarczy nam potrzebnych wskazówek. Zobaczmy, jak odbywa się u człowieka proces trawienia, pozostając najpierw przy trawieniu pokarmów białkowych. Drobina ciał białkowych, tego niezbędnego składnika wszelkiego ustroju żywego, ma niezmiernie skomplikowaną budowę. Wiemy dziś, iż w skład jej wchodzi szereg charakterystycznych, stosunkowo prostych związków chemicznych, nazwanych aminokwasami. Aminokwasy mają drobinę o wiele mniejszą, niż białka i dlatego mogą one z łatwością przenikać przez różne błony organiczne, które zatrzymują białka. Białko, znajdujące się w przewodzie pokarmowym, nie mogłoby wcale przejść przez jego ściankę i przedostać się do wszystkich części ustroju, potrzebujących pokarmu, gdyby nie zostało rozbite na cząstki mniejsze i bardziej ruchliwe. Dlatego też istota trawienia białka polega na rozbiciu jego drobiny na szereg prostszych składników, przedewszystkiem aminokwasów. Jest po temu jednak inna i ważniejsza racja. Każda komórka ciała ludzkiego zawiera pewne

charakterystyczne dla niej rodzaje białka, każda przez całe swoje życie zachowuje tę swoją odrębność chemiczną. Tymczasem białko, pobierane przez człowieka jako pożywienie, ma budowę chemiczną różnorodną i przypadkową, bardzo różniącą się od struktury białka jego komórek. Co za tem idzie, komórki ciała ludzkiego nie potrafiłyby bezpośrednio zużytkować tego obcego białka, musi ono ulec gruntownej przeróbce i przebudowie, aby upodobnić się do składników chemicznych naszych komórek. Dlatego właśnie białko pokarmowe zostaje rozbite na aminokwasy i mieszanina najprzeróżniejszych aminokwasów w stanie poniekąd surowym zostaje dostarczona komórkom ciała. Te zaś wybierają z niej określoną kombinację aminokwasów, każda komórka zgodnie ze swoją naturą chemiczną, i z tej kombinacji budują na nowo białko, które już odpowiada ich potrzebom. W tym procesie rozbijania drobiny białkowej ważną bardzo rolę odgrywają t. zw. *fermenty* czyli *enzymy*. Są to bardzo szczególne ciała, występujące w organizmie w stosunkowo niewielkiej ilości, a wykonywujące doniosłą pracę. Ich zadaniem jest przyśpieszanie reakcyj chemicznych, które bez ich udziału odbywałyby się niezmiernie powoli, przyczem same fermenty nie zużywają się w tych reakcjach. Porównano je dość trafnie ze smarem, który zmniejsza tarcie w maszynach.

Zobaczymy teraz, w jakiej kolejności to wszystko się odbywa. Z jamy ustnej pokarm wędruje do żołądka, gdzie oddziaływa nań kwaśny sok żołądkowy, zawierający ferment *pepsynę*. Kwaśna reakcja soku zależy od obecności w nim stosunkowo znacz-

nej ilości kwasu solnego. Pod wpływem pepsyny białko w żołądku rozpada się na ciała chemicznie prostsze, które nie są jednak jeszcze aminokwasami i pod pewnemi względami mają własności białek. Trawienie w żołądku zostaje tylko napoczęte. Taki nawpół strawiony pokarm wstępuje do jelita cienkiego. Tu zmienia się reakcja, która staje się wyraźnie zasadowa. Na pokarm działa teraz sok, wydzielony przez gruczoł podżołądkowy, czyli trzustkę, zawierający inny i energiczniejszy ferment, nazwany *trypsyną*. Ona to dokonywa rozbicia drobiny białkowej na aminokwasy. Proces ten zostaje ostatecznie zakończony dzięki trzeciemu jeszcze fermentowi — *erepsynie* — wydzielanemu przez ściankę jelita. Powstałe aminokwasy przechodzą przez ścianki przewodu pokarmowego, wstępują do krwi i wraz z prądem krwi dostają się do wątroby. Tu częściowo ulegają dalszym skomplikowanym transformacjom, częściowo zaś zostają dostarczone komórkom całego ciała, które, jak już wiemy, wyłapują z nich odpowiadające im kombinacje. W całym tym procesie czynności są wyraźnie rozdzielone. Jedne gruczoły ścianki żołądka produkują pepsynę, inne wydzielają kwas solny, trypsyna jest wydzieliną trzustki, a erepsyna — jelita. Różne fazy procesu trawienia przebiegają w różnych punktach przewodu pokarmowego, pokarm przesuwa się na taśmie ruchomej wzdłuż hali fabrycznej i po drodze w określonej kolejności podlega obróbce przez coraz to nowe maszyny.

Zobaczymy, co się dzieje w kuchni pantofelka. Tylko co utworzony wodniczek pokarmowy za-

wiera dużo wody. Stopniowo, w miarę przesuwania się w endoplazmie, objętość jego zaczyna maleć, woda wsiąka do endoplazmy przez ściankę, pozostawiając w wodniczku zbitą grudkę pożywienia. Jednocześnie resztki cieczy w wodniczku zaczynają wykazywać coraz wyraźniejszą kwaśną reakcję. Stwierdzić to nietrudno. Istnieje szereg związków chemicznych, które zmieniają swoją barwę w środowisku kwaśnem, przytem różne ciała potrzebują do tego różnego stopnia kwasowości. Jeśli nakarmimy takiem ciałem wymoczka, z barwy wodniczka poznamy, jaka panuje w nim reakcja. Dobierając odpowiednich związków, możemy nawet zmierzyć stopień kwasowości. Z wielu badań wynika, iż kwas wewnątrz wodniczków pokarmowych pantofelka jest kwasem solnym, jego stężenie wynosi około 0,3%, co odpowiada mniej więcej kwasowości soku żołądkowego psa. Gdybyśmy umieścili pantofelki w roztworze kwasu solnego o tem stężeniu, zostałyby one zabite w mgnieniu oka. Ten sam kwas, napełniający wodniczek pokarmowy, nie szkodzi wcale endoplazmie, co możemy wytłumaczyć tylko istnieniem dokoła wodniczka błonki ochronnej, nie przepuszczającej kwasu na zewnątrz. Skąd jednak wziął się kwas w wodniczku? Musiał on tak czy inaczej przedostać się tam z endoplazmy, a jednak endoplazma absolutnie nie znosi tak silnych jego stężeń. Sprawa wygląda zgoła zagadkowo. Po niejakimś czasie, zwykle po kilkunastu minutach, wodniczek zaczyna silnie pęcznieć, pobierając ciecz z endoplazmy i zwiększając swoją objętość kilkakrotnie. Proces ten zachodzi szybko, w jego wyniku

powstaje wodniczek stosunkowo olbrzymi, większy, niż był na początku. Przytem kwaśna reakcja jego zawartości staje się coraz słabsza, aż przejdzie w wyraźnie zasadową. W tej fazie dopiero zaczyna się trawienie. Ziarenka pokarmu pęcznieją, zniekształcają się, zatracają rogi i kanty i rozpuszczają się powoli, pozostawiając po sobie niewiele tylko części niestrawionych. Wtedy objętość wodniczka zmniejsza się jeszcze raz. Wkońcu wodniczek wraz z resztkami pożywienia zbliża się do powierzchni ciała i następuje defekcja.

W tych przemianach wodniczka można dopatrzeć się pewnego sensu. Początkowo wodniczek oddaje wodę i zawartość jego staje się wybitnie kwaśna. To jest zrozumiałe, bowiem aby go zakwasić, trzeba wpierw usunąć zeń wodę, która rozcieńczyłaby kwas. Następnie wodniczek pęcznieje silnie i reakcja jego staje się zasadowa. To także możemy zrozumieć. Ponieważ w tej właśnie fazie zaczyna się trawienie, do rozpuszczenia pokarmu potrzebny jest pewien nadmiar cieczy. W tych warunkach neutralizacja kwasu odbywa się bez zaburzeń i soki trawiące łatwiej mogą wyciągnąć z pokarmu wszystko, co się da wyciągnąć. Wkońcu wodniczek jeszcze raz znacznie maleje. I w tem jest swoja logika. Rozpuszczony i upłynniony pokarm przedostaje się przez ściankę wodniczka do endoplazmy, dla której jest przecież przeznaczony. Stamtąd zostanie on skierowany do wszystkich potrzebujących go części ciała wymoczka. Nie jest jeszcze tak źle, jakoś dajemy sobie radę.

Jednak sprawa zaczyna się psuć, gdy chcemy wy-

tłumaczyć zmiany reakcji wodniczka. Wodniczek nie stanowi żadnej zamkniętej w sobie całości. W wodniczku izolowanym, oddzielonym od ciała wymoczka, nie zauważymy żadnych procesów trawienia, są one zapewne zależne od ciągłego kontaktu wodniczka z endoplazmą. U człowieka ścianki żołądka produkują kwaśny sok żołądkowy, a trzustka wytwarza zasadowy sok trzustkowy. Są to dwa odrębne narządy, leżące w dwóch różnych punktach ciała. Ale u wymoczka mamy tylko ciekłą endoplazmę. W organizmie dobrze odżywianego pantofelka znajduje się kilkadziesiąt wodniczków pokarmowych na raz. Zostały one utworzone w określonej kolejności, jedne z nich są „starsze", inne „młodsze". Co za tem idzie, tuż obok siebie mogą znaleźć się dwa wodniczki, z których jeden wykaże reakcję skrajnie kwaśną, drugi — skrajnie zasadową. I kwas i zasada muszą przedostać się do wodniczka z tej samej endoplazmy. Wcale tak nie jest, aby wodniczek w jednym punkcie endoplazmy zaopatrywał się w kwas, w drugim zaś w zasadę. Jakimże więc sposobem kwas i zasada mogą istnieć w endoplazmie tuż obok siebie i nie połączyć się z sobą? To być nie może. Musimy szukać jakiegoś innego wyjaśnienia. Nie ulega wątpliwości, że proces trawienia ma swój określony i stały przebieg w każdym wodniczku pokarmowym. Niewątpliwie też procesy, przebiegające w dwóch sąsiednich wodniczkach, są od siebie całkowicie niezależne. A może jednak wodniczek jest jednostką autonomiczną, może od pewnej chwili zawiera on w sobie wszystkie czynniki,

powodujące zarówno zmianę jego objętości, jak zmianę reakcji?

Następująca obserwacja daje nam jakieś wskazówki w tym kierunku. Jeśli pantofelki przebywają w roztworach niektórych barwników, jak czerwień obojętna lub błękit metylenowy (nie metylowy!), w endoplazmie występują w większej czy mniejszej liczbie charakterystyczne ziarenka, zabarwione na czerwono, względnie, niebiesko (fig. 64). W kwaśnej

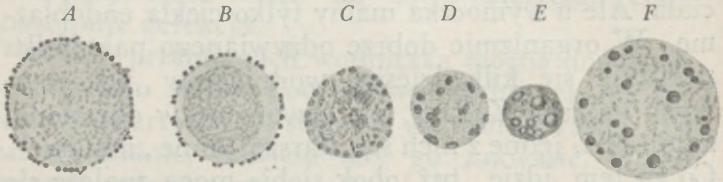


Fig. 64. Zmiany wyglądu wodniczka pokarmowego podczas cyklozy. *A* — świeżo utworzony wodniczek, na jego powierzchni osiadają ziarenka endoplazmatyczne. *B* do *E* — kurczenie się wodniczka, któremu towarzyszy reakcja kwaśna. *F* — faza zasadowa (Nirenstein).

fazie trawienia ziarenka te obsiadają błonkę graniczną wodniczka i stopniowo przenikają do jego wnętrza, zwiększając jednocześnie swoją objętość. Później rozpraszają się one w całym wodniczku. Możemy przypuścić, iż ziarenka wnoszą z sobą całe laboratorjum chemiczne, że są one zespołem związków, który wyłania z siebie w określonej kolejności najpierw kwas, potem zasadę i fermenty trawiące. Wówczas proces trawienia byłby w każdym wodniczku zjawiskiem wewnętrznem, niezależnem już od endoplazmy i zmiana faz trawienia byłaby tylko wyrazem przebiegu jednej i tej samej niezmiernie skomplikowanej reakcji chemicznej.

Endoplazma wytwarza tylko ziarenka, produkuje minjaturowe laboratorja, ale od chwili ich przeniknięcia do wodniczka proces trawienia przebiega autonomicznie. Jeśli mamy pantofelka, napełnionego wodniczkami w różnych fazach trawienia, kwaśnych i zasadowych, i jeśli zabijemy go w jakikolwiek sposób, np. przez ogrzanie lub zgniecenie, natychmiast reakcja we wszystkich wodniczkach, niezależnie od ich chwilowego stanu, sprowadza się do jednego mianownika, staje się wszędzie obojętna lub słabo kwaśna. Po śmierci wymoczka błonka wodniczka pokarmowego traci swoje specyficzne własności, staje się przepuszczalna i zostaje zniszczona autonomja wodniczka względem otaczającego go środowiska. W ten sposób uniknęlibyśmy także trudności istnienia w tej samej endoplazmie kwasu obok zasady. Istnieją one w ziarenkach, i istnieją kolejno, nie muszą więc sobie przeszkadzać.

Ziarenka endoplazmatyczne, wnikające do wodniczka pokarmowego, przynoszą z sobą odprężenie sytuacji. To rzecz zrozumiała. Gdy widzimy, że na placu dzieje się coś niezwykłego, czego nie rozumiemy, i jeśli dostrzegamy kręcących się tam ludzi, odczuwamy ulgę. Nie rozumiemy wprawdzie i nadal, co ci ludzie tam robią i w jakim pozostają związku z dziejącemi się na placu cudami, ale wiemy, że są i że ewentualnie mamy na kogo zwalić całą odpowiedzialność. Mniej więcej tak właśnie ma się sprawa z ziarenkami. Nie wyjaśniliśmy wcale tajemnicy trawienia, ale trzymamy za kołnierz jego domniemanych sprawców. Może znajdzie się zczasem

prokurator, któryby zechciał i potrafił przeprowadzić śledztwo i pociągnąć winnych do odpowiedzialności.

Bakterje, pochłaniane przez pantofelka, są pokarmem bardzo skomplikowanym. Próbowano podawać wymoczkom pokarmy stosunkowo prostsze, które pozwoliłyby łatwiej śledzić przebieg procesu trawienia. Karmiono je np. białkiem włóknikiem. Cząstki włóknika zostają pobrane i w zasadowej fazie trawienia rozpuszczone. Że białko rozpada się przytem na aminokwasy, jest wysoce prawdopodobne. Przedewszystkiem ciekłe produkty jego trawienia przesiąkają przez ściankę wodniczka do endoplazmy, co można stwierdzić bezpośrednio pod mikroskopem. Jednak ścianka ta jest wyraźną błonką, ograniczającą zawartość wodniczka. Wobec tego ciała, przechodzące przez nią, muszą mieć niewielką drobinę, niema mowy o tem, aby przedostały się przez nią niezmienione drobiny białkowe. Z pewnością muszą one ulegać rozbiciu. Następnie, z wielkiej liczby pantofelków, wziętych do analizy chemicznej, udało się wyodrębnić najprawdziwszy ferment trypsynę, a gdy oddziałano nią na białka, otrzymano różne aminokwasy. Nie wiemy oczywiście, gdzie mieści się trypsyna w ciele wymoczka, bo nie tak łatwo jest wykonać analizę pojedyńczego wodniczka pokarmowego. Nie mamy też niewątpliwego dowodu winy, zbieramy tylko poszlaki. W każdym razie fakt rozbicia drobiny białkowej w związku z faktem istnienia u pantofelka trypsyny jest już poważną poszlaką. Ale mamy i inne argumenty. Próbowano karmić pantofelki słabemi roztworami

poszczególnych aminokwasów lub ich mieszaniną. Okazało się, że wymoczki zużywają różne aminokwasy w różnym stopniu, z roztworów o stężeniu 0,1% wyławiają je w ilościach od 7 do 45% ich całkowitej zawartości. W mieszaninie różnych aminokwasów substancje te zostały zużyte w 48%. W takiem środowisku, pozbawionem bakteryj, pantofelki mogły żyć przez pewien czas, przyczem rosły i pomnażały substancje swego ciała. Innemi słowy posiadają one zdolność łączenia aminokwasów w pewnych kombinacjach i wytwarzania z nich substancji białkowej. Wszystkie te fakty dadzą się połączyć z sobą w konsekwentny obraz. Wyłania się z nich, że proces trawienia pokarmów białkowych u pantofelka w zasadniczych swoich cechach jest ten sam, co u człowieka.

Jeszcze bardziej umacnia się podobieństwo, gdy uwzględnimy inne pokarmy. Pantofelki mogą zużywać różne cukry, podane im w roztworze, np. dekstrozę, lewulozę i galaktozę. Mogą do pewnego stopnia trawić skrobię, przerabiając ją częściowo na dekstrynę. Najprawdopodobniej posiadają zdolność trawienia tłuszczów, choć sprawa ta wymaga jeszcze dalszych badań. Powiadają nawet, że do ich dobrego samopoczucia niezbędne są witaminy, dostarczane przez żywe bakterje. Pantofelki są naszymi braćmi, możemy śmiało wyciągnąć do nich rękę.

Zapewne, analogji pomiędzy człowiekiem a wymoczkiem nie należy posuwać zbyt daleko. Nie udało się dotąd wyosobnić z pantofelków pepsyny i nie mamy żadnych dowodów, aby trawienie istniało u nich już w kwaśnej fazie cyklozy. Pocóż więc pan-

tofelkowi kwas? Być może służy on tylko do zabicia bakteryj, które w stanie żywym opierają się działaniu fermentów trawiących. Prawdę mówiąc, to i u człowieka potrzeba trawienia żołądkowego nie jest zbyt oczywista, skoro trypsyna doskonale dałaby sobie radę z białkiem nawet bez uprzedniej pomocy pepsyny i kwasu solnego. Ale niech tam! Niech będą różnice. W niczem nie wpłyną one na fakt istnienia głębokiego, zasadniczego podobieństwa spraw kuchennych człowieka a wymoczka.

ROZDZIAŁ VII

WYBÓR POKARMU

MUSIMY wyświetlić jedno ważne zagadnienie, o którem dotąd nie było mowy. Parę słów należy się uciechom pantofelka. Nie dość jest tylko załatwiać potrzeby fizjologiczne swego ciała, dla takiego celu nie warto byłoby żyć na świecie. Trzeba mieć w życiu jakąś przyjemność. Człowiek rozumie to bardzo dobrze i uciechom różnego rodzaju poświęca niemałą część swego mniej lub więcej cennego czasu. W szczególności potrafi on zrobić swojego rodzaju obrządek z procesu, który prostacy zwą jedzeniem, uczeni zaś — pobieraniem pokarmu, czyli uzupełnianiem strat materjalnych i energetycznych organizmu, powstałych w rezultacie jego normalnego funkcjonowania. Dajmy człowiekowi pokarm, przygotowany ściśle naukowo, zawierający niezbędną ilość niezbędnych pierwiastków chemicznych w potrzebnych kombinacjach o odpowiedniej wartości kalorycznej, a skrzywi się on bardzo. Prócz pierwiastków i kaloryj, potrzebuje on czegoś mniej uchwytnego, co nie da się wyrazić w jednostkach wagi i ciepła. Człowiek wymaga, aby jedzenie było „smaczne". I okazuje się, że to jego wymaganie ma swoje uzasadnienie, bowiem już sam widok smacznej potrawy wywołuje wydzielanie się

śliny i soku żołądkowego, cały organizm zostaje nastawiony na spożycie czegoś dobrego, a w wyniku pokarm, który smakuje, przynosi nam większą korzyść, gdyż lepiej potrafimy go wykorzystać. Umiejętność odróżniania rzeczy pożytecznych od obojętnych lub szkodliwych jest dla każdego ustroju sprawą życiowej wagi. Ale jakże tu przekonać się, że coś jest pożyteczne? Organizm nie może robić zbyt daleko idących eksperymentów, nie może próbować wszystkiego na prawo i lewo, szukając tego, co mu przynosi korzyść. W trakcie szukania napotkałby z pewnością coś szkodliwego i skutki tego mogłyby być fatalne. To też od miljonów lat zaszło trwałe skojarzenie pożytku z przyjemnością, a smakowitość potrawy oznacza, że jej spożycie będzie pożyteczne. Możliwe są różne wyjątki, ale sama reguła jest niewątpliwie słuszna.

Czy uczucie smaku jest pantofelkowi obce? To trudne pytanie, które musimy przedewszystkiem wyraźnie sformułować. Zgóry wyrzekamy się próby dochodzenia, czy pantofelek coś czuje i co mianowicie, nie mamy bowiem żadnych sposobów rozstrzygnięcia tej kwestji ani w tę, ani w drugą stronę. Mówię to, aby nie zarzucono mi „nienaukowości“ moich rozważań. Sprawę musimy wyrazić naukowo i ściśle. Zapytamy więc, czy pantofelek zachowuje się tak, jak na jego miejscu i w jego warunkach zachowywałaby się istota, o której wiemy, że posiada wrażenia smakowe? Niestety, i to jeszcze nie jest dość naukowe. Przecież o uczuciach i wrażeniach innych istot wiemy równie mało, jak o uczuciach pantofelka. Chyba porównamy go z człowiekiem.

Ten przynajmniej coś czuje, tak w każdym razie możnaby przypuszczać. Stawiamy kropkę nad „i" i zapytujemy: czy pantofelek zachowuje się względem pokarmu tak samo, jak człowiek?

Wrażenia smakowe człowieka są rzeczą skomplikowaną. Przedewszystkiem idzie tu o zdolność rozróżniania. Gdybyśmy nie odróżniali rozmaitych smaków, samo pojęcie smaku nie mogłoby wcale powstać w naszym umyśle. Książka niniejsza skróciłaby się o jeden rozdział (z pewnym dla niej pożytkiem), gdyż nie zastanawialibyśmy się nad tem, czy pantofelek posiada smak, czy go nie posiada. Mówimy o smaku słodkim, ponieważ prócz słodkich istnieją także rzeczy słone, gorzkie i kwaśne. Gdyby wszystko na świecie było słodkie, nic nie mogłoby być słodkie, bowiem nikomu nie przyszłoby na myśl wyróżniać słodkość, jako odrębną cechę przedmiotów. Tak samo nie byłoby wcale radości, gdyby nie istniały rzeczy przykre.

Drugą stronę całego zagadnienia stanowi sam mechanizm rozróżniania. Przedmioty świata otaczającego w niejednakowy sposób podrażniają nasz zmysł smaku, w czem główną rolę grają podniety natury chemicznej. Stąd właśnie płynie różnica wrażeń, pojęć i nazw.

Teraz już możemy ściśle sformułować pytania, na jakie ma odpowiedzieć pantofelek. 1° Czy pantofelek posiada zdolność rozróżniania pokarmu? 2° Jeśli posiada, czy powoduje się w tem podnietami chemicznemi? Pytania brzmią niemal jak na rozprawie sądowej.

Fakty zdają się dawać na pierwsze pytanie odpo-

wiedź przeczącą, utrącając tem samem pytanie drugie. Jakkolwiek wymoczek nasz normalnie odżywia się bakterjami, można go bez trudu skłonić do pobierania najprzeróżniejszych ciał o bardzo urozmaiconych właściwościach chemicznych. Dodajmy do kropli wody z pantofelkami drobno sproszkowanego karminu, indiga, sepji, sudanu, tuszu chińskiego, chromianu baru, glinu i t. p., a zawsze po krótkim czasie zostaną utworzone liczne wodniczki pokarmowe, zawierające dużo podanej zawiesiny. Ciała wymienione są nierozpuszczalne w wodzie, lub rozpuszczalne bardzo słabo, a zatem nie powinny wcale oddziałać na wymoczka chemicznie. Gdyby zaś nawet oddziaływały, wykluczone jest, aby ich „smak“ mógł być jednakowy. Co więcej, pantofelek może pochłaniać ciała trujące, jak np. sole arsenu i ołowiu, które powodują jego śmierć po kilkunastu minutach. Rzęski peristomalne pracują ze stałą energją, mniej więcej w tych samych odstępach czasu odbywają się akty połykania i wszystko to nie zależy naogół od obecności lub nieobecności ziarenek w otaczającej cieczy, ani też od ich pożywności lub szkodliwości. Pantofelek jest nigdy nienasyconym żarłokiem, pochłaniającym wszystko, co mu dadzą, jego aparat pobierczy to ślepy mechanizm, jednakowo działający na pożytek i na zgubę!

Biedny nasz pantofelek znajduje się w jakimś permanentnym stanie oskarżenia. Krytycy nie dają mu żyć, na każdym kroku obwiniają go o skrajną głupotę, odmawiają mu wszelkiej myśli. Nic to, mój drogi, jeszcze nasze będzie na wierzchu! Wiem ja dobrze, panowie krytycy, o co wam chodzi. Nie mo-

żecie się pogodzić z myślą, że nietylko człowiek jest istotą rozsądną i właśnie dlatego tak uporczywie oskarżacie pantofelka. Jesteście stroną zainteresowaną, zależy wam na wykazaniu jego głupoty. W tym przypadku jednak nie możecie być sędziami wymoczka. Sędzia musi być bezstronny i beznamiętny, jego zadaniem jest ustalenie prawdy, wszystko jedno komu się ona podoba lub nie podoba.

W naszych eksperymentach zwierzę pochłaniało wszystko, co mu podaliśmy. Musimy pomyśleć, jak dalece anormalne są przytem oddziaływujące na wymoczka warunki. Wsadzamy wymoczki do małej kropli wody, z której nie mogą one uciec, i dajemy im tyle ziarenek, że miljony ich pływają w każdej najdrobniejszej jej cząstce. Pantofelek broni się jak może przed bezużyteczną zawiesiną, ale wobec jej olbrzymiego nadmiaru nie daje sobie z nią rady. Wiemy przecież, że jakkolwiek wszelkie cząstki dostają się do przełyku wymoczka, olbrzymia ich większość zostaje wyrzucona zpowrotem. Nawet po 512-krotnem rozcieńczeniu zawiesiny karminu, jak w doświadczeniu opisanem na str. 155, jeszcze jest w niej tyle ziarenek, że wymoczek w swoich naturalnych warunkach może nic podobnego nie widział. Nie mniej liczba ziarenek w wodniczkach jest zupełnie minimalna. Ciekawe byłoby zbadać ściśle, czy liczba pochłoniętych ziarenek w zawiesinach o różnem stężeniu jest istotnie proporcjonalna do tego stężenia. Należy o tem bardzo powątpiewać. Gdy wymoczki znajdują się w bardzo gęstej zawiesinie barwnika, zdarza się, że pobierają go bardzo mało. W tych przypadkach skupiają się one gdzieś

w kącie preparatu i osiadają nieruchomo, a są tak zbite i stłoczone, że normalne pobieranie zawiesiny staje się niepodobieństwem. Wymoczki bronią się w ten sposób przed nadmiernemi stężeniami barwnika. Nie mogą od nich uciec, bo ich nie puszczamy, robią więc to, co w danych warunkach jest możliwe

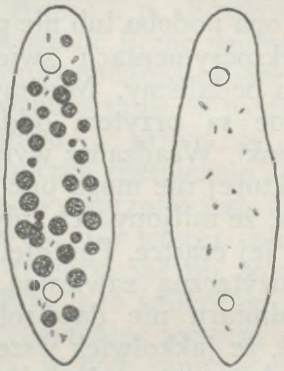


Fig. 65. Pantofelki po godzinnym pobycie w zawiesinie karminu (lewy) i siarki (prawy).

do zrobienia. Gdy im dać tyle bakteryj, ile jest w cieczy ziarenek karminu, pochłoną one znacznie więcej bakteryj, niż pochłaniają karminu. Sprawa jest trudniejsza, niż myśleliśmy.

Nie jest słuszne, aby pantofelek jednakowo pobierał wszystko, co mu damy, i fakt ten niech będzie punktem wyjścia naszych rozważań. Dajmy wymoczkom sproszkowane szkło, roztartą drobno porcelanę, rozdrobniony siarczan lub węglan baru, a nie utworzą one w tych zawiesinach ani jednego wodniczka pokarmowego, zawierającego ziarenka.

Siarka w proszku (t. zw. kwiat siarczany) jest pobierana bardzo słabo, po godzinnym pobycie w jej gęstej zawiesinie można naliczyć w ciele wymoczka zaledwie parę ziarenek siarki, gdy w karminie te same wymoczki i w ciągu tego samego czasu utworzą po kilkadziesiąt dużych wodniczków, szczelnie napełnionych ziarenkami (fig. 65). Więc do różnych zawiesin pantofelek stosuje się bardzo niejednakowo. Istnieje zapewne możliwość, że ciała, odrzucane przez wymoczka, wpływają w jakiś sposób na ogólne funkcjonowanie aparatu pobierczego, uszkadzają go w tym czy innym stopniu, uniemożliwiając jego zwykłe czynności. Doświadczenie wykazuje jednak, że tak nie jest. Słabo pobieraną siarkę zmieszamy z dobrze pobieranym karminem i taką mieszaninę podamy wymoczkom. Po godzinie stwierdzimy, że pantofelki zawierają po kilkanaście pełnych wodniczków karminowych, ale brak w nich zupełnie siarki. Pomimo istnienia w wodzie dużych ilości substancji odrzucanej, nie wpływa to wcale na pobieralność karminu, czyli niema uszkodzenia aparatu pobierczego. Do tego doświadczenia jeszcze powrócimy i wykonamy je dokładniej. Pantofelki muszą zatem jakoś odróżniać karmin od siarki, to nie ulega wątpliwości. To samo doświadczenie możemy wykonać, mieszając proszek szklany, rozrobiony wodą, z kroplą zawiesiny żółtka jaja kurzego. Gdy wpuścimy do mieszaniny pantofelki, w krótkim czasie napełnią się one żółtkiem, ale szkła nie tkną zupełnie. Nawet gdy mieszanina zawiera bardzo mało żółtka, wymoczki potrafią je wyzbierać, omijając szkło.

Jak i kiedy odbywa się taki wybór, można bezpośrednio zaobserwować. Przygotowujemy nasz zwykły preparat z wymoczkami, w którym pod szkiełkiem przykrywkowem znajdują się włókienka waty. Gdy pantofelki osiądą nieruchomo, wpuścimy z boku pod szkiełko kroplę mieszaniny karminu i siarki w wodzie. Kropla będzie się rozpływała i wkrótce dosięgnie wymoczków. Nastawiamy silne powiększenie mikroskopu na dno wgłębienia peristomalnego. Cały proces pobierania i wyboru pokarmu przesunie się przed nami jak na dłoni. Zobaczymy ziarenka obu rodzajów, sunące sznureczkiem wzdłuż peristomu i wpadające do przełyku. Przy pewnej wprawie i w przypadku niezbyt gęstej zawiesiny, zdołamy nawet policzyć, ile przesuwa się przed nami ziarenek siarki, a ile karminu. Znajdziemy, iż obie zawiesiny w jednakowym stopniu zostają porwane przez prądy wody i że taka sama liczba ziarenek obu dostaje się do przełyku. Tu każde ziarenko zostaje zatrzymane na przeciąg około jednej sekundy, potem zaś większość ich zostaje wyrzucona na zewnątrz. Widzimy wtedy naocznie, że pantofelek wyrzuca wszystkie ziarenka siarki, zatrzymuje zaś na dnie przełyku część ziarenek karminu. Nie jest wcale tak, aby siarka dzięki tym lub innym właściwościom swoich ziarenek nie mogła wogóle przedostawać się do przełyku wymoczka. Dostaje się ona w tym samym stopniu, co inne zawiesiny, ale zostaje odrzucona. Zatrzymywanie ziarenek w głębi przełyku wskazuje, iż w tem właśnie miejscu zostaje dokonany wybór.

Na pierwszą część naszego pytania możemy z ca-

łym spokojem odpowiedzieć twierdząco. Pantofelek posiada nader subtelną zdolność rozróżniania pokarmu, jego aparat pobierczy działa pod tym względem szybko i sprawnie. Mowy niema, aby połykał on wszystko, co w naszej łaskawości raczymy mu podać.

Zwracamy się do drugiego pytania. Czem powoduje się wymoczek, pochłaniając jedne ziarenka, a odrzucając drugie? To jest sprawa trudniejsza, nie możemy bowiem przeniknąć uczuć i intencyj wymoczka i musimy postępować drogą okólną. Wolno nam stwierdzać zato, czem pantofelek nie może się powodować. Każde zjawisko ma swoją przyczynę, a gdy odrzucimy wszystkie przyczyny niemożliwe, to co pozostanie, jakkolwiek nieprawdopodobne może się wydać, musi być prawdą. Niech taka będzie metoda naszego rozumowania. Może naturalnie i nic nie pozostać, a wtedy na końcu rozumowania nie będziemy mędrsi, niż byliśmy na początku.

Szukajmy więc przyczyn możliwych. Faktem jest, że pantofelek odrzuca niektóre zawiesiny i że musi to mieć swoją przyczynę. Być może ziarenka ciał odrzucanych są zbyt ciężkie? Opadają one na dno kropli, która przecież w naszych preparatach ma bardzo niewielką wysokość, i pantofelki nie zdołają ich podnieść. Trudno jest zadowolić się tak prostem wyjaśnieniem. Nawet ciała stosunkowo ciężkie, jak szkło lub porcelanę, możemy rozetrzeć na bardzo delikatny proszek, nie opadający całemi godzinami. Nie wpływa to wcale na ich pobieralność: szkło drobne jest tak samo odrzucane, jak grube. Ziarenka tych ciał równie dobrze dostają się do przełyku wy-

moczka, jak ziarenka karminu. Skoro ich ciężar nie przeszkodził ich przedostawaniu się do przełyku, trudno przypuścić, aby mógł on przeszkodzić ich połknięciu. Z drugiej strony znamy szereg ciał ciężkich, a jednak obficie pobieranych. Weźmy odrobinę mąki pszennej, rozmieszajmy ją z dużą ilością wody i wlejmy mieszaninę do próbówki szklanej. Po kilku godzinach utworzy się w próbówce kilka warstw. Najcięższe składniki mieszaniny opadną na dno, składniki lżejsze pozostaną w zawiesinie. Do tych pierwszych należą przedewszystkiem ziarenka skrobi. Jak się okazuje, pantofelki obficie pobierają skrobię, choć jest to ciało ciężkie, które w preparacie bardzo prędko opada. Jeszcze cięższa od skrobi jest zawiesina chromianu baru. Nie mniej wymoczki pobierają jej ziarenka, odrzucają natomiast zawiesinę siarczanu barowego. Czem powodują się wymoczki, nie wiemy, ale ciężar ziarenek na pewno nie jest przyczyną, przeszkadzającą w ich pobieraniu.

Szukajmy innych możliwości. Być może idzie o wielkość ziarenek? To przypuszczenie odrzucamy odrazu. Pantofelki niekiedy połykają tak olbrzymie ziarna skrobi, że jedno ziarno wypełnia sobą niemal cały wodniczek pokarmowy. Obok tego szkło i porcelanę możemy rozdrabniać, jak nam się podoba, a nie wpłynie to wcale na zwiększenie ich pobieralności.

Może ziarenka ciał odrzucanych odznaczają się jakiemiś szczególnemi właściwościami powierzchni, która jest ostra, kłująca, drażniąca w ten czy inny sposób dno przełyku? Bezsprzecznie jest to jedna

z możliwych przyczyn odrzucania zawiesin. Ale i ona nie wydaje się zbyt prawdopodobna. Zestawmy własności zawiesin dobrze pobieranych. Skrobia ma ziarenka okrągłe i gładkie, ziarenka karminu mogą być jakiejkolwiek dowolnej formy i ich powierzchnia jest szorstka, zawiesina chromianu baru składa się z pokruszonych kryształków, o ostrych wierzchołkach i krawędziach. Wszystko to wymoczek pobiera. Być może jakaś specjalna właściwość powierzchni, przez nas nieuwzględniona, odgrywa tu rolę. Sprawa wymaga gruntowniejszego rozważenia.

Jak wiemy, skrobia zostaje pobierana, siarka — prawie całkowicie odrzucana. Spróbujmy zmieszać z sobą obie te zawiesiny i do mieszaniny wpuścić wymoczki. Tym razem powstają wodniczki mieszane, zawierające, prócz skrobi, dość dużo siarki (fig. 66).



Fig. 66. Wodniczki pokarmowe, utworzone w zawiesinie skrobi z siarką

Natomiast z mieszaniny siarki z karminem wymoczki biorą tylko karmin. Próbowano wytłumaczyć tę różnicę wyniku wielkością ziarenek skrobi. Aby je połknąć, pantofelek musi zrobić pewien wysiłek i w tych warunkach nie może on oprzeć się przenikaniu do wodniczka siarki. Ale gdy zmieszamy siarkę z bardzo gruboziarnistym karminem, powinniśmy otrzymać to samo: wysiłek połykania dużych ziaren kar-

minu z jednoczesnem przenikaniem siarki do wodniczków. W rzeczywistości wymoczek pobierze karmin, a nie tknie siarki. Wymoczek wystawia naszą cierpliwość na poważną próbę. W obu doświadczeniach mieliśmy tę samą siarkę, której towarzyszyła zawiesina, dobrze pobierana przez pantofelki. Mimo to w jednej próbie siarka została pobrana, w drugiej zaś odrzucona. Przyczynę tej różnicy wyniku postaramy się wyjaśnić trochę później. W tej chwili zwróćmy tylko uwagę na fakt, że dodatek skrobi zmusza wymoczka do pobierania zwykle odrzucanej siarki. Dodatek ten nie mógł wpłynąć na właściwości powierzchni ziarenek siarki, siarka pozostała siarką, a zatem czemś innem muszą powodować się wymoczki.

Innym jeszcze sposobem można zmusić wymoczka do pochłaniania siarki. Siarkę rozcieramy w moździerzu porcelanowym wraz z pewną ilością żółtka jaja kurzego, ugotowanego na twardo. Po bardzo dokładnem roztarciu bez dodania wody, otrzymany proszek wsypujemy do próbówki, dolewamy wody i wstrząsamy silnie. Do tak sporządzonej zawiesiny wpuścimy wymoczki i po godzinie policzymy wodniczki pokarmowe, zawierające siarkę. Przytem w różnych próbach weźmiemy różną stosunkowo ilość siarki i żółtka. Wynik podaje załączona tabelka. Liczby w jej prawej kolumnie pionowej oznaczają, ile w ciągu godziny powstało wodniczków siarkowych. Wodniczków czysto żółtkowych, których zawsze jest dużo, tabelka nie uwzględnia.

Nr	Siarki %	Żółtka %	Wodniczków
1	60	40	1
2	80	20	4
3	90	10	13
4	95	5	4
5	99	1	0
6	100	0	0

Dodam, że te same wymoczki w ciągu godziny utworzyły w zawiesinie karminu przeciętnie po 42 pełne wodniczki pokarmowe. Ten ostatni wynik wskazuje przedewszystkiem, że wymoczki były w dobrym stanie i mogły doskonale pobierać zawiesiny.



Fig. 67. Wodniczki, utworzone w zawiesinie mieszaniny siarki i żółtka. Liczby odpowiadają procentowej zawartości żółtka w mieszaninie

Jak wynika z tabelki, można zmusić pantofelki do pobierania stosunkowo znacznych ilości siarki (Fig. 67). Dodatek żółtka zupełnie zmienia stosunek zwierzątek do siarki. Dowiemy się czegoś nowego o mechanizmie tych zjawisk, gdy powtórzymy to doświadczenie w nieco innym układzie. Przygotujemy osobno zawiesinę siarki, a osobno zawiesinę żółtka, zmieszamy je razem i podamy wymoczkom. W poprzednich próbach mieliśmy zawiesinę mieszaniny. teraz mamy mieszaninę zawiesin. Tym razem pantofelki po godzinie będą napełnione wodniczkami żółtkowemi, ale nie znajdziemy w nich ani jednego

ziarenka siarki. Przyczyna jest bardzo prosta. Jeśli przygotowujemy osobno zawiesinę siarki, a osobno żółtka, mamy w cieczy po ich zmieszaniu niezależne od siebie cząstki siarki i żółtka. Pantofelki mogą pobrać jedne, a odrzucić drugie. Jeśli zaś mieszamy oba ciała na sucho i potem dopiero sporządzamy

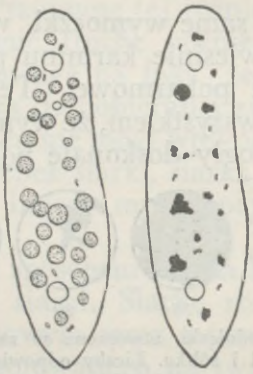


Fig. 68. Wymoczki po godzinnym pobycie w mieszaninie zawiesin siarki i żółtka (lewy) oraz w zawiesinie mieszaniny tychże składników (prawy). Pierwszy pantofelek zawiera tylko wodniczki żółtkowe, w drugim jest dużo siarki

z nich zawiesinę, każde ziarenko siarki jest zespolone z cząstkami żółtka i pobierając żółtko, pantofelki muszą pobierać siarkę. Gdy żółtka jest stosunkowo mało, ziarenka siarki będą tylko powleczone cieniutką warstewką żółtka. Wystarcza to do pobudzenia apetytu pantofelka, jak wystarcza posmarować chleb odrobiną masła, aby smakował nam lepiej. Przez ta-

kie „posmarowanie“ cząstek siarki nie zmieniliśmy ani ich ciężaru, ani kształtu, nie wpłynęliśmy specjalnie na ich własności fizyczne. Dodaliśmy im tylko „smaku“, co odrazu odbiło się na wyniku. Z tabelki wynika dalej, że najwięcej siarki pochłaniają wymoczki po dodaniu do niej około 10% żółtka. Gdy jest jego więcej, prawdopodobnie nie uda nam się tak rozetrzeć mieszaninę, aby nie było w niej wcale cząstek czysto żółtkowych, nie zawierających siarki. W tym razie wymoczki wolą czyste żółtko i dlatego maleje liczba wodniczków siarkowych. Gdy z drugiej strony żółtka jest bardzo mało, smak siarki zmienił się niedostatecznie i wymoczki nie chcą jej brać. W analogiczny sposób można wytłumaczyć podany wyżej fakt wzmożenia pobieralności siarki, do której dodano zawiesiny skrobi. Skrobia jest do pewnego stopnia pokarmem dla wymoczka, może on ją trawić, gdy karmin jest substancją bezużyteczną. Być może smak skrobi jest dość silny na to, aby na jego tle można było przemycić pozbawione smaku ziarenka siarkowe.

To samo, co zrobiliśmy z siarką, możemy zrobić z każdą inną zawiesiną, odrzucaną przez wymoczki. Po roztarciu na sucho żółtka ze szkłem, porcelaną, siarczanem lub węglanem baru i t. p., i po sporządzeniu zawiesiny wodnej, wymoczki obficie pobierają substancje, które w innych warunkach odrzucają.

Następujące jeszcze doświadczenie wskazuje, jak mało prawdopodobna jest decydująca rola powierzchni ziarenek zawiesiny w ich odrzucaniu. Jak wiadomo, skrobia roślinna barwi się roztworem jodu na

fioletowo. Prawdopodobnie nie zachodzi przytem żadna specjalna reakcja chemiczna, raczej jod wsiąka w ziarenka skrobi, jak w gąbkę, i można go z nich prawie całkowicie wypłókać wodą. Ziarenka takiej jodowanej skrobi, przeniesione do czystej wody, zostają odrzucane przez pantofelki. Jeśli zmieszać skrobię zwykłą ze skrobią jodowaną, wymoczki będą pobierały ziarenka pierwszej, a odrzucały cząstki drugiej. Gdy jednak skrobię jodowaną przemyć gruntownie, aby mieć pewność, że jod już się z niej nie wydziela, choć same ziarenka zachowują jeszcze słabo fioletową barwę, pantofelki pobierają ją zupełnie tak samo, jak skrobię zwyczajną. Sprawa jest zupełnie jasna. Gdybyśmy byli na miejscu pantofelka, powiedzielibyśmy, że ziarenka skrobi jodowanej nieprzyjemnie pachną i nie nadają się do użytku. Powierzchnia ziaren skrobi nie uległa zmianie dzięki jodowaniu, względnie jeśli uległa, zmiana ta musiała pozostać i po wymyciu jodu, a mimo to stosunek wymoczków do zawiesiny zmienił się zasadniczo. W tym przynajmniej przypadku niepobieranie zawiesiny zależy na pewno od jej wpływów chemicznych, nie od takich czy innych cech powierzchni ziarenek.

Zbliżamy się do sedna sprawy. Może siarka wydziela jakieś substancje, nieprzyjemne dla pantofelka? Gdy zmieszamy ją ze skrobią, silny smak skrobi może zabić przykry smak siarki, gdy powleczemy jej ziarenka warstwą żółtka, postąpimy z pantofelkiem jak z dzieckiem, któremu daje się gorzkie lekarstwo w czekoladce. Próbowaliśmy już mieszać siarkę z karminem, teraz jednak musimy zrobić to ściślej.

Wykonamy następującą serję prób. Przygotujemy zawiesinę karminu (K) w wodzie (W), oraz zawiesinę siarki (S) w wodzie. Następnie będziemy mieszali je z sobą w różnych kombinacjach i proporcjach, umieścimy w różnych mieszaninach wymoczki i po godzinie policzymy wodniczki.

Nr	Zawiesina	Wodniczków
1	1K + 1W	54
2	1S + 1W	0
3	1K + 1S	52
4	1K + 10S	30
5	10K + 1S	48
6	1K + 10W	29

Dobrze jest nauczyć się odczytywać tabele liczbowe. W krótkiej, skondensowanej formie zawierają one czasem ciekawe dane. W naszym przypadku widzimy przedewszystkiem, że w próbach 1 i 3 wymoczki utworzyły tę samą liczbę wodniczków. Obie próby zawierały tyle samo karminu, ale w próbie 1 karmin był zmieszany z czystą wodą, w próbie 3 zaś — z zawiesiną siarki. Skoro liczba wodniczków karminowych pozostaje bez zmiany, jasne jest, że siarka nie oddziaływa ujemnie na wymoczki i w niczem nie zmienia ich zdolności pobierania pokarmu. Gdy porównamy teraz próby 4 i 6, znajdziemy dokładnie te same stosunki. W obu razach karmin był zmieszany z dziesięciokrotną objętością zawiesiny siarki (4) względnie czystej wody (6). I znowuż liczba wodniczków była zbliżona. Innemi słowy, dodatek siarki w tym samym stopniu wpływa na pobieralność karminu, co dodatek czy-

stej wody. Siarka nie wydziela więc żadnych substancyj przykrych dla pantofelka, bowiem niepodobna sobie wyobrazić, aby nie wpłynęła ona w tym przypadku na proces pobierania ziarenek karminu. Uogólniając wszystko, co już wiemy o siarce, możemy powiedzieć, że jej ziarenka nie zawierają w sobie żadnych czynników, któreby utrudniły jej pobieranie przez pantofelka. Dlaczegoż więc siarka jest stale odrzucana? Dlatego, że jest „bez smaku", nie oddziaływa na wymoczka chemicznie. Nie oddziaływują nań także ani szkło, ani porcelana, ani siarczan baru, ani sproszkowany kwarc, ponieważ są to wszystko ciała praktycznie nierozpuszczalne w wodzie i dlatego nie podrażniające pantofelka chemicznie. Po wyłączeniu wszelkich możliwości dochodzimy do wniosku, że w procesie pobierania i odrzucania pokarmu pantofelek powoduje się podnietami natury chemicznej.

Niewątpliwie pantofelek nie jest automatem, pochłaniającym wszystko bez różnicy, posiada on subtelną zdolność rozróżniana. Raz jeszcze musimy odeprzeć próbę zmechanizowania naszego bohatera. Cząstka ciała pobieranego, wpadając do przełyku, drażni protoplazmę inaczej, niż cząstka ciała odrzucanego. Co się staje, że jedna cząstka przylepia się do dna przełyku, a inna zostaje wyrzucona nazewnątrz, nie wiemy. Rzęski nie mogą być za to odpowiedzialne, gdyż ruch ich ani na chwilę nie zmienia swego tempa i charakteru. Sama protoplazma musi wykonywać jakieś zagadkowe czynności, prowadzące do połknięcia lub wyrzucenia ziarenka. Niewiadomo, czy staje się ona bardziej lepka w pewnych chwi-

lach, czy też wysuwa na spotkanie ziarenkom jakieś narządy chwytne. Wiadomo tylko, że wybór dokonywa się z zawrotną szybkością, gdyż ziarenko nigdy nie zatrzymuje się w przełyku dłużej jak 1—2 sekundy, a ziarenek takich może wpadać po kilka na raz.

Czy mechanizm połykania jest taki czy inny, jedno jest jasne, że nie na każde podrażnienie odpowiada wymoczek jednakową, stereotypową reakcją. Wśród zawiesin pobieranych także istnieją wyraźne różnice, bowiem jedne z nich są pobierane więcej, inne mniej. Najwięcej wodniczków pokarmowych tworzy pantofelek w zawiesinach substancyj pokarmowych, jak żółtko, tłuszcz, skrobia, a żadna zawiesina nie może pod tym względem porównać się z bakterjami, tym naturalnym pokarmem wymoczka. Z mieszaniny bakteryj z karminem pantofelek pochłania daleko więcej bakteryj, niż karminu. Wydaje się niezrozumiałe, że wogóle pobiera on substancje bezużyteczne lub nawet szkodliwe. Trzeba się jednak liczyć z możliwościami wymoczka, dla którego karmin, sepja i sole arsenowe są substancjami nowemi, dotąd nigdy niespotykanemi. Być może przypominają mu one pod jakiemiś względami pokarm? Nie jest wcale rzadkiem zjawiskiem, że człowiek śmiertelnie zatruje się grzybami, które smakują mu znakomicie. Ciekawe, dlaczego nikt z tego powodu nie nazwie go automatem, nastawionym na pochłanianie wszystkiego, co mu podadzą na talerzu. Gdyby pantofelek stale przebywał w środowisku karminowem i wciąż napychał się karminem, nie przynoszącym mu żadnego pożytku, moglibyśmy zwątpić o jego inteligencji.

Tak jednak nie jest, bowiem już po kilku dniach wymoczek przestanie pochłaniać karmin i to samo dotyczy wszelkich substancyj, nie służących mu za pożywienie. Jest to skomplikowana sprawa. W tem miejscu wystarczy zaznaczyć, że stosunek wymoczka do różnego rodzaju zawiesin jest bardzo zawiły i bardzo daleki od automatyzmu.

Gdyby człowiek, obok mięsa i chleba, z równym apetytem pochłaniał cegły, piasek, tłuczone szkło i stare gazety, ród ludzki wkrótce znikłby z powierzchni ziemi. Czy może być inaczej z pantofelkiem? W jego naturalnem otoczeniu nigdy nie brak drobnych cząstek, obojętnych pod względem pokarmowym, choćby mułu, uniesionego przez fale, lub kurzu, spadającego do wody z powietrza. Nikt jednak jeszcze nie złowił pantofelka, napełnionego piaskiem albo gliną. Zato bakterje znajdziemy w nim na pewno, choćby niewiele ich było w wodzie. Pantofelek musi posiadać zdolność rozróżniania pokarmu, zdrowy rozsądek dyktuje nam odrazu wniosek, do którego dochodziliśmy żmudną drogą eksperymentów naukowych. Pantofelek jest wąskim specjalistą, jego wykształcenie chemiczne jest zaniedbane. Ale umie on to, czego potrzebuje w życiu codziennem. W tem też jest wyższy od nas, ludzi, którzy napychamy naszą biedną głowę masą niepotrzebnych wiadomości, a w razie istotnej konieczności jesteśmy bezradni, bowiem w składzie starych gratów nie potrafimy znaleźć tego, czego właśnie poszukujemy.

ROZDZIAŁ VIII

ODDYCHANIE

DO najwspanialszych rozkoszy tego świata należy swobodne oddychanie. Nie zdajemy sobie z tego sprawy, bowiem zwykle dowiadujemy się o wartości rzeczy dopiero po jej stracie. Wiedzą coś o tem ludzie, którzy miewają ataki duszności. Gdy atak przeminie i płuca znowu mogą zaczerpnąć powietrza, dopiero uczymy się cenić boski żywioł. Wiedzą o tem nurkowie — poławiacze pereł, znają oni uczucie szalonego gniecenia, nadludzkiego bólu, gdy oczy zdają się wyłazić z orbit, uczucie tak przemożne, że jest wprost nie do wiary, aby organizm ludzki mógł coś podobnego wytrzymać. I wszystko to ustaje odrazu, skoro odetchniemy powietrzem. Niedarmo Grecy antyczni czcili powietrze jako bóstwo.

Nic dziwnego, że z zakłóceniem oddychania związane są tak potężne przeżycia. Bowiem u wszystkich istot żywych oddychanie jest procesem zasadniczej wagi. Dzięki niemu organizm zdobywa energję, potrzebną mu do wykonywania wszelkich czynności życiowych. Gdyby wyczerpały się jej zapasy, ustrój żywy stanąłby w swoim ruchu, jak staje zegarek, w którym pękła sprężyna. W motorze spalinowym ciepło, wyzwolone ze spalania gazów, zostaje przetwo-

rzone w pracę i dzięki temu motor może funkcjonować. Zupełnie podobnie w ustroju żywym substancje pokarmowe ulegają utlenieniu, czyli spalają się, i kosztem spalania wyzwala się energja, która umożliwia życie. Jak w motorze po spaleniu gazów wydala się bezużyteczne odpadki w postaci dwutlenku węgla i innych gazów niepalnych, tak produkcja dwutlenku węglowego, wydalanego z organizmu, niezbędnie towarzyszy spalaniom organicznym. Jest to prawo tak zasadnicze i tak powszechne, że pantofelek nie może mu nie ulegać. Musi on pobierać tlen, spalać różne substancje w swoim organizmie, wyzwalając w ten sposób energję, i musi wydalać dwutlenek węgla. To są rzeczy poważne, panie pantofelku, to nie tropizmy i nie odrzucanie jakiejś tam siarki. Tu jest wyższy mus, którego nie wolno lekceważyć!

Niezbędność tlenu w życiu naszego wymoczka wynika z prostego doświadczenia. Do rurki szklanej,

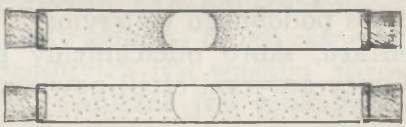


Fig. 69. Zachowanie się pantofelka względem pęcherzyka powietrza. U góry po pół godzinie, u dołu po 3 godzinach (Zweibaum, zmienione)

długości powiedzmy 10 cm i średnicy wewnętrznej 2 mm, zatopionej na jednym końcu, wprowadzimy wodę z wymoczkami i zamkniemy rurkę szczelnie przylegającym korkiem gumowym, pod którym pozostawimy trochę powietrza. Przechylając rurkę kor-

kiem w dół, doprowadzamy pęcherzyk powietrza do środka rurki, potem kładziemy rurkę poziomo (Fig. 69). Pantofelki, rozproszone w całej rurce, zbiorą się z obu stron wpobliżu pęcherzyka powietrza, dając tem dowód swej dążności do tlenu. Po pewnym czasie, zależnym od wielkości pęcherzyka i liczby pantofelków w rurce, zwierzątka znowu rozproszą się w całej cieczy. Widocznie cały tlen, zawarty w pęcherzyku, został zużyty i pantofelki udały się na poszukiwanie gdzie indziej. Po paru dniach nie znajdziemy w rurce ani jednego żywego wymoczka, a przytem liczne leżące wszędzie trupy są pokurczone i zniekształcone, jakgdyby zwierzątka stoczyły jakąś śmiertelną walkę. Bez tlenu niema życia!

Tyle już razy przekonaliśmy się, że pantofelek pokpiwa sobie z logiki ludzkiej, a wciąż nie możemy się do tego przyzwyczaić. Mówimy mu: bezwzględnie i bezapelacyjnie musisz pobierać tlen i wydalać dwutlenek węgla. A wymoczek odpowiada na to: owszem, mogę to robić. Ale nie uznaję żadnego musu!

Rzeczywiście, sprawa ta u pantofelka wcale nie jest tak przejrzysta. Oto są fakty. 50 cm sześciennych cieczy, w której miały żyć pantofelki, przegotowano gruntownie i wlano do szklanego naczynia o trzech kranach. Naczynie posiadało dotarty korek i po zamknięciu kranów było zupełnie odizolowane od powietrza atmosferycznego. Przez ciecz w naczyniu przepuszczano w ciągu 10 minut strumień azotu, starannie oczyszczonego od resztek tlenu. Następnie do naczynia wprowadzono 10 cm sześciennych wody z wymoczkami i przez wszystko to znowu przepuszczano azot. Ostatecznie zamknięto szczelnie wszy-

stkie krany. Zatem w całem naczyniu i w cieczy nie było wcale tlenu, który został usunięty przez azot. Pantofelki po pewnym czasie zaczęły ginąć. Jednak ich odporność na brak tlenu była nadzwyczaj różna: jedne z nich zginęły już po paru godzinach, inne zaś żyły do 10 dni i dłużej. Oto prawdziwie sensacyjny wynik! Wymoczek, którego procesy życiowe przebiegają w tak zawrotnem tempie, który musi wydatkować znaczne ilości energji i który został całkowicie odcięty od źródła dopływu tlenu, może żyć do 10 dni, co jest przecież dla niego całą wiecznością. Nie jest do pomyślenia, aby w ciągu tych 10 dni pantofelki korzystały z dawnych zapasów tlenu, które niewiadomo gdzie mogłyby się ukryć. Skoro zwierzęta żyją i funkcjonują, muszą one produkować energję jakimś innym sposobem, nie przez utlenianie.

Po zbadaniu takich „beztlenowych" wymoczków pod mikroskopem stwierdzono, że zawierały one w endoplazmie bardzo różną ilość glikogenu, który w trakcie doświadczenia wyczerpywał się szybko. Przypominam, iż glikogen jest substancją zapasową pantofelka, spokrewnioną ze skrobią roślinną. Do pewnego stopnia udało się ustalić, że im więcej glikogenu zawierał wymoczek, tem dłużej mógł żyć w warunkach beztlenowych. Wogóle zmiany, zachodzące w pantofelkach w ciągu ich życia beztlenowego, bardzo przypominają zmiany głodowe. Jeśli pantofelki umieścić w czystej wodzie, nie zawierającej żadnego pokarmu, ale o normalnej zawartości tlenu, zwierzątka zużywają stopniowo swoje zapasy glikogenu i po paru dniach glikogen znika z endoplazmy. Jednocześnie poszczególne ziarenka endoplazmy, stale

w niej obecne, jak to wiemy z rozdziału II-go, zaczynają powiększać swoją objętość. Ziarenka te są w istocie bardzo drobnemi kropelkami cieczy, posiadającemi własną błonkę, dzięki której nie zlewają się z sobą. Czasem kropelki te są tak drobne, że nie wi-

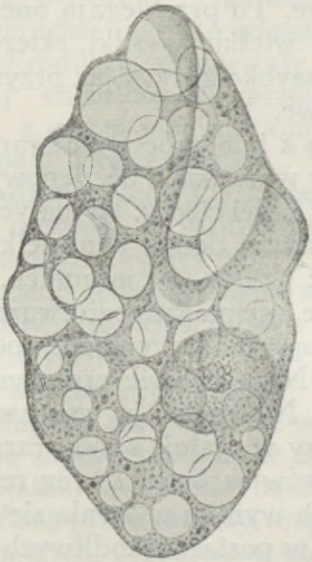


Fig. 70. Pantofelek głodzony (Wallengren)

dać ich nawet przez silny mikroskop. Podczas głodu natomiast kropelki zwiększają się kolosalnie, stają się dużemi pęcherzykami, większemi od wszelkich wodniczków pokarmowych, a nawet od jądra. Przekształcają one endoplazmę w rodzaj piany (fig. 70), czemu towarzyszy zwykle deformacja całego ciała. W atmosferze beztlenowej już po 2 — 3 dniach wy-

stępuje taka właśnie zmiana wyglądu endoplazmy. U wymoczków głodzonych w zwykłem powietrzu daje się ona zaobserwować dopiero po 10 dniach lub więcej. Istotnie więc zjawiska, występujące u wymoczków w atmosferze azotu, przypominają typowe zmiany głodowe. Tu przebiegają one tylko prędzej. Organizm robi wielkie wysiłki, skierowane ku zdobyciu energji, szybko zużywając przytem swoje substancje zapasowe.

Porównajmy z tem proces umierania pierwotniaków również w warunkach beztlenowych, ale zato w możliwie małej ilości cieczy. W małych kroplach wody, pozbawionych tlenu, pantofelki giną bardzo prędko, bo już po 10—30 minutach. Niema teraz mowy o głodzie, niema żadnego tworzenia się pęcherzyków w endoplazmie, wymoczek poprostu rozpływa się i ginie. Niewątpliwie przyczyna jego śmierci musi być inna. Nietrudno ją wskazać. Czy w dużej ilości cieczy, czy w małej, w obu razach w organizmach pantofelków zachodzi szereg reakcyj chemicznych, w których wyniku wyzwala się energja i powstają odpadki, w postaci szkodliwych dla wymoczka substancyj, które zostają wydalone z ciała. Te substacje rozpadowe, skupiające się w dużej ilości cieczy, są mało szkodliwe z powodu swego znacznego rozcieńczenia. Ale gdy cieczy jest bardzo mało, a liczba wymoczków w niej jest znaczna, stężenie substancyj rozpadowych wzrasta ponad miarę i prowadzi do zatrucia zwierzątek. Charakterystyczne jest przytem, że jeśli wymoczkom, które przebywały w atmosferze beztlenowej i które zaczynają wykazy-

wać objawy degeneracji, dostarczyć tlenu, szybko powracają one do normy.

Zrobimy jeszcze trzecią próbę, aby nic nie mieć sobie do wyrzucenia. Do bardzo małej ilości cieczy dajemy możliwie dużo pantofelków i pozostawiamy je na powietrzu. Po około 12 godzinach wymoczki umierają, najwyraźniej zatrute własnemi produktami wydalania. Produkty te powstały tym razem w wyniku reakcyj chemicznych, przebiegających w obecności tlenu, a zatem powinny one różnić się od produktów rozpadu beztlenowego. W tej trzeciej próbie doprowadzenie tlenu nie może już uratować wymoczków, co dowodzi, że istotnie produkty rozpadu są w tym przypadku jakieś inne. I jedne i drugie działają trująco, ale jedna trucizna zostaje natychmiast unieszkodliwiona przez dopływ tlenu, druga zaś jest na to niewrażliwa.

Jaki wniosek wynika z tych badań? Bardzo ważny. Bowiem dowiadujemy się z nich, że wymoczek nasz, zgodnie ze swoją zapowiedzią, może zaopatrywać się w energję dwojakim sposobem: bądź przez zwykłe utlenianie, bądź też przez procesy rozpadowe w warunkach beztlenowych, przyczem w obu razach powstają chemicznie różne produkty rozpadu.

Niesłychane rzeczy wyprawiamy z tym pantofelkiem! Wsadzamy go do więzienia, nie dajemy mu jeść, każemy mu oddychać azotem, a w dodatku mamy do niego pretensję, że nie chce nam zdradzić swoich tajemnic. To są tortury inkwizycyjne, a nie badanie. Dajcież wymoczkowi jakąś swobodę działania, jakąś możność wyboru i wtedy dopiero pytajcie go, co woli. Jest podziwu godne, że pantofelek

może wytrzymać przez 10 dni w czystym azocie. Dowodzi to jego niezwykłej odporności, ale niewiele mówi o jego normalnych potrzebach życiowych. Zobaczmy, co robi wymoczek w warunkach, w których się dobrze czuje, może normalnie pływać, pobierać pokarm, rozmnażać się. Jakie są wtedy jego potrzeby tlenowe? W czystym azocie, doprowadzony do rozpaczy, zaczyna on pożerać swoje własne ciało i z własnej krwi i kości wytwarza sobie energję. To nie jest życie, są to raczej rozpaczliwe próby obrony przed śmiercią.

Jak się okazuje, i tym razem pantofelek postępuje w sposób niespodziewany. W gęstych, doskonale prosperujących i energicznie mnożących się hodowlach, karmionych pożywką sianową, niema prawie wcale tlenu. Jest zato dużo siarkowodoru, który jest naturalnym wrogiem tlenu. Dokładniejsze badania wykonano w tym względzie nie na pantofelku, lecz na jego bliskim krewniaku, wymoczku *Colpidium*. Niema wątpliwości, że i u pantofelka stosunki są podobne. W dużej ilości pożywki sianowej, zawierającej bakterje i *Colpidium*, występuje tak nazwany „cykl tlenowy", trwający około 10—14 dni, co zależy zresztą w znacznym stopniu od objętości cieczy hodowlanej. W pierwszych fazach rozwoju hodowli mnożą się gwałtownie bakterje, zużywające bardzo dużo tlenu. Wymoczków jest wtedy niewiele, nie zdążyły one jeszcze się rozmnożyć. Dzięki działalności bakteryj ilość tlenu w cieczy hodowli maleje bardzo szybko, aż spada praktycznie do zera. Zarazem zaczynają mnożyć się wymoczki, pożerające bakterje. Ilość bakteryj zmniejsza się, gdyż wymoczków wciąż przy-

bywa, a są one wiecznie głodne, w związku z tem zaś zaczyna znowu zwiększać się ilość tlenu w cieczy, który przenika z atmosfery przez wolną powierzchnię i który jest zużywany w coraz to mniejszym stopniu. Teraz jednak liczebność wymoczków zaczyna maleć. Przytoczę wynik jednej takiej obserwacji. Pierwszy rząd poziomy poniższej tabelki odpowiada kolejnym dniom hodowli. W rzędzie drugim podane są ilości tlenu, obliczone w miligramach na każde 100 cm sześciennych cieczy hodowli. W rzędzie trzecim mamy odpowiednie liczby wymoczków, w tysiącach, przeliczone także na każde 100 cm sześciennych cieczy.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,47	0,05	0	0	0	0	0,04	0,11	0,25	0,26	0,28	0,35
—	mało	7	44	162	252	180	108	72	30	10	mało

Największa liczba wymoczków przypada na okres rozwoju hodowli, w którym niema w niej wcale tlenu. Później zaczyna pojawiać się tlen (od 6-go dnia), co zależy oczywiście od zmniejszenia się w międzyczasie liczby bakteryj, a jednocześnie maleje szybko liczebność wymoczków. Skoro nasycenie cieczy tlenem zaczyna zbliżać się do nasycenia początkowego, wymoczki w niej wymierają niemal doszczętnie. Wymoczki nie lubią tlenu, to jasne.

Ale mieliśmy im dać możność swobodnego wyboru warunków. Więc proszę, wszystko jest na wasze usługi. Oto jest naczynie z pierwszorzędną pożywką sianową i wyborowemi bakterjami. Tu jest wolna i niczem nieprzymuszona powierzchnia cieczy, tu

jest tlen, tu jest góra, tam jest dół. Urządzajcie się jak chcecie. Czem chata bogata.

Wiemy już, że w gęstych, dobrze odżywianych hodowlach pantofelków, większość wymoczków przebywa w górnych warstwach cieczy. O ile tylko starczy miejsca, tworzą one pierścień tigmotropiczny dokoła ścianki, położony o kilka lub kilkanaście milimetrów pod powierzchnią cieczy. Szerokość pierścienia jest nieznaczna, wynosi zwykle zaledwie parę milimetrów. Gdy jeden wymoczek oderwie się od ścianki, natychmiast jego miejsce zajmuje inny, ale takie osiadanie odbywa się tylko na określonym poziomie, ani wyżej, ani niżej. W głębszych warstwach cieczy tlenu niema. Nie mniej znajdziemy tam dużo doskonale wyglądających i najzdrowszych wymoczków, które pływają spokojnie na wszystkich głębokościach, bynajmniej nie kwapiąc się ku górze. Tlen atmosferyczny przesiąka naturalnie przez powierzchnię, ale odbywa się to bardzo powoli, a po drodze zostaje on intensywnie wyłapywany przez niezliczone bakterje. Ilość jego maleje bardzo szybko wraz ze wzrostem głębokości i na poziomie, na którym tworzy się pierścień tigmotropiczny, jest jego bardzo niewiele. Najwyraźniej pantofelki wolą mniej tlenu. Nikt ich przecież do niczego nie przymusza, mogłyby doskonale wypłynąć na wierzch i odetchnąć świeżem powietrzem. Ale ani im to w głowie.

Więc jakże będzie z tym tlenem? Nie mamy żadnych dowodów, aby pantofelek specjalnie kochał tlen. Nie może on żyć długo zupełnie bez tlenu, ale zadawala się jego minimalną ilością i, jak się zdaje, w tych właśnie warunkach czuje się najlepiej. Po-

wiedzieliśmy przedtem, że pantofelki giną w cienkich i szczelnie zamkniętych rurkach. Nie dowodzi to wcale ich potrzeb tlenowych, bowiem śmierć może być skutkiem samozatrucia przez nagromadzenie w małej objętości cieczy nadmiernych ilości produktów rozpadu. Staje się to prawdopodobne po uwzględnieniu następującej obserwacji. W rurce takiej umieraniu wymoczków towarzyszą stałe i charakterystyczne zmiany cielesne. Ruchy zwierzątek stają się powolne, wymoczki opadają na dno, zwiększają się znacznie ich wodniczki kurczliwe, na powierzchni ciała pojawiają się bąble, które wkrótce pękają. Jak się okazuje, dokładnie te same zmiany przedśmiertne udało się wywołać u pantofelków zapomocą różnych trucizn. Celowo zatruwane wymoczki dają ten sam obraz mikroskopowy, możemy poniekąd naśladować zmiany, jakie towarzyszą ich rzekomemu uduszeniu.

Jako dowód przychylnego stosunku pantofelka do tlenu przytacza się często doświadczenie z tlenotropizmem. Do zwykłego preparatu wymoczkowego, który służył nam do oglądania zjawisk chemotropizmu, wpuśćmy pęcherzyk tlenu, a wymoczki obsiądą go dokoła. Jeśli przebywały przedtem w wodzie przegotowanej, z której wypędziliśmy tlen, zjawisko stanie się jeszcze wyraźniejsze. Jednakże to samo zjawisko zajdzie, gdy zamiast tlenu wpuścimy pod szkiełko pęcherzyk dwutlenku węglowego. Nikt nie zechce twierdzić, że pantofelki odczuwają potrzebę dwutlenku, który jest produktem ich wydalania. W atmosferze czystego dwutlenku węgla wymoczki giną najdalej po 2—3 godzinach. Niewątpliwie jest

to substancja silnie trująca dla wymoczków. Ich skupianie się dokoła pęcherzyka dwutlenku jest raczej wyrazem reakcji chemotropicznej względem słabego kwasu, jakim jest kwas węglowy. Podobnież skupianie się wymoczków dokoła pęcherzyka tlenu nie dowodzi jeszcze ich potrzeb tlenowych.

Próbowano podejść do całej tej sprawy z innej nieco strony. Wspomniane wymoczki *Colpidium* hodowano w różnych naczyniach, uwzględniając najrozmaitsze stosunki objętości cieczy i jej wolnej powierzchni. Naogół dało się stwierdzić, że po pewnym czasie liczba osobników pierwotniaczych w hodowli była zależna nie tyle od objętości cieczy hodowlanej, ile od wielkości jej powierzchni, stykającej się z powietrzem atmosferycznem. W naczyniach różnego kształtu i różnej pojemności, ale posiadających jednakową powierzchnię, liczba wymoczków była zbliżona. Ponieważ wolna powierzchnia cieczy jest źródłem dopływu tlenu, możnaby wnosić, iż tlen jest właśnie czynnikiem, regulującym liczebność hodowli. Przy tej sposobności wypadło, iż w naczyniach o zmniejszonej wolnej powierzchni cieczy wymoczki mnożyły się lepiej. Gdy się weźmie pod uwagę, iż powierzchnia ta jest nietylko źródłem dopływu tlenu, ale i miejscem, w którem ciecz uwalnia się od nagromadzonych w niej lotnych produktów rozpadu, jak dwutlenek węgla, amonjak i t. p., dojdziemy do smutnego wniosku, że znowu nie wiemy, czy wymoczki potrzebują dużo tlenu, czy mało.

Te same *Colpidium* hodowano wreszcie w szczelnie zamkniętych rurkach, w których nad cieczą znaj-

dowała się różna ilość powietrza. Wynik tych doświadczeń podaje następująca tabelka.

Pojemność rurki w cm^3	28	24	24	28	24
Ilość powietrza w %	50	29	16	7	0
Długość życia w dniach	8	4	3	2	0,5

Co stąd wnioskować? Im większa jest ilość powietrza nad cieczą, tem dłużej żyją wymoczki. Może to zależeć od tego, że wymoczki potrzebują tlenu i giną w jego nieobecności. Ale nie mniej możliwe jest, iż im większa objętość powietrza w rurce, tem łatwiejsza staje się wentylacja cieczy i tem mniej pozostaje w niej trujących produktów rozpadu. Nie analizowano gazów, zawartych w powietrzu nad cieczą i nie badano zmian chemicznych w środowisku wymoczków. Nic więc określonego z doświadczenia nie wynika.

Sprawa jest, jak widzimy, bardzo trudna. Doświadczenia i pomiary dokonywane są na całej hodowli pierwotniaczej, w której prócz wymoczków żyją najrozmaitsze bakterje. Gdyby ktoś chciał zbadać potrzeby tlenowe człowieka i w tym celu przykryłby szklanym kloszem całe miasto na przeciąg dziesięciu lat, analizując potem, ile pod kloszem jest tlenu, a ile dwutlenku węgla, śmianoby się z niego bardzo. Prócz człowieka, są w mieście psy, koty i konie, muchy, pluskwy i pchły, są rośliny, są piece, a wszystko to zużywa tlen i wydala dwutlenek węgla. W zasadzie wszystko to jest także i w hodowli pierwotniaczej. Ostatnio zabrano się do sprawy w sposób bardziej precyzyjny: wymierzono ilość tlenu, pochłanianego przez pojedyńczego wymoczka. Łatwo

sobie wyobrazić, jak minimalne muszą to być ilości i jak ciężkie jest w tym przypadku zadanie eksperymentatora. Nie mniej dokonano tego. Do ceniutkiej rureczki włoskowatej wsysa się jednego pantofelka wraz z pewną ilością cieczy hodowlanej, poczem za-

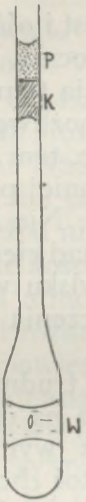


Fig. 71. Aparat do badania oddychania pantofelka (mikrorespirometr). W kropli wody znajduje się jeden pantofelek, W. K. — warstewka wodorotlenku potasowego, służąca do pochłaniania dwutlenku węgla, P — kropla oleju parafinowego. W miarę pochłaniania tlenu przez wymoczka, przesuwa się słupek cieczy, zamykający rurkę, co odczytuje się pod mikroskopem (Kalmus, zmienione).

myka się rureczkę kroplą roztworu wodorotlenku potasowego. Pomiędzy cieczą z wymoczkiem a wodorotlenkiem znajduje się pęcherzyk powietrza, przeszkadzający ich zetknięciu się, które byłoby dla pantofelka śmiertelne. Przeciwległy koniec rureczki zostaje szczelnie zamknięty. Taką rureczkę z wymoczkiem umieszcza się pod mikroskopem, dbając specjalnie o jej stałą temperaturę, i wymierza się dokładnie położenie zamykającego ją słupka wodorotlenku. W miarę jak wymoczek zużywa tlen, maleje

objętość powietrza w rurce, gdyż powstający przytem dwutlenek węgla zostaje pochłonięty przez roztwór wodorotlenku potasowego. Słupek wodorotlenku przesuwa się i z jego przesunięć można wyliczyć, ile tlenu pobrał wymoczek. Aby dać czytelnikowi pewne o tem pojęcie, powiem, że przeciętnie w ciągu jednej godziny pantofelek pobiera 0,00000395 cm sześciennych tlenu. Jest to dość pokaźna ilość. Po przeliczeniu jej na objętość ciała znajdziemy, że wymoczek pobiera nie mniej tlenu, niż zwierzęta wyższe.

Tak więc nasz wniosek ostateczny w sprawie oddychania jest mało pocieszający. Pantofelek może zużywać dużo tlenu, a może obywać się bez tlenu, względnie zadawalać się minimalną jego ilością. Skala jego możliwości jest pod tym względem olbrzymia. Co jest dla niego normalne, nie wiemy. W swoich przyrodzonych warunkach pantofelek musi być przygotowany na wszelkie możliwości. Gdy pływa on w czystej wodzie, poszukując pokarmu, znajduje się w środowisku, obfitującem w tlen. Wtedy pobiera dużo tlenu i z procesów spalania czerpie swoją energję. Gdy zaś zapuści się w okolice, gdzie dużo jest bakteryj, wpada do środowiska o bardzo małej zawartości tlenu, bowiem liczne bakterje zużywają ogromne jego ilości. Pantofelek nie może teraz cofnąć się, niemile uderzony panującym tu zaduchem. Ten zaduch, to jego sala jadalna, tam gdzie jest świeże powietrze, można zginąć z głodu. Wobec tego pantofelek osiada wpobliżu bakteryj i nasyca się, skierowując jednocześnie swoje procesy rozpadowe na drogi beztlenowe. Jak się wydaje, normalne

dla pantofelka nie jest ani obfitość tlenu, ani jego ubóstwo. Raczej normalna jest ciągła zmiana.

Procesy oddechowe pantofelka znamy jeszcze bardzo powierzchownie, co zaś da ich głębsze poznanie, oparte na dokładnych analizach chemicznych, tego nikt dziś przewidzieć nie zdoła. Pantofelek jest kapryśny i nieobliczalny, niejedną może nam jeszcze zgotować niespodziankę.

ROZDZIAŁ IX

WYDALANIE

NIERAZ już w tej książce była mowa o wysokich materjach: o motywach działania, o decyzji i aktach woli, o podnietach zwykłych i symbolicznych. Ale zwiedzaliśmy nietylko salony recepcyjne pantofelka, zajrzeliśmy także do jego kuchni i widzieliśmy tam parę rzeczy, które warto było poznać. Proponuję teraz czytelnikowi jeszcze większą ofiarę, bo zwiedzenie śmietnika pantofelka. Jeśli widzieliśmy, jak w kuchni przygotowuje się potrawy, spójrzmy także, jak wyrzuca się z niej bezużyteczne odpadki. Że we wszelkiej pracy kucharskiej muszą być różne odpadki, zaśmiecające kuchnię, i że trzeba je wyrzucić, to rozumie się samo przez się. Idzie o to, jak ta sprawa jest zorganizowana. Jak zawsze, zagadnienie jest zawiłe i trudne.

Narządem wydalania pantofelka, czyli urządzeniem, którego zadaniem jest właśnie wyrzucanie bezużytecznych odpadków na śmietnik, są znane nam z rozdziału II-go *wodniczki kurczliwe*. Są to dwa pęcherzyki, położone na obu końcach ciała i zawierające przezroczystą ciecz. Co pewien czas, zależnie od warunków, wodniczek nagle zwęża się i znika, za parę chwil ukazuje się na nowo w tem samem miejscu i w tej samej postaci, znowu znika i t. d.

Wodniczki, jak mówimy, wykonywują prawidłową pulsację, posiadają swoją rytmikę. Jeśli do preparatu z pantofelkami dodać kroplę nierozcieńczonego tuszu, wymoczki zostaną otoczone czarną, nieprzezroczystą masą, od której odbijają jaskrawo. Nastawiając mikroskop na wodniczek kurczliwy zauważymy, iż w chwili jego znikania zostaje wydalona z ciała pantofelka kropla przezroczystej cieczy. Zawartość wodniczka kurczliwego zostaje więc w chwili skurczu wydalona nazewnątrz.

Przyjrzyjmy się takiemu wodniczkowi. Ma on postać prawidłowej, kulistej kropli, wyraźnie odgraniczonej od otaczającej go ziarnistej endoplazmy. Wpobliżu wodniczka dostrzeżemy kilka kanalików (jest ich od 7 do 10), ułożonych promieniście dokoła wodniczka i tworzących rodzaj gwiazdki (fig. 72). Wszystkie kanaliki, zwane *kanałami doprowadzającemi*, leżą mniej więcej w jednej płaszczyźnie. Część dośrodkowa każdego kanału, skierowana w stronę wodniczka, jest rozszerzona na podobieństwo buteleczki lub kolby chemicznej, część odśrodkowa natomiast jest bardzo cienką rurką, zwężającą się ku obwodowi. Kanały sięgają na dość znaczną odległość, docierają one prawie do środka ciała, choć zwykle wydają się krótsze. W chwili wydalenia wodniczka, pęcherzyk środkowy znika bez śladu i tylko ziarnista endoplazma pozostaje na jego miejscu. Podczas skurczu kanały doprowadzające zbiegają się ku środkowi. Zaraz po wydaleniu kanały pęcznieją jeszcze bardziej, napełniają się przezroczystą cieczą, którą wysysają z endoplazmy, potem ich rozszerzone dośrodkowe końce zaczynają zlewać

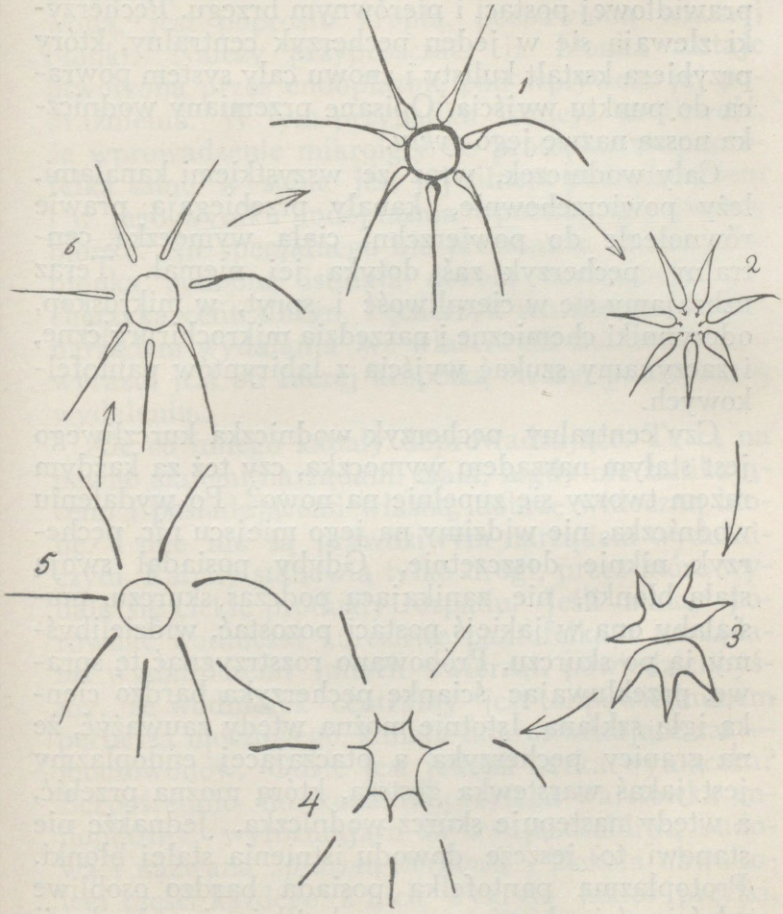


Fig. 72. Cykl wodniczka kurczliwego (Pütter)

się z sobą, najczęściej po kilka. Powstaje w środku całego układu dwa lub więcej pęcherzyków, o nie-

prawidłowej postaci i nierównym brzegu. Pęcherzyki zlewają się w jeden pęcherzyk centralny, który przybiera kształt kulisty i znowu cały system powraca do punktu wyjścia. Opisane przemiany wodniczka noszą nazwę jego *cyklu*.

Cały wodniczek, wraz ze wszystkiemi kanałami, leży powierzchownie, kanały przebiegają prawie równolegle do powierzchni ciała wymoczka, centralny pęcherzyk zaś dotyka jej niemal. Teraz uzbrajamy się w cierpliwość i spryt, w mikroskop, odczynniki chemiczne i narzędzia mikrochirurgiczne, i zaczynamy szukać wyjścia z labiryntów pantofelkowych.

Czy centralny pęcherzyk wodniczka kurczliwego jest stałym narządem wymoczka, czy też za każdym razem tworzy się zupełnie na nowo? Po wydaleniu wodniczka, nie widzimy na jego miejscu nic, pęcherzyk niknie doszczętnie. Gdyby posiadał swoją stałą błonkę, nie zanikającą podczas skurczu, musiałaby ona w jakiejś postaci pozostać, widzielibyśmy ją po skurczu. Próbowano rozstrzygnąć tę sprawę, przekłuwając ściankę pęcherzyka bardzo cienką igłą szklaną. Istotnie można wtedy zauważyć, że na granicy pęcherzyka a otaczającej endoplazmy jest jakaś warstewka gęstsza, którą można przebić, a wtedy następuje skurcz wodniczka. Jednakże nie stanowi to jeszcze dowodu istnienia stałej błonki. Protoplazma pantofelka posiada bardzo osobliwe właściwości, bowiem przy każdej niemal okazji tworzy ona błonki. Taką nowoutworzoną błonką otoczony jest np. wodniczek pokarmowy, o ile zawiera w swojem wnętrzu jakieś cząstki stałe. Wo-

dniczek pokarmowy natomiast, napełniony tylko wodą, jest poprostu kroplą, pozbawioną własnej błonki. Należy przypuszczać, iż błonka zostaje utworzona przez endoplazmę pod wpływem jej podrażnienia. W tym przypadku istnieje możliwość, że wprowadzenie mikroigły do protoplazmy pantofelka samo w sobie jest jej silnem podrażnieniem i w jego wyniku endoplazma wpobliżu igły tworzy błonkę. Nic specjalnego nie przemawia za tem, aby błonka podobna istniała dokoła normalnego pęcherzyka centralnego. Pęcherzyk ten nie jest zatem narządem wydalania we właściwem znaczeniu tego wyrazu, jest on raczej kropelką cieczy, podlegającą wydaleniu.

Ale co innego kanały doprowadzające. Te są na pewno stałemi narządami ciała, nigdy nie zanikającemi i posiadającemi własną, dobrze widoczną błonę. I one nie są prawdziwym narządem wydalniczym. Kanały stanowią tylko drogi, przez które wydala się ciekłe produkty rozpadu. Jeśli mamy porównać wodniczki kurczliwe pantofelka z narządami wydalniczemi innych zwierząt, powiedzielibyśmy, że wodniczek centralny jest odpowiednikiem pęcherza moczowego, kanały doprowadzające zaś — moczowodów. Gdzie jest jednak nerka wymoczka? Bezpośrednio do kanałów przylega warstewka endoplazmy, wyróżniająca się swoją osobliwą budową i nazwana *„plazmą nerkową“*. Dokoła obwodowej części każdego z nich wykryto jakieś pręciki, stojące prostopadle do powierzchni kanału i zgrubiałe na swoich wolnych końcach (fig. 73). Są to twory nadzwyczaj drobne i trudne do dokładnego

obserwowania. Nie znamy też ich bliższej struktury. Czasem pręciki łączą się z sobą w rodzaj masy gąb-

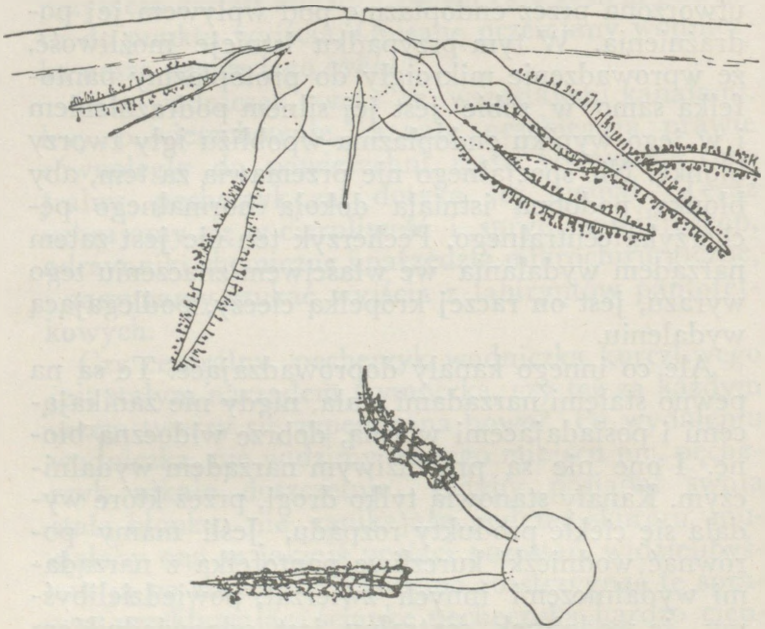


Fig. 73. Budowa wodniczka kurczliwego. Odśrodkowe końce kanałów doprowadzających otoczone są „plazmą nerkową" (Gelei)

czastej, oplatającej odśrodkową połowę kanału. Uderzające jest wielkie podobieństwo całego tego układu do budowy komórek wydalniczych w nerkach płazów! Właśnie z tej plazmy nerkowej wstępuje do kanału woda.

Woda, wchodząca do kanału, powoduje jego rozdęcie, dobrze widzialne początkowo w obwodowej

jego części, potem wędrujące dośrodkowo. Wreszcie nabrzmiałe końce kanałów, zwrócone ku środkowi, zlewają się z sobą, tworząc centralny pęcherzyk. Nie powiem, aby proces ten był specjalnie jasny. Jeśli kanały doprowadzające posiadają własną, stałą błonę, jakim sposobem ich końce dośrodkowe mogą zlewać się z sobą? Dlaczego błona temu nie przeszkadza i co się z nią staje po zlaniu? Coś tu się nie zgadza. Raczej możnaby przypuścić, iż zawartość każdego kanału zostaje poprostu wylana do endoplazmy w postaci kropli i że krople te zlewają się z sobą w jeden pęcherzyk.

Istnieje inny jeszcze składnik aparatu wydalniczego: jest to *kanał odprowadzający*. Króciutki ten

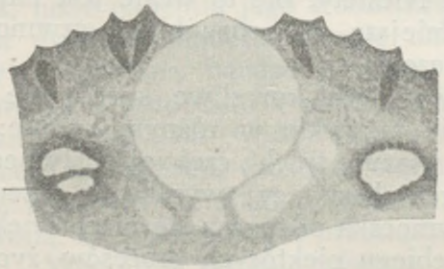


Fig. 74. Przekrój pantofelka na poziomie wodniczka kurczliwego (Fortner). N. Pl — protoplazma nerkowa

kanalik, przebijający ektoplazmę, zamknięty jest od zewnątrz cienką błonką. Kanalik jest prawdopodobnie stałą, niezanikającą strukturą, błonka zaś tworzy się za każdym razem na nowo. W chwili wydalenia pęcherzyka centralnego, błonka przerywa się, ciecz wylewa się nazewnątrz, a protoplazma tworzy na kanaliku nową błonkę zamykającą. Sto-

sunki te ukazuje nasza fig. 74. Widzimy na niej, że wodniczek centralny oddzielony jest od otaczającego wymoczka środowiska tylko cienką błonką. Punkt, w którym następuje wydalenie, można do pewnego stopnia rozpoznać na powierzchni pantofelka. W jego najbliższem otoczeniu kilka pól pellikularnych (p. rozdział II) pozbawione jest rzęsek.

Tak w najogólniejszych zarysach przedstawia się budowa aparatu wydalniczego pantofelka. Jego różne części składowe, jak np. pręciki „plazmy nerkowej“ lub błonka zamykająca kanał odprowadzający, są nieraz tak drobne, że właściwie leżą już blisko granicy możliwości mikroskopu. Dlatego też nasze wiadomości o subtelnej strukturze aparatu nie są zupełne. Niestety, nie to wcale jest najtrudniejsze. Najtrudniejsze jest rozwikłanie czynności narządu wydalniczego.

Oba wodniczki kurczliwe kurczą się niezależnie od siebie i zwykle w różnym rytmie: wodniczek przedni pracuje trochę częściej od tylnego. Wogóle z pewnych obserwacyj wynika, że przednia połowa ciała wymoczka odznacza się nieco większą szybkością przebiegu niektórych procesów życiowych, np. prędzej przebiegają w niej procesy utleniania, większa jest w tem miejscu wrażliwość na różne trucizny i t. p. Przeciętnie, w zwykłej temperaturze pokojowej, przypada około trzech skurczów na minutę na każdy wodniczek. Dokładniejsze liczby przytoczę trochę niżej.

Jaki jest mechanizm skurczu? Od czego zależy to zjawisko? Wodniczek niknie bardzo szybko, najwyżej w ciągu jednej sekundy zmniejszając się z dość

dużej kulistej kropli do zera. Gdyby posiadał elastyczną błonkę, sprawa byłaby załatwiona. Błonka kurczy się i wyciska swoją zawartość nazewnątrz, jak robi to ściśnięta w ręku gruszka gumowa. Ale wodniczek jest tylko kroplą cieczy, leżącą w ciekłej endoplazmie. Jaka siła wydala go z ciała wymoczka? Żadne „skurcze“ endoplazmy nie są do pomyślenia, skoro jest ona substancją ciekłą; skurcz błony wodniczka także nie istnieje, gdyż sama błona jest wątpliwa. Co powoduje wydalanie wodniczka?

Pewne wejrzenie w istotę tego zjawiska stanie się możliwe po sporządzeniu modelu wodniczka. Pantofelek znajduje się w wodzie, a zatem w tem samem środowisku, jakie napełnia jego wodniczek. Na tem oparte jest działanie modelu. Kroplę chloroformu zmieszamy z odrobiną bardzo mocnego alkoholu i umieścimy ją w spodeczku z wodą. Chloroform, jako znacznie cięższy od wody, opadnie na dno, tworząc nieco spłaszczoną własnym ciężarem masę. Zawarty w chloroformie alkohol bardzo łatwo miesza się z wodą, która zacznie też przesiąkać do wnętrza kropli. Wchodząc do chloroformu, woda rozcieńcza alkohol, ponieważ zaś alkohol rozcieńczony nie miesza się z chloroformem, w kropli powstaną liczne mętne obłoczki, które będą zbierały się w większe kropelki, położone w najwyższym punkcie kropli chloroformu. Ostatecznie kropelki te zleją się z sobą i powstała kropla rozcieńczonego alkoholu zostanie wydalona do wody. Zaraz potem znowu zaczną zbierać się kropelki alkoholu, znowu nastąpi wydalenie i t. d. Otrzymaliśmy model wodniczka

kurczliwego, w którym rozcieńczony alkohol zostaje wydalony z kropli chloroformu, gdyż nie miesza się z nim, miesza się zaś ze środowiskiem otaczającem. Podobieństwo naszego modelu do pantofelka jest bardzo znaczne. W obu razach woda z zewnątrz przedostaje się do ciała i zostaje wydalona zpowrotem. W obu przypadkach zjawisko jest rytmiczne, powtarza się raz po raz w regularnych odstępach. Wobec tak znacznej zgodności w przebiegu zjawiska, możnaby wnosić o podobieństwie przyczyn. Woda, zawarta w ciele pantofelka, może zawierać więcej soli i posiadać wyższe ciśnienie osmotyczne w stosunku do wody otaczającej. Dzięki temu woda z zewnątrz musi przesiąkać do wnętrza, tak jej każe elementarne prawo fizyczne. Na dalsze poparcie słuszności naszej interpretacji przytoczę fakt, że pierwotniaki morskie, żyjące w środowisku o dużej zawartości soli i wysokiem ciśnieniu osmotycznem, często wogóle nie posiadają wodniczków kurczliwych, a jeśli posiadają, ich skurcze odbywają się daleko rzadziej. Hodując nasze pantofelki w wodzie, w której zawartość soli stale wzrasta, obserwujemy również stopniowe i znaczne zwolnienie działalności wodniczków kurczliwych. Odwrotnie, przenosząc wymoczki do wody o bardzo małej zawartości soli, obserwujemy przyśpieszenie tempa pracy wodniczków. Co prawda po krótkim czasie wymoczki przyzwyczajają się do wody bardziej rozcieńczonej i częstość ich pulsacyj powraca do stosunków normalnych. Co jest ciekawe, dodanie soli do wody w doświadczeniu z modelem także powoduje zwol-

nienie pulsacyj sztucznego wodniczka. Analogja jest więc głęboka i wielostronna.

Powoli. Gdyby tak łatwo wszystko dało się wytłumaczyć, nauka o pantofelku stałaby się zabawką dziecinną. Niestety, jest ona od tego bardzo daleka. Zjawisko posiada różne strony i powinniśmy zapoznać się z niem gruntowniej. Skąd bierze się woda w organizmie wymoczka? Mierząc średnicę wodniczka centralnego w chwili jego największego napełnienia, obliczymy łatwo, jaka objętość wody zostaje wydalona za każdym razem. Znaleziono w ten sposób, że przeciętnie, w temperaturze pokojowej, w ciągu około 45 minut pantofelek wydala objętość wody, równą objętości jego ciała! Jest to olbrzymia ilość, przez organizm wymoczka przepływa ciągły silny prąd wody. Jakie jest jej źródło? Wiemy, że zwierzę pobiera pokarm zawsze wraz z pewną ilością wody i wiemy, iż objętość wydalanego podczas defekacji wodniczka pokarmowego jest znacznie mniejsza od jego objętości początkowej. Zatem prawie cała połknięta woda wsiąka do endoplazmy i ona to właśnie zostaje usuwana za pośrednictwem wodniczków kurczliwych. Ale zróbmy mały rachunek. Niech każdy z dwóch wodniczków kurczliwych pulsuje z prędkością trzech razy na minutę. Wtedy pantofelek w ciągu jednej godziny wydali 360 kropel cieczy. W najlepszych warunkach wymoczek może utworzyć do 70 wodniczków pokarmowych na godzinę, nigdy więcej. Jest to niecała piąta część wydalanej wody. Przytem zawartość wodniczka pokarmowego składa się przecież nietylko z wody, znaczną część jego objętości stanowi pochło-

nięty pokarm, a w dodatku nie cała woda przedostaje się do endoplazmy, gdyż wydalany przy defekacji wodniczek zawiera jej trochę. Uwzględniając to wszystko, dojdziemy do wniosku, że najwyżej jedna dziesiąta część wody wydalanej z ciała pantofelka może pochodzić z wodniczków pokarmowych. Nie może być inaczej, tylko pantofelek chłonie wodę całą powierzchnią swego ciała, jego pellikula musi być przepuszczalna dla wody. Musi być jednak jakiś powód tego przesiąkania wody do wnętrza, jakaś przyczyna, powodująca jej jednostronną wędrówkę. Sama przepuszczalność pellikuli mogłaby z równem powodzeniem tłumaczyć wychodzenie wody z ciała, jak jej wchodzenie. Powodem przechodzenia wody do wnętrza jest większe stężenie różnych soli wewnątrz pantofelka, w porównaniu z jego środowiskiem. Zachodzi tu prosty proces osmotyczny, który możemy doskonale naśladować w doświadczeniu fizycznem. Właśnie podobny przykład mieliśmy w kropli chloroformu. Stężenie alkoholu wewnątrz kropli ma pewną wielkość, nazewnątrz zaś jest równe zeru. Więc alkohol będzie wychodził z kropli, na jego miejsce zaś będzie wstępowała woda. Rozumiemy teraz, dlaczego zwiększenie zawartości soli w środowisku zewnętrznem pantofelka hamuje działalność jego wodniczków kurczliwych. Mechanizm procesu wydalania byłby zatem następujący. Pantofelek zawiera różne sole i ciśnienie osmotyczne wnętrza jego ciała jest większe od ciśnienia osmotycznego środowiska. W tych warunkach zwierzę będzie chłonęło wodę całą powierzchnią swego ciała. Woda przedostanie się następnie do kanałów

doprowadzających i zbierze się w postaci centralnych pęcherzyków, oddzielonych od świata zewnętrznego tylko cieniutką błonką plazmatyczną. Gdy przerwie się ta błonka, wodniczek wyleje się nazewnątrz.

Jest proste i zrozumiałe, że woda przesiąka z zewnątrz przez pellikulę. Jednak jakaż siła zmusza tę wodę przedostawać się do kanałów doprowadzających? Skoro woda została przyciągnięta przez sole, znajdujące się w protoplazmie pantofelka, musi ona po przedostaniu się do środka zawierać te sole w roztworze. Teraz woda musi przesiąknąć przez błonkę, pokrywającą kanały doprowadzające. Gdyby mechanizm jej krążenia pozostał wciąż ten sam, należałoby przypuścić, iż kanały zawierają jeszcze więcej soli, niż endoplazma. Tylko w tym bowiem przypadku woda wchodziłaby do kanałów, a nie wychodziła z nich. I jeszcze więcej. Utworzony pęcherzyk centralny jest oddzielony od otaczającej wody cienką błonką (por. fig. 74). Skoro pęcherzyk zawiera wodę z solami i skoro zostaje on wydalony nazewnątrz, konsekwentnie musielibyśmy założyć, iż środowisko zewnętrzne zawiera więcej soli, niż ten pęcherzyk! Jest to oczywista niedorzeczność, bowiem punktem wyjścia naszego rozumowania było założenie, iż środowisko zewnętrzne zawiera mniej ciał osmotycznie czynnych, niż sam pantofelek i założenie to niewątpliwie odpowiada rzeczywistości. Jakaż jest tedy przyczyna wydalenia wodniczka? W pewnej chwili pęcherzyk centralny jest oddzielony od wody zewnętrznej tylko cienką błonką plazmatyczną, poprzez którą musi zachodzić osmoza.

Skoro pęcherzyk zawiera większe stężenie soli, woda powinna wchodzić do niego, nie zaś z niego wychodzić! A może tak się właśnie dzieje? Z pantofelkiem trzeba przygotować się na wszystko. Może kanały doprowadzające służą tylko do zmylenia naszej czujności, a w istocie wodniczek centralny wzrasta dlatego, że chłonie wodę z zewnątrz wprost przez błonkę kanału odprowadzającego, potem pęka i wylewa swoją wodę zpowrotem? No, no, nie przesadzajmy. Takiego głupstwa pantofelekby nie zrobił. Gdyby woda przesiąkała do wodniczka tylko poto, aby spowodować jego pęknięcie i wylanie tejże wody zpowrotem, pocóż byłby wogóle potrzebny wodniczek kurczliwy? Tak być nie może, mikroskop ukazuje nam ponad wszelką wątpliwość, że woda do pęcherzyka centralnego przedostaje się z kanałów doprowadzających, które wcale nie stykają się z powierzchnią ciała.

Mętnie wygląda to, co przed chwilą wydawało się tak jasne. Wciąż operujemy ciałami, osmotycznie czynnemi, które mają być obecne w cieczy wodniczka i które mają wytłumaczyć mechanizm krążenia wody. Ale chcielibyśmy zobaczyć, jak też one wyglądają. Chcemy wiedzieć, co zawiera wodniczek kurczliwy. Że zawiera wodę, to jest pewne i bezsporne. Czy zawiera coś więcej, o tem trzebaby się dopiero przekonać.

W endoplazmie pantofelka zawsze można znaleźć pewną liczbę drobnych kryształków fosforanu wapniowego. Wymoczki, hodowane w pożywce sianowej, zawierają ich niewiele, ale liczba ich wzrasta ogromnie, jeśli do hodowli wrzucić kawałek

mięsa lub twardego białka. Prócz fosforanu, kryształki zawierają trochę jakiejś bliżej nieznanej substancji organicznej. Niektórzy powiadają, że jest nią kwas moczowy. Kryształki nigdy nie zostają wydalane przez defekację i nie mają nic wspólnego z wodniczkami pokarmowemi. Jeśli wymoczki głodzić przez kilka dni, kryształki znikają stopniowo z endoplazmy. Przedtem skupiają się one specjalnie wpobliżu obu wodniczków kurczliwych i od tej chwili liczba ich zaczyna maleć. Najwyraźniej kryształki zostają rozpuszczone w endoplazmie i powstały roztwór fosforanu wapniowego, ewentualnie z jakąś domieszką, zostaje wydalony za pośrednictwem wodniczków kurczliwych. Gdyby tak było, a jest to nader prawdopodobne, wiedzielibyśmy już coś o zawartości wodniczków kurczliwych. W pewnej mierze składałaby się ona z roztworu fosforanu wapniowego. Nie może to być jednak ich stała zawartość. Raczej fosforan wydala się sporadycznie, w pewnych tylko przypadkach.

Stwierdzono dalej, iż zawartość wodniczka kurczliwego jest lekko kwaśna, lub obojętna. Jej kwaśna reakcja zależy najprawdopodobniej od obecności w niej kwasu węglowego. Co się tyczy produktów rozpadu, zawierających azot, to sprawa jest mniej wyraźna. W cieczy wodniczków nie znaleziono wcale kwasu moczowego. Nie mniej pantofelek zdaje się wydalać kwas moczowy. Przynajmniej znaleziono go w środowisku starych hodowli pantofelka, w ilości około 4 do 5 miligramów na litr. Podobnież nie znaleziono w wodniczkach mocznika, tego tak charakterystycznego produktu rozpadu u zwierząt.

A mimo to i mocznik wydala nasz wymoczek, znaleziono go na pewno w cieczy hodowlanej. Wykryto tam także amonjak, jakkolwiek co do niego nie jest pewne, czy czasem nie tworzył się on dzięki bakterjom, rozszczepiającym inne produkty rozpadu. W śmietniku pantofelka wykryto zasadniczo te same produkty rozpadu, jakie charakteryzują śmietnik innych zwierząt, a więc dwutlenek węgla, mocznik, kwas moczowy, być może amonjak. Ale prócz dwutlenku węglowego żadne z tych ciał nie jest wydalane za pośrednictwem wodniczków kurczliwych! Tak to wygląda proza życia. Dla naszej kunsztownej teorji osmotycznej jest to fatalny cios. Właśnie z mocznikiem wiązaliśmy nasze najpiękniejsze nadzieje, on to bowiem przedewszystkiem mógł spowodować wzrost ciśnienia osmotycznego zawartości kanałów doprowadzających. Wtedy pobieranie wody z endoplazmy byłoby łatwo zrozumiałe. Tymczasem wodniczki zawierają praktycznie czystą wodę, w każdym razie jakiekolwiek ciała znajdują się w nich w olbrzymiem rozcieńczeniu.

Wobec tego jak funkcjonują wodniczki kurczliwe? Na jednem zwierzęciu morskiem wykonano następujące doświadczenie. Wzięto kawałek jego rurkowatego jelita, wynicowano je jak palec rękawiczki, aby powierzchnia wewnętrzna znalazła się nazewnątrz, zawiązano oba końce i włożono do wody morskiej. Po kilkudziesięciu godzinach z naszego kawałka jelita zrobił się wielki balon, napełniony wodą morską niemal aż do pęknięcia! Wytłumaczenie tego zjawiska jest bardzo trudne. Jelito jest zawsze w takiej sytuacji, że ciekłe składniki stra-

wionego pokarmu, znajdujące się w jego wnętrzu, przechodzą przez jego ściankę nazewnątrz. W naszem doświadczeniu jelito widocznie „myślało", że wszystko jest w porządku i nie „zauważyło", że wchłania wodę, zamiast ją wypuszczać. Zresztą ze swego punktu widzenia miało słuszność, bowiem „zewnątrz" znajdowało się dla niego tam, gdzie była jego ścianka zewnętrzna. Zjawisko w żaden sposób nie da się wytłumaczyć zwykłą osmozą. Ścianka jelita nie jest tylko „błonką", oddzielającą od siebie dwa różne środowiska. Jest ona błoną żywą, która funkcjonuje *naprzekór* ciśnieniu osmotycznemu, nie poddaje się biernie działaniu sił fizycznych, lecz wykonywa pewną pracę, sprzeciwiając się im. Oto jest model, który należy zastosować do pantofelka. To nie kropla chloroformu, to żywy organizm, który wbrew działającym nań siłom zewnętrznym zachowuje swoją autonomję i swoją indywidualność. Jeśli chłonienie wody całą powierzchnią ciała istotnie może zależeć od różnicy ciśnienia osmotycznego, jej wydalanie nie da się w tak prymitywny sposób wytłumaczyć. Przez ciało pantofelka przepływa ciągły intensywny prąd wody. Gdyby chodziło o proste zjawiska osmotyczne, prąd ten rozcieńczałby sole, zawarte w protoplazmie wymoczka i unosił je z sobą, wypłókując je z organizmu. Moment rozcieńczenia soli istnieje na pewno, ale w procesie wydalniczym wymoczek wykonywa pracę oddzielenia czystej wody od rozpuszczonych w niej soli, wykonywa ją wbrew siłom osmotycznym, i tylko czystą wodę wydala nazewnątrz, zachowując w swym organizmie stałą ilość rozpu-

szczonych ciał mineralnych lub organicznych. Prąd wody przepływa przez ciało, ale nie zmienia jego składu chemicznego. Pomyślmy o owej „plazmie nerkowej". Być może i ona pracuje aktywnie, zużywając pewną sumę energji i pompując wodę w kierunku, sprzeciwiającym się działaniu ciśnienia osmotycznego. Przypominam wiele znaczący fakt podobieństwa struktury tej plazmy nerkowej do budowy komórek wydalniczych w nerce płazów. Taki pogląd na zjawiska wydalania jest z wszelką pewnością bliższy prawdy, niż próby konstruowania modeli martwych, nie zawierających i tysiącznej części tego splotu najrozmaitszych czynników, które są chlebem powszednim każdego ustroju żywego. Jeśli sztucznie zwiększone ciśnienie osmotyczne środowiska hamuje działalność wodniczków kurczliwych, jest to zupełnie zrozumiałe, bowiem w tych warunkach dopływ wody do wnętrza wymoczka jest utrudniony. Z drugiej strony jedna i ta sama praca wydalnicza plazmy nerkowej da różny wynik, zależnie od większego lub mniejszego oporu osmotycznego. Plazma ta musi pracować przeciwko siłom fizycznym i dlatego zwiększone natężenie tych sił jest w jej pracy czynnikiem hamującym. Takie jest wytłumaczenie czynności wodniczków kurczliwych, najlepsze, jakiem w chwili obecnej mogę służyć. O ile oczywiście powołanie się na aktywność i indywidualność organizmu żywego można uważać za wytłumaczenie! Być może w przyszłości uda się nam sięgnąć głębiej w istotę tych zjawisk i wskazać takie czynniki fizyczne i chemiczne, które pozwolą nadać konkretniejsze znaczenie magicznemu wyrazowi: *protoplazma!*

Tymczasem ona to jest naszą królową i nie zamierza bynajmniej abdykować tak prędko.

Jakie jest wobec tego znaczenie wodniczków kurczliwych? Służą one prawdopodobnie do wydalania dwutlenku węglowego, przynajmniej w pewnym stopniu. Ich główną czynnością jest jednak wydalanie wody. Ale poco w takim razie wymoczek pobiera takie masy wody, skoro wydala ją zpowrotem? Woda dla żadnego ustroju żywego nie jest pokarmem i nie ulega w organizmie zmianom chemicznym. Jest ona tylko środowiskiem, w którem odbywają się procesy życiowe. Na to pytanie będziemy mogli odpowiedzieć dopiero w związku z konjugacją pantofelka. Teraz zaznaczę tylko, iż wielki nadmiar wody, wciąż przepływającej przez organizm wymoczka, może służyć do usuwania ciał trudno rozpuszczalnych. O zjawisku sklerozy starczej u wymoczka i o sposobach jej zwalczania pomówimy później. Jeszcze tylko nadmienię, że jakkolwiek analizy nie wykazują w wodniczkach obecności uchwytnych ilości ciał stałych, niewątpliwie w pewnych chwilach życia zwierzęcia ciała takie muszą być obecne. Chociażby fosforan wapniowy z pewnością tą właśnie drogą zostaje usuwany. Tą samą drogą muszą być wydalane produkty rozpadu jąder w zjawiskach konjugacji i endomiksji, o czem niżej. Ale stężenie tych ciał w cieczy wodniczków jest tak małe, że z trudnością można je wykryć na drodze chemicznej.

Nie jest wykluczona inna także funkcja wody, przepływającej przez ciało pantofelka. Być może służy ona do przenoszenia tlenu. Prawda, że w 360 kropelkach wody, pochłanianych w ciągu godziny,

ilość tlenu jest nieznaczna. Nie starczyłoby to na potrzeby wymoczka, gdyby ten był typowym tlenolubem. Ale potrzeby tlenowe zwierzęcia zdają się być niewielkie i dostarczony tą drogą tlen mógłby je w znacznym stopniu zaspokoić.

Że działalność narządów wydalniczych pantofelka nie jest tak prosta, na to posiadamy inne dowody. Wszystkie procesy w przyrodzie zależą od temperatury, przytem im wyższa jest temperatura, tem zjawiska przebiegają naogół prędzej. Mamy w tej dziedzinie ważną regułę. Mianowicie zjawiska fizyczne inaczej nieco stosują się do zmian temperatury, niż procesy chemiczne, związane z przemianami drobinowemi. Każdemu podniesieniu temperatury o dziesięć stopni odpowiada dwu lub trzykrotny wzrost szybkości przebiegu procesu chemicznego, gdy zjawiska fizyczne mają ten „współczynnik termiczny“ znacznie niższy. Oznacza to, że jeśli np. w temperaturze 18° proces chemiczny odbywa się z prędkością X, w temperaturze 28° to samo zjawisko będzie miało prędkość 2X lub 3X. Reguła ta jest słuszna w średnich temperaturach, w temperaturach niższych natomiast współczynnik zwykle znacznie wzrasta. Zależność częstości pulsacyj wodniczków od temperatury podaje tabelka. Przeciętna częstość pulsacyj przytoczona jest w sekundach, osobno dla przedniego wodniczka, osobno dla tylnego.

t°	5	10	15	20	25	30	35	38	40
w. przedni	151	44	26	12	8	6	5,8	5,7	5,2
w. tylny	162	49	29	13	9,5	7	6,5	6	5,8

Pulsacje wodniczków ulegają więc podanej regule, gdyż w średnich temperaturach współczynnik wynosi około 3. Wskazuje to, że proces wydalania związany jest z jakiemiś reakcjami chemicznemi, zatem nie może zależeć tylko od napięcia powierzchniowego i osmozy. Proces wydalania jest ściśle związany z procesami życiowemi całego wymoczka i nie łudźmy się, aby tak skomplikowana sprawa, jak suma przemian w substancji żywej, dała się wytłumaczyć w sposób elementarny.

Czy można porównać zjawisko wydalania u wymoczka z wydalaniem u innych organizmów? W całem państwie zwierzęcem powstają zasadniczo te same produkty ostatecznego rozpadu, jak dwutlenek węgla, mocznik, kwas moczowy, amonjak. Tworzą się one w obecności tlenu i wskazują na zasadnicze podobieństwo procesu u wszystkich form zwierzęcych. Co do produktów rozpadu w warunkach beztlenowych, to nie zostały one jeszcze u pantofelka poznane. Podobieństwo samego procesu wydalniczego narzuca się więc samo przez się. Inna sprawa jednak z porównaniem narządów. Wodniczki kurczliwe pantofelka do pewnego stopnia tylko mogą być uważane za narządy wydalnicze, skoro główna masa mocznika i kwasu moczowego zostaje wydalana z pominięciem wodniczków. Plazma nerkowa służy w pierwszym rzędzie do pompowania wody do kanałów doprowadzających. Jak dotąd, właściwym narządem wydalniczym jest wciąż ta sama, odwieczna i nieprzenikniona endoplazma. W niej to odbywają się procesy rozpado-

we, w niej tworzą się produkty rozpadu i ona nieznanemi drogami wydala je nazewnątrz.

Wodniczki kurczliwe pantofelka wykazują prawidłową okresowość swych czynności. Nie będziemy szukali jej przyczyn w zachowaniu się takiego czy innego modelu. Przypomnimy sobie bowiem, że właściwie całe życie wymoczka jest okresowe. Co pewien czas tworzą się wodniczki pokarmowe, w określonych odstępach czasu odbywa się defekacja, rzęski posiadają swoją własną rytmikę, okresowo przebiegają u pantofelka podział, konjugacja i endomiksja. Okresowość jest jednem z najtrudniejszych zagadnień biologicznych. Przecież i nasze własne życie jest okresowe, że wspomnę tylko o śnie, o regularnych wahaniach temperatury ciała w ciągu doby, o rytmie serca, o ruchach oddechowych i t. d. I pod tym względem podobni jesteśmy do pantofelka, lub ściślej pantofelek ukazuje nam powszechne prawa biologiczne, obowiązujące dla całego świata istot żywych. Słusznie wolno nam wnosić, że jej źródło leży nie w urządzeniach i nie w budowie ciała, lecz w czemś, co możnaby porównać z ciekłą protoplazmą naszego wymoczka. Na przykładzie pantofelka nie badamy jakiegoś jednego organizmu, o swoistych, nigdzie indziej niespotykanych cechach. Przeciwnie, mamy w nim typowego przedstawiciela świata zwierzącego, mamy żywy organizm, któremu nic organicznego nie jest obce. Gdybyśmy poznali pantofelka naprawdę do gruntu, poznalibyśmy istotę i tajemnicę życia.

ROZDZIAŁ X

PODZIAŁ

W ROZDZIALE tym będziemy mówili o rzeczach podstawowych. Radzę czytelnikowi nastroić się odpowiednio.

W gęstej hodowli pantofelków zawsze napotkamy osobniki bardzo różnej wielkości. Może to zależeć od tego, że w hodowli naszej żyją obok siebie dziedziczne rasy olbrzymów i karłów rodu pantofelkowego, o czem będzie mowa w jednym z następnych rozdziałów. Ale najczęściej różnice będą zależały od wieku, o czem nietrudno się przekonać. Pantofelek mały, przesadzony do kropli pożywki sianowej, będzie pobierał pokarm i wzrastał, aż osiągnie pewną wielkość maksymalną, której nie może już przekroczyć. Wtedy następuje jego podział na dwa osobniki.

Nazewnątrz podział zaczyna się od zaledwie dostrzegalnego przewężenia poprzecznego wymoczka. W okolicy środka jego ciała pojawia się płytki rowek, biegnący dokoła i pogłębiający się szybko. Przewężenie wcina się coraz bardziej w ciało zwierzęcia, wreszcie wymoczek zostaje przecięty wpoprzek. Obie jego połowy przez krótki czas pływają razem, połączone cienkim mostkiem protoplazmatycznym, wkońcu zaś oddzielają się od siebie całko-

wicie. Podział został zakończony, z jednego pantofelka powstały dwa, o połowę mniejsze. W zwykłej

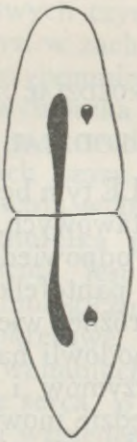


Fig. 75. Schemat podziału pantofelka

temperaturze pokojowej cały ten proces trwa około jednej godziny.

Zawsze nas uczono, że podział pierwotniaka jest najprostszym sposobem mnożenia się. Był jeden pantofelek, podzielił się i oto mamy dwa takie same pantofelki. Próbowano nawet wykazać, że w zasadzie podział wymoczka nie różni się od podziału kropli cieczy, spowodowanego nierównomiernym rozkładem napięcia powierzchniowego. Jeśli dwa przeciwległe punkty („bieguny") kropli oliwy dotknąć dwoma kawałeczkami sody, zmaczanej w wodzie, powstają w oliwie prądy, skierowane od środka kropli ku jej biegunom. Wskutek tego wzrasta

napięcie powierzchniowe na „równiku“ i kropla dzieli się na dwie.

Genjalnie proste tłumaczenie! Jednego tylko nie bierze ono pod uwagę: pantofelek nasz nic nie potrafi zrobić prosto. To też i proces podziału nasuwa szereg trudnych zagadnień. Zobaczymy najpierw dokładniej, jak ta sprawa się odbywa.

Podział zewnętrzny wymoczka jest poprzedzony przez podział obu jego jąder. Najpierw dzieli się jądro mniejsze *(micronucleus,* który będziemy krótko nazywali Mi, w przeciwstawieniu do jądra większego — *macronucleus* — czyli Ma). Jak wiemy, Mi jest małym pęcherzykiem, położonym wpobliżu Ma. Na początku podziału Mi pęcznieje trochę, przybiera postać grubego wrzeciona (fig. 76), a w jego wnętrzu powstaje wiązka równoległych nici, silnie barwiąca się różnemi barwnikami. Mi wydłuża się, w jego środku powstaje przewężenie, wreszcie rozdziela się na dwa jądra, połączone z sobą długim mostkiem. Ostatecznie przerywa się mostek, obie połowy Mi oddzielają się od siebie i każda wędruje w swoją stronę. Wkrótce przybierają one kształt kulisty, poczem budowa ich powraca do stanu przedpodziałowego, który nazywamy „stanem spoczynkowym“.

Zawiłe te przemiany przypominają obrazy, które obserwuje się stale podczas podziału komórek roślinnych i zwierzęcych. Czytelnikowi, obeznanemu z biologją, przypomnę, że zwykłym podziałem komórki jest mitoza (karjokineza), w której barwiąca się część jądra — chromatyna — rozpada się na szereg odcinków, czyli chromozomów. Podział Mi

u pantofelka także jest rodzajem mitozy, której brak jednak procesu bardzo istotnego, bo podłużnego rozszczepiania się chromozomów.

Ku końcowi podziału Mi zaczyna dzielić się Ma. Tu stosunki są o wiele prostsze. Jądro wydłuża się, przybiera postać wałka, potem silnie wydłużonej ósemki, przerywa się mostek, łączący obie jego połowy, i otrzymujemy dwa jądra. Ma obchodzi się jakoś bez podziału na chromozomy i innych komplikacyj.

To już nie kropla oliwy. Raczej wewnątrz kropli znajduje się dwie inne krople, a wszystkie trzy musiały zostać dotknięte kawałeczkami sody.

To były tylko drobiazgi, mało istotne szczegóły. Rzeczy ważne dopiero nastąpią. Powiedziałem przed chwilą, że po podziale z jednego pantofelka powstaje dwa. Otóż teraz cofam to. Tak wcale nie jest, bowiem po skończonym podziale oba nowoutworzone osobniki nie są jednakowe, a ponadto żaden z nich nie jest pantofelkiem. Będą one dopiero pantofelkami. Spójrzmy na wizerunek naszego wymoczka. Pantofelek jest istotą asymetryczną, niema takiej płaszczyzny, która podzieliłaby go na dwie identyczne połowy, a już w żadnym razie płaszczyzną tą nie jest płaszczyzna podziału. Przedni koniec ciała jest zaokrąglony, tylny zaostrzony i po przepołowieniu poprzecznem kształt obu połówek będzie różny. Większa część wgłębienia peristomalnego leży w połowie przedniej, ale przełyk znajduje się w tylnym odcinku ciała i po podziale oba osobniki odziedziczą różne części aparatu peristomalnego. Każdy z dwóch osobników otrzyma tylko jeden wo-

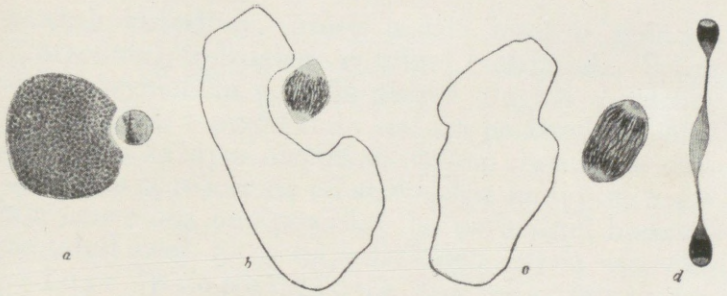


Fig. 76. Proces podziału jądra mniejszego. W a, b i c widoczne jest także jądro większe (Belar)

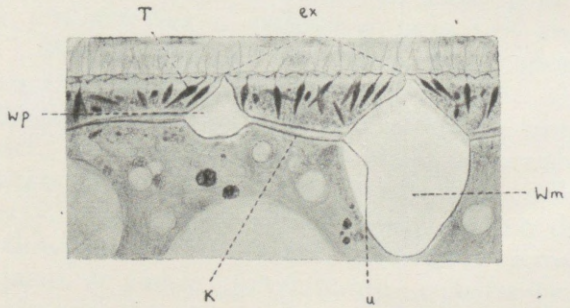


Fig. 77. Podział wodniczka kurczliwego. Wm — wodniczek macierzysty, wp — wodniczek potomny, ex — otwory kanałów odprowadzających, K — kanał doprowadzający, u — jego ujście do wodniczka (Haye)

dniczek kurczliwy, który będzie leżał u jednego w przedniej, u drugiego w tylnej części ciała. Tylny koniec wymoczka posiada pęczek długich nieruchomych rzęsek, a przód ciała jest ich pozbawiony. Słowem, pod każdym niemal względem dwa nowe osobniki muszą różnić się od siebie. Nie mniej, po krótkim czasie oba one powrócą do normalnej budowy pantofelkowej i, co najważniejsze, staną się zupełnie proporcjonalne we wszystkich swoich częściach.

Zobaczmy, co za nadzwyczajne wynikają stąd konsekwencje. Wgłębienie peristomalne przedniego osobnika jest dla niego dwa razy za duże, gdyż sam osobnik jest przecież o połowę mniejszy od swojej „matki". Wobec tego peristom musi ulec proporcjonalnemu zmniejszeniu. Niełatwe to zadanie. Peristom ma zawiłą budowę i ściśle określoną proporcję części, nie da się z niego wykroić peristomu mniejszego. Niech czytelnik zapyta krawca, jeśli mi nie wierzy, jak można z ubrania, uszytego na dorosłego człowieka, zrobić ubranie dziecinne. Krawiec mu wyjaśni, że żadne „przycinanie" i „ujmowanie" nic tu nie pomoże, że trzeba raczej rozpruć całe ubranie i przekroić je zupełnie na nowo, a i wtedy jeszcze wynikną trudności z nieodpowiedniego położenia dziurek od guzików, kieszeni i t. p. Te same trudności ma do zwalczenia pantofelek. Jego stary peristom musi zaniknąć, stopić się i zlać z protoplazmą, a w jego miejsce musi wytworzyć się inny, dwa razy mniejszy. Przytem przejście od jednego do drugiego nie może być raptowne, bo mogłoby się zdarzyć, że stary peristom już nie potrafi funkcjo-

nować, a nowy jeszcze nie jest gotów. Trzeba stwarzać „przepisy przejściowe“, skojarzyć jedno z drugiem w czasie.

Rzęski obu osobników popodziałowych są dwa razy za duże w stosunku do wymiarów ich ciała. Jak je zmniejszyć? Rzęska jest wydłużonym stożkiem, z którego nie można wymodelować stożka, dwa razy mniejszego. Ponadto rzęski są teraz za rzadko osadzone i ich liczba jest za mała. Problemat ten w żaden inny sposób rozwiązać się nie da, jak tylko przez całkowity zanik rzęsek, stopienie się ich z ektoplazmą i wytworzenie potrzebnej liczby mniejszych rzęsek na nowo. I znowuż nie można tego robić odrazu, początkowo trzeba przygotować rzęski zastępcze, a potem dopiero zniszczyć stare. W przeciwnym razie przez jakiś czas pantofelek nie miałby wogóle żadnych narządów pływania, a praktyka wskazuje, że mimo podziału ruchy jego nie ustają ani na chwilę.

W analogiczny sposób ektoplazma, wraz ze wszystkiemi swemi atrybutami, musi ulec reorganizacji. To samo dotyczy wodniczka kurczliwego, pozostającego w każdym osobniku popodziałowym. Jego kanały doprowadzające są teraz za duże i wymagają przeróbki. Co się tyczy wodniczka powstającego na nowo, to tworzy się on prawdopodobnie jako rozszerzenie jednego z kanałów doprowadzających wodniczka starego (fig. 77).

Podział pantofelka wiąże się z całkowitą reorganizacją jego ciała, jest procesem, pociągającym za sobą głębokie i wielostronne zmiany. To nie jest proste przewężenie ciała, to nie podział kulistej kro-

pli na dwie krople, tak samo kuliste. Mizerne są podobne próby naśladowania. Zanikają najważniejsze narządy organizmu, aby następnie, niby za dotknięciem różdżki czarodziejskiej, wyrosnąć znowu z tego samego materjału i w tem samem miejscu, ale w zupełnie nowej postaci. Co za niezwykłe siły drzemią w protoplazmie, która jest czasem niewinną drobnoziarnistą cieczą, a czasem z niewiadomych powodów staje się siedliskiem potężnych przemian, ogarniających cały organizm. Istota wszelkiego życia tkwi w protoplazmie. Niby niezgłębiony ocean odwieczny, w żywiołowym kataklizmie pochłania ona całe lądy wraz z ich historją i cywilizacją, a wyłania z siebie nowe kontynenty i nową cywilizację. Więcej nawet, bo nowe lądy czekały na dnie oceanu w gotowej postaci, a w protoplazmie niema żadnych przygotowanych struktur. Jest ona cieczą, z której w odpowiedniej chwili same przez się wykrystalizowują się nowe struktury. Na czem polega istota zdolności kształtotwórczych protoplazmy, to wielka zagadka biologiczna. Pokolenia całe przeminą, zanim ludzkość dojrzeje do jej zrozumienia. Narazie wolno nam tylko przyglądać się tworzeniu się nowego świata z chaosu i podziwiać.

Pantofelek nasz niezbyt nadaje się do badań nad zjawiskami reorganizacji podziałowej. Najbardziej jaskrawe przemiany zachodzą w rzęskach, a rzęski pantofelka są drobne i są wszystkie jednakowe, co ogromnie utrudnia śledzenie ich losów. To też przebudowa części ciała pantofelka jest raczej wnioskiem logicznym, niż wynikiem rzeczywistej obserwacji. Przewidując odruch zniecierpliwienia czy-

telnika, pośpieszam go uspokoić. Nie wszystko, co jest wnioskiem logicznym, musi być niedorzeczne. Przeciwnie, jeśli nasze założenia były słuszne, a rozumowaliśmy prawidłowo, wniosek także musi być słuszny. Zresztą opisane przemiany zobaczymy za chwilę na własne oczy.

Muszę tu wprowadzić na scenę nową osobę, a mój obowiązek kronikarza wymaga, abym podał jej

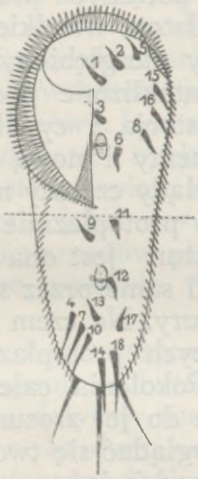


Fig. 78. *Stylonychia* Liczby oznaczają 18 rzęsek brzusznych. Poprzeczna linja kropkowana odpowiada płaszczyźnie podziału (Dembowska)

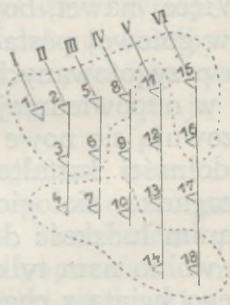


Fig. 79. Pole rzęskowe *Stylonychia*, w niem 18 zawiązków rzęsek brzusznych. Numery zawiązków odpowiadają numerom rzęsek poprzedniego rys. (Dembowska)

charakterystykę. Nową osobą jest kuzynka pantofelka, imieniem *Stylonychia*, także należąca do

sławnego rodu wymoczków. Posiada ona bardziej zróżnicowane elementy ciała i chętnie godzi się na demonstrację ich losów w czasie podziału. Z wielu względów różni się *Stylonychia* od pantofelka (fig. 78). Jest trochę większa od niego, ma kształt spłaszczony, mało stosunkowo pływa, zato biega szybko po powierzchni przedmiotów podwodnych, przebierając swemi rzęskami brzusznemi, wykształconemi na podobieństwo nóżek. W przedniej połowie ciała leży peristom, w którego głębi znajdują się skomplikowane rzędy rzęskowe. Nowa nasza znajoma posiada dwa jądra większe i dwa mniejsze. Nie zagłębiając się w dalsze szczegóły jej budowy, zwróćmy specjalną uwagę na rzęski brzusznej strony jej ciała. Jest ich wszystkiego 18, są one dobrze znane, umiejscowione i ponumerowane.

Przebieg procesu podziałowego *Stylonychia* jest następujący. Przedewszystkiem wpobliżu każdego z dwóch jąder pojawia się niewielka okrągława plamka, w której pod silnem powiększeniem mikroskopu można dojrzeć sześć ukośnych szczelinek nierównej długości. Plamka ta nosi nazwę *pola rzęskowego*. Ze szczelin, przebijających pellikulę, sterczą nazewnątrz malutkie trójkąciki, w liczbie 18. Ich rozkład w poszczególnych szczelinach podaje fig. 79. Trójkąciki te są zawiązkami przyszłych rzęsek brzusznych. Podobnie jak u pantofelka, po podziale *Stylonychia* powstają dwa osobniki niejednakowe i niezupełne, które niebawem uzupełnią swe braki i powrócą do normalnych proporcyj. Przytem pozostałe w każdym z dwóch wymoczków stare rzęski, za duże dla nich i zdekompletowane,

ulegają zupełnemu zanikowi, a w ich miejsce wstępują zawiązki pola rzęskowego. Zawiązki te wyrastają stopniowo i wędrują z pola, każdy do miejsca

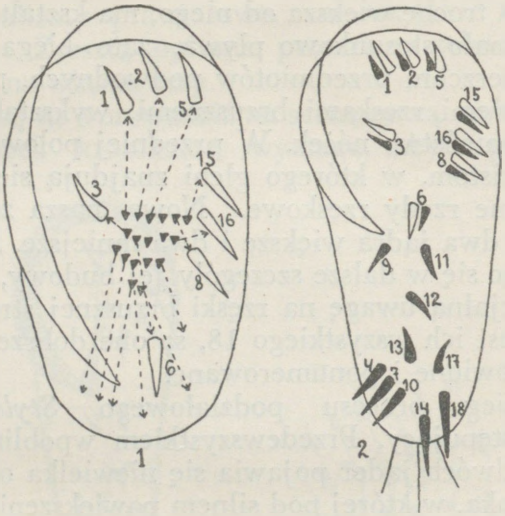


Fig. 80. 1 — przednia połowa *Stylonychia* wkrótce po podziale. Widać pozostałe w odcinku rzęski macierzyste Nr. 1, 2, 3, 5, 6, 8, 15 i 16, oraz 18 zawiązków pola (czarne trójkąty). Strzałki wskazują kierunek wędrówki zawiązków. 2 — końcowa faza reorganizacji tegoż odcinka. Normalne proporcje ciała, w przedniej połowie orzęsienie podwójne, złożone z rzęsek macierzystych (białe) i nowoutworzonych (czarne)

swego przeznaczenia: np. w przednim osobniku zawiązek pola Nr. 1 udaje się do nasady rzęski Nr. 1, zawiązek Nr. 10 wędruje do odpowiedniego punktu ciała zwierzęcia i t. d. Przez krótki czas orzęsienie wymoczka w niektórych jego punktach jest podwój-

ne, gdyż składa się z rzęsek starych, które powoli zanikają, oraz rzęsek nowych, czekających u ich nasady. Np. osobnik przedni dziedziczy stare rzęski Nr. Nr. 1, 2, 3, 5, 6, 8, 15 i 16 (fig. 80), które zostają zastąpione przez odpowiadające im zawiązki pola. Pozostałe rzęski brzuszne poprostu wytwarzają się na nowo, znowuż z odpowiednich zawiązków. Zatem, nowe rzęski wymoczka zostały zawczasu przygotowane w polu rzęskowem, powędrowały każda na swoje miejsce i tam objęły urzędowanie. Analogiczne zjawiska zachodzą w głębi peristomu. I tu powstają liczne, bardzo drobne rzęski zastępcze, które rozsuwają się, wstępują pomiędzy stare rzęski peristomalne i obejmują ich czynności. To samo dotyczy wreszcie krótkich rzęsek, siedzących na obu bokach ciała.

Stosunki, których istnienie u pantofelka wywnioskowaliśmy teoretycznie, u *Stylonychia* dają się bezpośrednio obserwować. Nie ulega wątpliwości, że podział prowadzi do głębokiej przebudowy organizmu, do całkowitego odnowienia jego narządów. A przytem proces reorganizacji jest planowy, gdyż wpierw zostają przygotowane rzęski zastępcze, potem zaś zanikają stare. Wymoczek dzięki temu ani na chwilę nie przestaje funkcjonować, choć w jego organizmie odbywa się prawdziwa rewolucja.

Chcielibyśmy coś zrozumieć w tych niesamowitych przemianach. Dlaczego pojawiają się pola rzęskowe? Dlaczego protoplazma wpobliżu jąder nagle nabiera jakichś nowych i niezwykłych właściwości? Przedtem była zwyczajną, półpłynną protoplazmą, nic się w niej osobliwego nie działo, teraz

zaś raptem zaczynają powstawać jakieś szczeliny z zawiązkami, każdy zawiązek wie, dokąd ma wędrować i nie pomyli się w swojej marszrucie. Co za siły kierują tem tak bardzo zawiłem zjawiskiem?

Na te pytania możemy dać tylko bardzo ogólnikową odpowiedź. Gdybyśmy potrafili odpowiedzieć na nie wyczerpująco, zrozumielibyśmy tajemnicę rozrodu w całem państwie istot żywych. Każdy niemal organizm w pewnym wieku przystępuje do rozrodu, do wydawania potomstwa. Jeden robi to tak, drugi inaczej, ale wszystkie one nabierają w tym okresie nowych, a zupełnie niezrozumiałych właściwości. Pewne komórki ciała, które dotąd były zwykłemi, spokojnemi komórkami, w niczem nie wybijały się ponad przeciętność, nagle ulegają skomplikowanym transformacjom i ogarnia je gorączka twórcza. Mogą one teraz oddzielić się od ciała i wytworzyć nowego, całkowitego osobnika. Czasem komórki te pozostają w związku z ciałem i nowy osobnik wyrasta na osobniku macierzystym lub wewnątrz niego. Są to jednak drobne szczegóły, sprawą istotną jest, że w pewnej chwili z niewiadomych powodów protoplazma nabiera nowych właściwości, a tam, gdzie szumiały fale oceanu, wyłaniają się nowe kontynenty.

Stylonychia trochę dopomoże nam w głębszem poznaniu tych spraw. Wymoczek ten posiada fenomenalnie rozwiniętą zdolność odradzania *(regeneracji)* utraconych części ciała. Jeśli odciąć mu część ogonową, po paru godzinach odrośnie ona zpowrotem. Jeśli przeciąć go przez pół, z każdej połowy odrodzi się całkowita *Stylonychia*. Nawet mały ka-

wałek ciała potrafi zregenerować proporcjonalnie zbudowaną całość. Warunkiem jest tylko, aby regenerujący odcinek posiadał conajmniej jedno jądro, w nieobecności jądra regeneracja jest niemożliwa. Przypuśćmy, że przecięliśmy wymoczka wpoprzek przez środek ciała, w tej samej płaszczyźnie, w jakiej zachodzi podział. W obu takich połówkach zaciskają się brzegi rany, każdy odcinek przybiera normalny wydłużony kształt, a jądro jego

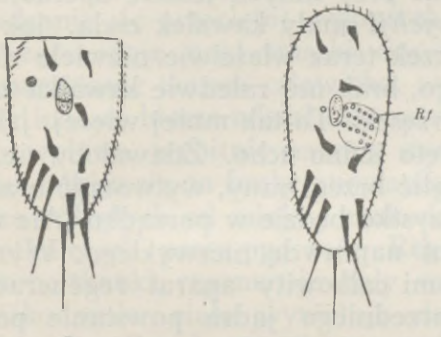


Fig. 81. Proces regeneracji w izolowanej tylnej połowie *Stylonychia*. a — wymoczek natychmiast po operacji, b — koło jądra utworzyło się pole rzęskowe Rf (Dembowska)



Fig. 82. Odcięcie minimalnego kawałka peristomu wystarcza, aby wzbudzić całkowitą reorganizację aparatu rzęskowego (Dembowska)

przesuwa się ku jego środkowi. W dwie godziny po operacji wpobliżu jądra pojawia się plamka, a w niej 18 zawiązków rzęsek. Jest to znane nam pole rzęskowe, które w tym przypadku nazwiemy *polem regeneracyjnem*. Możemy przewidzieć, co się teraz stanie. Zawiązki pola rozsuwają się, każdy udaje się

na swoje miejsce, zanikają rzęski stare i wytwarza się nowe, całkowite orzęsienie. Innemi słowy, proces regeneracji rzęsek przebiega ściśle w ten sam sposób, jak proces ich powstawania w zwykłym podziale. Przewężenie podziałowe zastąpiliśmy przez przecięcie sztuczne w tej samej płaszczyźnie. Nic więc specjalnie dziwnego, że wywołaliśmy te same zjawiska.

Nie śpieszmy się jednak z wnioskami, musimy bowiem asystować przy innych jeszcze operacjach. Ucinamy *Stylonychji* mały kawałek ciała, jak na fig. 82. Wymoczek teraz właściwie niewiele różni się od normalnego, brak mu zaledwie kawałka protoplazmy i paru rzęsek. To tak mniej więcej, jakby człowiekowi odcięto jedno ucho. Zdawałoby się, że dość jest zaokrąglić brzegi rany, wytworzyć brakujące rzęski, a wszystko będzie w porządku. Ale nie. Teraz zajdzie coś naprawdę niezwykłego. Wymoczek nasz uruchomi całkowity aparat regeneracyjny. Wpobliżu przedniego jądra powstanie pojedyńcze pole regeneracyjne z 18-ma zawiązkami, zawiązki te powędrują, gdzie trzeba, zajdzie reorganizacja peristomu i wogóle odbędzie się całkowita przebudowa ustroju. Nawet gdy odcięto jedną tylko rzęskę, wymoczek odpowiada na to gruntowną reorganizacją. *Stylonychia* nie zna kompromisów: albo nie regeneruje wcale, albo regeneruje całkowicie. Ktoś wybudował sobie piękny dom w stylu egipskim. Po zakończeniu budowy wybito w nim jedną szybę. Wtedy właściciel pięknego domu, zamiast wstawić szybę i zamieszkać w nowej posiadłości, rozpisuje nowy konkurs na projekt, angażu-

je budowniczego, wynajmuje robotników, rozwala cały dom i buduje go od fundamentów. Tak w przybliżeniu postępuje *Stylonychia.*

Poznaliśmy na jej przykładzie ważne prawo biologiczne. Zdolność regeneracyjna w tym czy innym stopniu właściwa jest wszystkim zwierzętom, choć rzadko tylko występuje tak jaskrawo. Zawsze odtworzenie jakiegoś usuniętego odcinka jest procesem, głęboko sięgającym w całość ustroju, nie może być zjawiskiem czysto lokalnem. Czy idzie o odradzanie się przeciętej wpoprzek dżdżownicy, czy o regenerację nogi traszki, czy o gojenie się ran i narastanie tkanek człowieka, w zjawisku tem tak czy inaczej bierze udział cały ustrój. Gojenie się rany wpływa wybitnie na cały stan naszego organizmu, odbija się na funkcjonowaniu części, nawet bardzo odległych od miejsca uszkodzenia i wcale nie dotkniętych przez operację. Regenerują nie uszkodzone tkanki, regeneruje cały organizm. Wszelkie uszkodzenie ciała wywołuje dwojakiego rodzaju zjawiska. Przedewszystkiem występują procesy doraźne, które mają za zadanie uratowanie życia ustroju, przyniesienie „pierwszej pomocy". Do takich należy np. krzepnienie krwi, nie pozwalające na jej dalszy upływ, ściąganie się brzegów rany, zarastanie rany nabłonkiem i t. p. Gdy pierwsze niebezpieczeństwo zostało zażegnane, rozpoczyna się głęboki proces odbudowy. Zachodzi rozpad wielu tkanek, sąsiadujących z raną, zjawisko to rozszerza się stopniowo na części bardziej odległe, niedotknięte przez uszkodzenie, zanika wiele różnorodnych struktur i dopiero na tak oczyszczonem polu

bitwy rozpoczyna się proces twórczy. Prawidłowość ta u różnych organizmów występuje w bardzo różnym stopniu: u jednych przebudowa ogarnia cały ustrój, u innych ogranicza się do jego wycinka, ale zasada procesu regeneracyjnego jest wszędzie ta sama. Normalna funkcjonująca całość ustroju może być poniekąd uważana za stan równowagi stałej, do którego organizm powraca po wszelkich jego naruszeniach. Uszkodzenie zakłóca równowagę całości i dlatego w procesie regeneracyjnym całość organizmu musi wziąć udział. Stosunki te u *Stylonychia* są szczególnie przejrzyste. Nigdy nie regeneruje część usunięta, regeneruje cała *Stylonychia*, chociażby chodziło o uszkodzenie najbłahsze.

Proces regeneracji wymoczka jest dokładnem powtórzeniem zjawisk, zachodzących podczas nor-

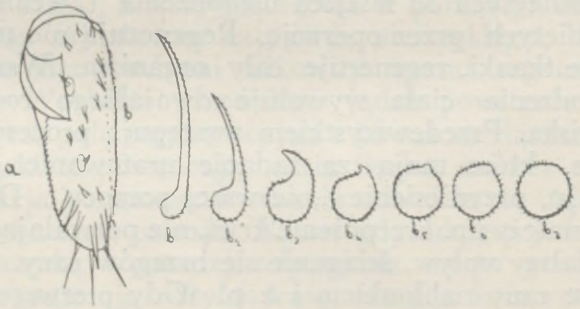


Fig. 83. Zachowanie się odcinka bezjądrowego *Stylonychia*. Odcinek zaokrągla swoje kształty, ale nie dochodzi do żadnych procesów regeneracyjnych (Dembowska)

malnego podziału. I w tem tkwi głębokie prawo biologiczne. Każdy organizm żywy jest wynikiem jakiegoś procesu rozwojowego, tworzy się z czegoś, co

jest do niego niepodobne, i ten proces stawania się ma u każdego ustroju swój ściśle określony i stały przebieg. Otóż u wszystkich organizmów proces regeneracji jakiejkolwiek utraconej części w zasadzie kroczy temi samemi drogami, jakiemi postępował jej rozwój. Regeneracja jest powtórzeniem procesu rozwojowego, opiera się na tych samych siłach i zdolnościach organizmu. Najczęściej zależność ta jest zamaskowana, niewyraźna, różnego rodzaju czynniki uboczne mogą zmienić ją nie do poznania. Wyjątkowo tylko występuje ona tak naocznie, jak u *Stylonychia*. Nie mniej jest to podstawowe prawo. Organizm nie może sobie pozwolić na taki zbytek, jak utrzymywanie dwóch różnych warsztatów, z których jeden służy do budowania, drugi zaś do reparacji. Jest to niewątpliwie jeden i ten sam warsztat, pracują w nim ci sami robotnicy, mający do czynienia z tym samym materjałem. Czasem warunki pracy są różne i dlatego jej przebieg może być odmienny, ale są to zawsze zasadniczo te same, niezmienione zdolności ustroju. Niewielkie uszkodzenie ciała wyzwala nieraz siły, ukryte w najgłębszych tajnikach istoty żywej, pozornie zapomniane i zlikwidowane, a jednak wciągające w orbitę swego działania cały organizm wraz ze wszystkiemi jego czynnościami życiowemi.

Nie skończyliśmy jeszcze ze *Stylonychją*. Ma ona niejedno do zakomunikowania, i to tylko dzięki tej nieważnej w gruncie rzeczy okoliczności, że posiada 18 rzęsek brzusznych, gdy pantofelek ma ich parę tysięcy. W pewnych sprawach jest ona dzięki temu bardziej szczera i dobrze zrobimy, wykorzystując

tę jej cechę. Ciekawe wyniki daje operowanie wymoczka podczas podziału. Gdy podział dopiero co się rozpoczął, gdy powstały już pola rzęskowe, ale nazewnątrz przewężenie nie jest widoczne, przecinamy przedniego osobnika możliwie blisko przyszłej płaszczyzny podziału (fig. 84). Po operacji w osobniku tylnym wszystkie zjawiska reorganiza-

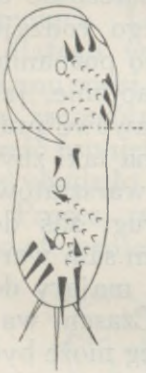


Fig. 84. Przecięcie *Stylonychia* podczas podziału. W obu połowach wymoczka jądro jest już podzielone, zawiązki obu pól rzęskowych zaczynają się rozsuwać (Dembowska)

cyjne kroczą spokojnie dalej, jakgdyby nic się wogóle nie stało. Dobiegają one normalnego końca, poczem osobnik tylny w zwykłym czasie oddziela się od resztek przedniego. Jest w tem coś dziwnego. W poprzednich doświadczeniach nawet nieznaczne uszkodzenie ciała powodowało nastąpienie całej rewolucji. W naszym przypadku natomiast tuż obok osobnika tylnego znajduje się olbrzymia stosunkowo rana, a jednak nie wpływa ona wcale na przebieg procesu reorganizacyjnego. Najwidoczniej już na samym początku podziału oba osobniki są faktycznie niezależne od siebie. W okolicy przyszłej

płaszczyzny podziałowej zawczasu powstaje warstewka jakiejś gęstszej protoplazmy, która nie pozwala na swobodne komunikowanie się obu połówek. Tylny osobnik mógł wogóle nie wiedzieć, że coś się stało w osobniku przednim, jest on od niego fizjologicznie odizolowany.

Zjawisko to pozwala nam na zrozumienie pewnych rzeczy. Być może ta warstewka izolująca jest właściwą przyczyną, wyzwalającą rozpoczęcie się procesu reorganizacji podziałowej. Bowiem takie fizjologiczne przepołowienie wymoczka narusza równowagę jego całości w tym samym stopniu, jak faktyczne przecięcie go wpoprzek. Istnienie warstewki izolującej tłumaczy następnie, dlaczego podczas podziału powstaje dwa pola rzęskowe, podczas regeneracji zaś — tylko jedno, leżące wpobliżu jądra przedniego. W podziale mamy dwie niezależne od siebie połowy ciała, z których każda wytwarza jedno pole rzęskowe. W regeneracji natomiast niema żadnych przygotowań do podziału i niema warstewki granicznej. Dzięki temu w przypadkach, gdy odcinek regenerujący zawiera oba jądra, możliwe staje się ciekawe i ważne zjawisko: pole rzęskowe, tworzące się około przedniego jądra, hamuje wytwarzanie się takiegoż pola wpobliżu jądra tylnego. Jeśli zajdzie izolacja obu połów i obu jąder, odpada czynnik hamujący i powstaje drugie pole rzęskowe.

Taka będzie nasza tymczasowa odpowiedź na pytanie, dlaczego protoplazma nabiera nagle nowych właściwości. Pytanie zostało niewłaściwie postawione. Bowiem protoplazma nie nabiera żadnych

cech nowych, właściwości te tkwią w niej zawsze i zawsze są gotowe do czynu. Są one tylko zahamowane. Gdy z tych czy innych powodów odpada hamowanie, wybucha ukryta moc twórcza protoplazmy. Cały organizm żywy jest w gruncie rzeczy rodzajem bomby, pełnej wewnętrznego napięcia. To, co nazywamy strukturą, organizacją, uporządkowaniem, to żelazna pięść, trzymająca wszystkie te napięcia na wodzy. Gdy rozluźni się jej mocarny chwyt, organizm eksploduje, wyładowuje swoje napięcie w różnorodnych procesach twórczych. Ale gdyby nawet pięść zachowała całą swoją moc, a przerwały się łańcuchy, łączące ją z częściami ciała, te poczułyby się wolne i spowodowałyby wybuch. Dlatego właśnie izolacja wyzwala procesy twórcze. Gałązka wierzby, wsadzona odciętym końcem do wody, wytwarza na nim korzonki. Dlaczego ta sama gałązka nie wytwarzała korzeni, jak długo pozostawała na drzewie? Skąd nagle pojawiły się w niej nieobecne dotąd zdolności? W istocie zdolności te tkwiły w niej zawsze, nie ujawniały się one jednak, gdyż były zahamowane przez korzenie drzewa. Odcięcie, odizolowanie od czynnika hamującego wyzwoliło moc twórczą. Można w prosty sposób obserwować te stosunki. Część łodygi takiej gałązki, która już utworzyła korzonki po jej oddzieleniu od drzewa, umieszczamy w parze eteru. Wtedy łodyga ulegnie miejscowej narkozie i hamujący wpływ nowoutworzonych korzonków nie będzie mógł przejść przez część narkotyzowaną. W wyniku część łodygi, położona powyżej narkotyzowanego odcinka, zacznie wytwarzać nowe korzonki. Zważmy ponadto,

że mogliśmy przeciąć gałązkę na jakimkolwiek dowolnym poziomie, a zawsze po wsadzeniu jej obciętego końca do wody wytworzy on korzonki. Każda część gałązki jest do tego uzdolniona, każda posiada zasadniczo te same napięcia i te same zdolności twórcze. Trzeba je tylko uruchomić, usuwając wpływ czynnika hamującego. Tego rodzaju przykładów znamy wiele, a wskazują one, że zjawiska hamowania i izolacji odgrywają pierwszorzędną rolę w procesach kształtotwórczych.

Aby rozstać się ze *Stylonychją* po przyjacielsku, zrobimy na niej na zakończenie sztukę magiczną. Przetniemy wymoczka przez pół i pozwolimy mu zregenerować. Przez cały czas będziemy go trzymali w czystej wodzie bez pokarmu, aby nie przyszła mu fantazja podzielić się, co pokrzyżowałoby nasze plany. Po skończonej regeneracji, jednego z otrzymanych wymoczków, oczywiście dwa razy mniejszego od osobnika początkowego, znowuż przecinamy przez pół. Po zregenerowaniu będziemy mieli dwa osobniki, cztery razy mniejsze od wymoczka pierwotnego. Postępujemy w ten sposób po każdej zakończonej regeneracji. Wkońcu ze względów czysto praktycznych operacja staje się niemożliwa, bowiem wymoczek jest tak mały, że najostrzejszy nóż miażdży go, zamiast przecinać. Nie mniej udaje się powtórzyć taką operację do 10 razy z rzędu, co daje osobniki, około 1000 razy mniejsze od wymoczka początkowego (objętościowo, długość ciała będzie 10 razy mniejsza). Czyż nie sztuka magiczna? Te niebywałe wymoczki są jednak prawidłowemi *Stylonychjami*, którym nic nie brak. Każdy ma nor-

malny kształt ciała, 18 rzęsek brzusznych, trzy włoski ogonowe, rzęski boczne, peristom, wszystko jest na swojem miejscu i funkcjonuje jak należy. Ponie-

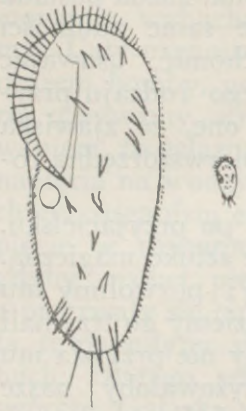


Fig. 85. Na lewo — normalna *Stylonychia*. na prawo — osobnik, powstały po dziesięciokrotnem przepołowieniu wymoczka początkowego

waż wymoczek przez cały czas pozostawał w czystej wodzie, nie mógł on pobierać pokarmu, wzrastać i pomnażać substancyj swego ciała, czyli te 1024 osobników powstało z rozdzielenia substancji, która tworzyła jednego osobnika, na 1024 wymoczki. Każdy najmniejszy odcinek ciała zwierzęcia, o ile zawiera pewne minimum protoplazmy i kawałek jądra, może się stać normalną całością. Każdy zabiera z sobą materjał twórczy oraz inżyniera, który czuwa nad przebudową. Nie wiemy kto jest tym inżynierem. Być może jest nim jakiś zespół czynników hamujących, którego rola polega na tem, aby powstrzymywać wzrost i rozwój w pewnych ściśle określonych kierunkach przestrzennych, innym zaś kierunkom dawać całkowitą swobodę. Jak może czynnik hamują-

cy wykonać pracę twórczą, zapyta czytelnik. Pytano jednego rzeźbiarza, jak też potrafi on ze zwykłego marmuru wykuwać tak piękne rzeczy. To bardzo proste, odrzekł artysta. Biorę kawał marmuru i odłupuję od niego wszystko co jest niepotrzebne. W wyniku pozostaje figura, którą właśnie chciałem zrobić. Czemś podobnem może być czynnik hamujący wymoczka. Protoplazma potrafi wszystko, może wytworzyć rzęskę Nr. 1 w każdym dowolnym punkcie ciała, może także wytworzyć 1000 takich rzęsek. Ale czynnik hamujący daje jej swobodę działania tylko w jednym określonym kierunku i dzięki temu rzęska powstaje tam gdzie trzeba.

Gdy *Stylonychia* regeneruje w czystej wodzie, przebudowa jej ciała nie odbywa się kosztem dostarczonego nowego materjału, który zostaje odpowiednio rozlokowany, lecz zachodzi dzięki zmianom i translokacjom części już istniejących. W tych warunkach różne części ciała muszą całkowicie zmieniać swoje czynności. Wyobraźmy sobie, że przecięliśmy człowieka wzdłuż i że jego prawa połowa przekształciła się w normalnego kilkuletniego chłopca, a będziemy mieli obraz tego, co potrafi wymoczek. Prawa noga zostaje wciągnięta do ciała, w jej zaś miejsce wyrosną dwie nogi o połowę mniejsze. Prawa połowa nie posiada serca. Więc serce musi wytworzyć się na nowo, oczywiście z czegoś, co nigdy sercem nie było. U *Stylonychia* części ciała są w ciągłem pogotowiu, w razie potrzeby i możliwości każda z nich potrafi wszystko, co potrafi inna. Istnieje podział pracy i specjalizacja, ale w przy-

padkach nagłych specjalizacja idzie w kąt i następuje wymiana ról.

Jedna tylko jeszcze drobna sprawa pozostaje mi do omówienia w związku ze *Stylonychją*. Zachodzi pytanie, jak daleko można posunąć się w rozdrabnianiu organizmu, o którem mówiliśmy przed chwilą. Oczywiście są trudności praktyczne, gdyż po kilku regeneracjach wymoczki stają się bardzo drobne. To się da jednak przezwyciężyć, współczesna technika może wyrabiać takie noże, że można niemi odcinać pojedyńcze włoski bakterjom. Nie mniej nie posuniemy się tu poza pewną granicę. Bowiem w organizmie *Stylonychji* walczą z sobą dwie nauki: fizyka i biologja. Substancja ciała wymoczka jest półpłynna, podlegająca prawu napięcia powierzchniowego. Napięcie dąży do tego, aby kropli cieczy nadać kształt kulisty. Biologja zaś usiłuje odtworzyć normalny kształt organizmu, który nie jest kulą, dąży więc do przełamania wpływu napięcia powierzchniowego. Ponieważ zachodzi regeneracja, biologja zwycięża. Gdy jednak zmniejszają się wymiary ciała, biologja zaczyna czuć się coraz gorzej. Idzie o to, że im mniejsze jest ciało, tem bardziej wzrasta w niem stosunek powierzchni do objętości, tem bardziej zaczynają przeważać siły powierzchniowe. Dlatego właśnie duża kropla rtęci ma kształt nieprawidłowy, spłaszczony, im jest zaś mniejsza, tem bardziej zbliża się do kształtu prawidłowej kuli. Skoro wymiary ciała wymoczka zmaleją poniżej pewnego minimum, biologja nie może zwyciężyć fizyki, siły kształtotwórcze ulegają ordynarnej przewadze napięcia powierzchniowego i nie mogą się

ujawnić. Byłoby ciekawe obserwować te zjawiska w jakiemś środowisku sztucznem, które nie szkodziłoby wymoczkowi, ale zmniejszałoby jego napięcie powierzchniowe. W tych warunkach udałoby się zapewne wyhodować osobniki o wiele drobniejsze.

W powodzi doświadczeń i rozumowań zapomnieliśmy zupełnie o naszym biednym pantofelku. A przecież on to jest dla nas główną osobą. Jak też u niego przebiegają procesy regeneracyjne? Dziwnym trafem skądinąd tak wszechstronne zwierzątko nie posiada prawie wcale zdolności odtwórczej. Najwyżej może mu odrosnąć niewielka część przedniego lub tylnego końca, ale niema mowy o jakiejkolwiek regeneracji większych odcinków ciała. Dlaczego *Stylonychia* regeneruje znakomicie, jej zaś bliski krewniak pantofelek nie regeneruje niemal wcale? Z wszelką pewnością zdolność regeneracyjna oparta jest na podstawowych własnościach organizmu, na co wskazuje bliskie pokrewieństwo regeneracji z rozwojem. Nie może ona wahać się od przypadku do przypadku, być zasadniczo odmienna u form, blisko sobie pokrewnych. Tymczasem w całem państwie zwierzęcem znajdziemy podobne kontrasty. Dżdżownica posiada znaczną zdolność odtwórczą, można ją pokrajać na kilka części, a każda odtworzy normalną całość. Ale blisko jej pokrewne pijawki regenerują bardzo słabo, najwyżej narastają u nich niektóre tkanki, ale nie regeneruje żaden z ważniejszych narządów. Inną taką parę stanowią żaba i traszka. Znowuż zwierzęta niewątpliwie bliskie sobie, a jednak traszka może zregenerować ogon, kończyny, nawet płuca, gdy żaba

nie potrafi odrodzić nawet jednego palca. Brak tej zasadniczej zdolności u niektórych zwierząt musi polegać na jakichś drugorzędnych czynnikach, przeszkadzających regeneracji. Gdybyśmy poznali te czynniki i nauczyli się je unieszkodliwiać, nastąpiłaby nowa era w dziejach ludzkości. Bowiem człowiek jest właśnie organizmem o bardzo słabej zdolności regeneracyjnej. Najwyżej goją się jego rany i narastają tkanki, ale nie może zregenerować żaden najmniejszy nawet narząd ciała. Jeśli potrafimy kiedyś zwiększyć jego zdolności odtwórcze, życie stanie się przyjemne i lekkie. Ktoś ma chorą rękę. Ucinamy ją i w jej miejsce wyrasta nowa ręka, zdrowa i normalna. Czyjaś głowa jest nie w porządku. Ucinamy ją i wyrasta nowa głowa, pełna głębokich i szlachetnych pomysłów. Może porównanie pantofelka ze *Stylonychją* rzuci trochę światła na to zagadnienie. Niema właściwie żadnego rozsądnego powodu, dla którego pantofelek nie miałby regenerować. Robią to jego krewni, może robić i on. Skoro zaś tego nie czyni, coś musi mu przeszkadzać. To coś przeszkadzającego trzeba znaleźć i unieszkodliwić. Jak, tego nie wiem.

Odbiegliśmy daleko od podziału pantofelka. A przecież wiele spraw mamy tu jeszcze do omówienia. Gdy podział został ukończony, mamy dwa osobniki małe. Po oddzieleniu się obu i po dokonanej reorganizacji, oba wymoczki zaczynają pobierać pokarm i wzrastać, aż osiągną znowu wielkość maksymalną. Mierzono pantofelka co trzy godziny, od chwili jego oddzielenia się od partnera i aż do osiągnięcia największych wymiarów. Szybkość wzrostu

okazała się nierównomierna. W okresie reorganizacji wzrostu niema, lub jest on zupełnie nieznaczny. Jeśli w ciągu 24 godzin mamy 100 jakichkolwiek jednostek przyrostu długości ciała, przypada z tego na pierwsze pół godziny około 30 jednostek, co wskazuje, że bezpośrednio po podziale wzrost jest najszybszy. Potem zwalnia się stopniowo, aż ustaje zupełnie. W gruncie rzeczy chyba ani razu pantofelek nie zdradził nam tajemnicy, która byłaby tylko jego wyłączną własnością. Zawsze jest to coś, mającego ogólniejsze znaczenie. To samo w danym przypadku. Na wykresie wzrostu pantofelka zauważymy, że krzywa wzrostu wznosi się początkowo bardzo wolno, potem bardzo szybko, a wkońcu znowuż wolno. Jest to w zasadzie ta sama krzywa, którą wykreślają matki, ważące codziennie swoje dzieci, o ile mają cierpliwość robić to od urodzenia i aż do uzyskania przez dziecko świadectwa dojrzałości. Prawa wzrostu człowieka i pantofelka są analogiczne.

Ciekawem zagadnieniem, związanem z podziałem wymoczka, jest rytmika. Pantofelek nasz dzieli się przeciętnie raz na dobę, a przytem podziały jego przypadają przeważnie na godziny nocne. Stwierdzenie tego nie było takie proste, gdyż obserwacje podobne wymagają swojego rodzaju poświęcenia, a do tego ludzie dzisiejsi nie są specjalnie skorzy. Trzeba obserwować wymoczki przez całą dobę i to przez kilka dni zrzędu. Zagląda się do nich oczywiście raz na parę godzin, a w przerwach pomiędzy obserwacjami badacz może się przespać. Inną trudnością jest, że w hodowlach masowych niema wła-

ściwie wyraźnej okresowości podziału, być może niema jej wogóle. Okresowość występuje jednak jasno, skoro hoduje się wymoczki pojedyńczo, każdego w osobnej kropli pożywki sianowej. Doświadczenia miały następujący przebieg. Wzięto z hodowli 96 osobników, umieszczono je na 96 szkiełkach, każdego w czterech kroplach pożywki sianowej. Rozpoczęto doświadczenia o godzinie 9-ej rano i prowadzono je bez przerwy przez trzy doby, codziennie zmieniając pożywkę i co trzy godziny licząc pantofelki. Wynik widzimy na tabelce. Jeśli sumę wszystkich podziałów w ciągu doby, odbytych na wszystkich szkiełkach, oznaczymy jako 100, na kolejne okresy trzygodzinne przypadnie:

Godzina doby:	12	15	18	21	24	3	6	9
Podziałów:	11	7	11	21	18	12	11	9

Zatem, najwięcej było podziałów w godzinach nocnych. Z późniejszych badań wynikło, że okres wzmożonych podziałów przypada przeciętnie na czas od godziny 18 do 1-ej. Jakkolwiek przewaga liczby podziałów nocnych nie jest wielka, powtarzała się ona w wielu doświadczeniach i musimy szukać przyczyny tego zjawiska.

Myślano początkowo, że chodzi tu o zmienną w ciągu doby ilość pokarmu. Istotnie, w pożywce sianowej są żywe bakterje, które rozmnażają się przez podział. Z drugiej strony bakterje są masowo zjadane przez wymoczki i trudno jest na pewno przewidzieć, czy liczba ich wzrasta, czy maleje i w jakim stopniu. Być może liczba bakteryj zmienia się okresowo i w tem tkwi przyczyna okresowości podziałów pantofelka. Można to jednak wymie-

rzyć. Jak to się robi, powiem w następnym rozdziale, wystarczy nam narazie, że liczono bakterje w środowisku hodowli cztery razy na dobę: o godzinie 21, 3, 9 i 15-ej. Znaleziono odpowiednio na jednostkę objętości cieczy 31000, 23000, 20000 i 17000 bakteryj. Spadek liczby bakteryj był więc ciągły i nie może on wytłumaczyć okresowości podziałów. Gdy zmieniano pożywkę bakteryjną co 6 godzin, za każdym razem dodając świeżej, mimo to maximum podziałów wystąpiło w nocy.

Od czegóż zależą nocne orgje wymoczków? Będziemy próbowali to zgadnąć. Doba mieści w sobie dzień i noc. W nocy jest ciemno i jest chłodniej, być może zatem zmiany oświetlenia albo temperatury odgrywają tu rolę. Istotnie, gdy hodowano pantofelki w stałem świetle elektrycznem, nieprzerywanem ani w dzień, ani w nocy, a jednocześnie hodowano inne takie same wymoczki w stałej ciemności, stwierdzono, że pantofelki na świetle dzielą się częściej. Np. po 12 dniach z jednego osobnika na świetle wyhodowano 1294, w ciemności zaś tylko 788. Światło żółte sprzyja podziałowi, niebieskie go hamuje, choć działanie obu jest bardzo słabe. Obawiam się mocno, że doświadczenia te nie wyjaśniają naszego zagadnienia. Skoro światło sprzyja podziałom, w dzień powinno ich być więcej, nie mniej, jak to widzimy w rzeczywistości. Jeśli umieścić pantofelki na trzy doby w stałej ciemności, ich podziały znowuż wykażą największą częstość w nocy.

Może temperatura? Jak wszystkie procesy życiowe, podział pantofelka w częstości swego występowania bardzo zależy od temperatury. Zależność ule-

ga tej samej regule, którą stosowaliśmy już w przypadku wodniczków kurczliwych: na każde 10° przyrostu temperatury podziały stają się 2 do 3 razy częstsze. Inaczej mówiąc, podniesienie temperatury powinno przyśpieszyć podziały. Tymczasem w nocy jest właśnie chłodniej, a zatem podziały musiałyby być częstsze w dzień. Wprawdzie w doświadczeniach z rytmiką dobową wahania temperatury były nieznaczne, nie mniej istniały i działały w kierunku odwrotnym, niż były powinny.

Nie wiem już naprawdę, jaką jeszcze możliwość uwzględnić. Mamy przed sobą ważną czynność życiową pantofelka, która wykazuje dobową rytmikę i nikt nie wie dlaczego. Nie wiemy, czy pantofelki, sprowadzone do nas z Nowej Zelandji, u nas nie dzieliłyby się w dzień. Może coś niecoś dałoby się tu przewidzieć, bowiem możemy przywołać na pomoc rytmikę ludzką. W ciągu doby temperatura naszego ciała ulega prawidłowym wahaniom: w nocy jest trochę niższa niż w dzień. Gdy ktoś przyjeżdża do nas z Japonji, przywozi z sobą swój własny rytm temperatury: obniżenie temperatury jego ciała przypada teraz na godziny, w których w Japonji jest noc, u nas zaś dzień. Ale w dość krótkim czasie rytmika ta przystosowuje się do stosunków miejscowych. Ponieważ takie przystosowanie ma miejsce, niewątpliwie rytmika musi zależeć od jakichś czynników zewnętrznych. Przybysz z Japonji nie straci w Europie ani swego niskiego wzrostu, ani ciemnych włosów, ani skośnych oczu. straci jednak swoją autonomiczną rytmikę termiczną, przystosowując się do warunków miejscowych. Obok tego

organizm wykazuje w tym przypadku dziwny konserwatyzm, trzyma się stosunków, które należą już do przeszłości. Nieraz potrzebne są długotrwałe działania, aby wpłynąć na rytmikę życia. Być może pantofelki, hodowane w ciemności przez rok lub dłużej, zatraciłyby wkońcu rachubę czasu.

Związek rytmiki życiowej pantofelka, występującej zresztą nietylko w podziałach, z obiegiem słońca wydaje się dość wątpliwy. Prawda, że oba zjawiska odpowiadają sobie w czasie. Ale i to jest prawdą, że w hodowlach masowych rytmika się zaciera, a niektóre gatunki pantofelków mnożą się częściej, np. dzielą się przeciętnie raz na 18 godzin. Maximum podziałów powinno u nich przypadać raz na dzień, raz na noc. Ciemna to sprawa. Tyle jest w niej jasnego, że rytmika naszego życia musi mieć swoje źródło gdzieś bardzo głęboko. Jest ona cechą elementarną, właściwą wszystkiemu, co żyje. Być może jest ona cechą protoplazmy.

Proces podziału pantofelka nasuwa jeszcze jedno zagadnienie: oto wymoczek jest istotą nieśmiertelną! Nie znaczy to, aby nie można było go zabić, gdyż dość jest nacisnąć palcem szkiełko przykrywkowe, a wymoczki zostaną zmiażdżone. Ale w przyrodzie, w warunkach normalnych, pantofelek nigdy nie umiera śmiercią naturalną. Pantofelek starzejący się rozpada się na dwa osobniki młode, które rozpoczynają życie od początku. Jednak kwestja to tak ważna i skomplikowana, że wymaga osobnego rozdziału.

ROZDZIAŁ XI

KONJUGACJA

NIEŚMIERTELNOŚĆ pantofelków wydaje się być rzeczą oczywistą. Przecież podczas podziału niema żadnego ciała martwego, żadnego „trupa", osobnik stary rozpada się tylko na dwa osobniki młode. Różni się to bardzo od tego, co pospolicie nazywamy śmiercią. Zmieniają się formy bytu, ale istnieje ciągłość życia, niema wcale zaniku istoty żywej.

W całej pantofelkologji to właśnie zagadnienie wywołało najwięcej sporów. Siedzą ludzie nad niem od dziesiątków lat, ślęczą, badają i nie mogą się pogodzić, bo każdy widział coś innego. Dopiero my z czytelnikiem mamy wszystko wyjaśnić i o wszystkiem zadecydować. Ciąży na nas odpowiedzialność poważna, więc też poważnie zabierzemy się do trudnego dzieła.

Pierwsza trudność wynika stąd, że w starych, dawno nieodświeżanych hodowlach pantofelków zachodzą swoiste zmiany, którym z dawien dawna nadano nazwę zjawisk *uwiędu starczego* wymoczków. Ruchy pantofelków stają się wolniejsze, rzęski pracują słabiej, nie mogą więc przezwyciężyć ciężaru ciała i większość zwierzątek opada na dno. Ciało

pantofelka skraca się i grubieje, protoplazma staje się coraz bardziej mętna. Jądro większe wyrasta ogromnie, nieraz kilkakrotnie, przybierając nieprawidłową, płatowatą postać, jądro mniejsze zwykle odsuwa się od większego i leży osobno w endoplazmie. Pantofelek pobiera mało pokarmu, proces trawienia odbywa się nieprawidłowo, podziały ustają zupełnie. Hodowla wpada w stan t. zw. *depresji*, który powoli prowadzi do jej zupełnego wymarcia. To już jest prawdziwa śmierć, nie żaden symbol i nie przenośnia.

Życie takiej hodowli pierwotniaczej porównano trafnie z życiem pojedyńczego zwierzęcia tkankowego. Jeśli mamy świeżo założoną, energicznie mnożącą się hodowlę, która ma dość miejsca i pokarmu i którą pozostawiamy jej własnym losom, życie jej będzie rozwijało się prawidłowo. Początkowo zaobserwujemy szybki rozrost hodowli, znaczne zwiększenie się liczebności pantofelków. Po pewnym czasie przyrost liczby osobników maleje, aż ustanie zupełnie. Liczebność hodowli utrzymuje się wtedy przez czas pewien na stałym poziomie. Wreszcie, liczba wymoczków zaczyna maleć, a jednocześnie występują w pantofelkach coraz bardziej pogłębiające się objawy depresyjne. Ostatecznie hodowla wymiera aż do ostatniego osobnika. W rozwoju jej widzimy zatem te same trzy okresy, jakie charakteryzują nasze własne istnienie: okres młodości, okres równowagi i okres starzenia się, zakończony naturalną śmiercią starczą. Wymoczki są tak samo śmiertelne, jak wszystkie

inne zwierzęta, ich sposób mnożenia się nic w tem nie zmienia.

Niezupełnie zrozumiałe jest w tej interpretacji, dlaczego wogóle istnieją jeszcze pantofelki na świecie. Skoro podziały prowadzą je do depresji i śmierci, wymoczki powinnyby oddawna wyginąć. Jeśli zaś nie giną i jeśli wcale się na to nie zanosi, coś tu musi być nie w porządku. Pantofelki muszą posiadać jakieś środki ratunku. Istotnie, udało się je wykryć, a są one tak oryginalne i niespodziewane, że warto się z niemi zapoznać. Hodowla w stanie depresji może odmłodzić się zapomocą *konjugacji.*

W pewnej chwili dostrzeżemy, że wymoczki nie pływają już pojedyńczo, jak dotąd, lecz zespalają się z sobą po dwa. Dwa osobniki stykają się swojemi peristomami, mając końce przednie zwrócone w tę samą stronę. Ektoplazma w miejscu zetknięcia jest wtedy szczególnie lepka i dzięki temu wymoczki mocno sklejają się z sobą. Oba peristomy zanikają, więc podczas konjugacji wymoczki nie mogą pobierać pokarmu. Pływają jednak zgodnie razem i zgodnie reagują na różne bodźce zewnętrzne. Oczywiście w miejscu zetknięcia się zanikają struktury ektoplazmatyczne, specjalnie rzęski i trichocysty. Co jest ciekawe, zachodzi przytem dobór osobników według wielkości. W hodowli konjugującej wyjątkowo tylko spotkać możemy parkę niejednakowych osobników, jakkolwiek poszczególne wymoczki całej hodowli mogą różnić się znacznie. Niewiadomo, czy każdy osobnik próbuje zespolić się z szeregiem innych, wybierając sobie odpowiadają-

cego mu partnera, czy też odrazu natrafia na właściwego wymoczka. W każdym razie takie sprzęga-



Fig. 86. Dwa pantofelki w konjugacji (Jennings)

nie się zachodzi szybko, jakby epidemicznie, i nieraz niepodobna znaleźć w hodowli wymoczka pojedyńczego.

Zespolone wymoczki przez kilka godzin pływają razem, potem oddzielają się od siebie, regenerują

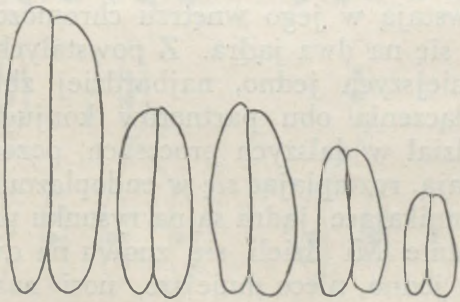


Fig. 87. Pięć par konjugujących wymoczków z tej samej hodowli. Zachodzi dobór osobników według wielkości (Jennings)

wszystkie utracone części i zwykłe życie „odmłodzonej“ hodowli zaczyna się na nowo. Jakgdyby

każdy wymoczek zaczerpnął od swego partnera eliksiru życia. Dlaczego swój własny eliksir nie pomaga, cudzy zaś jest skuteczny? Co się dzieje wewnątrz wymoczka podczas konjugacji?

Wewnątrz wymoczka ujrzymy zjawiska, których nikt na świecie nie potrafiłby przewidzieć. W ciągu konjugacji skomplikowane i charakterystyczne zmiany zachodzą w obu jądrach każdego osobnika. Załączony schemat najlepiej wyjaśni te stosunki (fig. 88). Pionowa linja kropkowana oddziela na nim obydwa osobniki konjugujące, jądra jednego z nich są na schemacie czarne, drugiego białe. Przedewszystkiem jądro mniejsze każdego osobnika dzieli się na dwa, potem zaś na cztery. Ten podział Mi różni się nieco od opisanego poprzednio, charakterystyczne dla niego jest, że przed podziałem Mi przybiera kształt półksiężyca (fig. 89). Poza tem tak samo powstają w jego wnętrzu chromozomy i Mi rozdziela się na dwa jądra. Z powstałych czterech jąder mniejszych jedno, najbardziej zbliżone do punktu złączenia obu partnerów konjugacyjnych, bierze udział w dalszych procesach, pozostałe trzy zaś zanikają, roztapiając się w endoplazmie bez śladu. Te zanikające jądra są na rysunku przekreślone. Pozostałe Mi dzieli się znowu na dwa jądra, z których jedno, nieco mniejsze, nosi nazwę jądra *wędrownego*, drugie, większe, nazywa się jądrem *stacjonarnem*. Teraz następuje kulminacyjny punkt całej konjugacji: odbywa się wymiana obu jąder wędrownych (eliksiru życia). Jądro wędrowne osobnika A przechodzi do osobnika B, gdzie zlewa się

z jego jądrem stacjonarnem, a zarazem jądro wędrowne osobnika B tak samo łączy się z jądrem stacjonarnem A. W tym momencie oba wymoczki po-

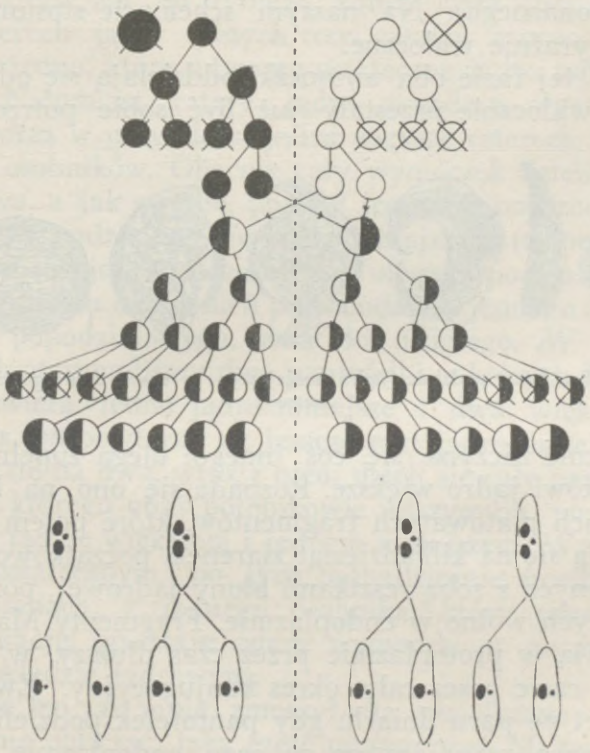


Fig. 88. Schemat przemian jądrowych, zachodzących podczas konjugacji

siadają po jednem jądrze mniejszem, ale jądro to w połowie jest złożone z substancji własnej, w połowie zaś z obcej. Innemi słowy, obaj partnerzy po-

siadają teraz jądra identyczne. (Właściwie substancji własnej jest w każdem jądrze odrobinę więcej, niż obcej, gdyż jądro wędrowne jest mniejsze od stacjonarnego). Na naszym schemacie stosunki te są wyraźnie widoczne.

W tej fazie oba wymoczki oddzielają się od siebie, widocznie przestały już być sobie potrzebne.



Fig. 89. Fazy podziału jądra mniejszego w czasie konjugacji (Dehorne)

Obecnie zaczyna się coś innego: ulega zupełnemu zanikowi jądro większe. Rozpada się ono na kilka długich płatowatych fragmentów, które potem rozbijają się na kilkadziesiąt ziarenek, początkowo połączonych z sobą resztkami błony jądrowej, później leżących wolno w endoplazmie. Fragmenty Ma pozostają w protoplazmie przez czas dłuższy, w każdym razie przez cały okres konjugacyjny. Zwykle nawet po paru dniach, gdy pantofelek podzielił się już parę razy, jeszcze w jego endoplazmie leżą szczątki Ma. Wcześniej czy później zanikają one bez śladu, zostają rozpuszczone i w jakiś sposób wydalone.

Praca destrukcyjna została ukończona. Idzie teraz o to, aby z uratowanych resztek odtworzyć normal-

ny aparat jądrowy. Pozostałe w wymoczku złożone jądro dzieli się trzykrotnie. Powstaje z tego osiem jąder, z których cztery skierowuje się do przedniego, cztery zaś do tylnego końca ciała (fig. 90). Z czterech jąder tylnych trzy zanika, a pozostaje tylko jedno, które utworzy ostateczne jądro mniejsze. Natomiast cztery jądra przednie wyrosną i utworzą w przyszłości jądra większe czterech różnych osobników. Obecnie cały wymoczek dzieli się na dwa, a jak zwykle, podział jego jest poprzedzony przez podzielenie się jądra mniejszego (tylnego). Cztery zaś jądra przednie nie ulegają podziałowi, lecz poprostu dwa z nich przechodzi do jednego osobnika popodziałowego, dwa do drugiego. W ten sposób otrzymaliśmy dwa pantofelki, z których każdy zawiera jedno jądro mniejsze i dwa większe. Proces ten powtarza się jeszcze raz: jądro mniejsze dzieli się na dwa, wraz z niem dzieli się cały pantofelek, którego obaj potomkowie otrzymują po jednem jądrze większem i jednem mniejszem. W wyniku ostatecznym, po tych beznadziejnie zawiłych przemianach, z jednego osobnika, który przebył konjugację, powstaje cztery wymoczki o normalnym składzie jądrowym.

Opis ten tak mnie zmęczył, że nie jestem już w stanie obliczać, jaka część pierwotnego Mi pozostała w każdym z czterech wymoczków. Zadanie nadawałoby się doskonale na egzamin maturalny. Może cierpliwy i wytrwały czytelnik dokona takiego rachunku sam. Wszak mieliśmy razem wyjaśniać tajemnice konjugacji, niechże więc czytelnik weźmie

w tem jakiś udział. Fig. 90 ukazuje, jak wyglądają w rzeczywistości ważniejsze fazy konjugacji.

W całem tem tak bardzo swoistem zjawisku dwa główne momenty zasługują na podkreślenie. Po pierwsze jest jasne, że w konjugacji mamy do czynienia z *procesem płciowym*. Podział Mi na cztery jądra i zanik trzech z nich odpowiada zjawisku dojrzewania komórek płciowych u innych zwierząt, gdzie zachodzą zupełnie analogiczne procesy. Wędrówka jądra do ciała partnera i jego złączenie się z jądrem stacjonarnem odpowiada zapłodnieniu. Szybko po sobie następujące podziały osobnika pokonjugacyjnego można porównać z podziałami zapłodnionej komórki jajowej. Drugą ważną cechą konjugacji jest rozpad i zanik olbrzymiej części materjału jądrowego. Zanika przecież bez śladu całe jądro większe, a z mniejszego pozostaje tylko drobny ułamek. Jaki, to czytelnik właśnie przed chwilą obliczył. Ratując się przed depresją, pantofelek sięgnął bardzo głęboko, bo aż do podstawowych praw funkcjonowania swego organizmu, wytoczył najcięższe swoje armaty, uciekł się do zdolności swego ustroju, które podziwiamy, ale których nie rozumiemy. Bo czyż nie jest dziwnem i niezrozumiałem zjawiskiem prawidłowość przemian jądrowych? Gdy jądro mniejsze dzieli się na cztery, dlaczego trzy z nich zanika, a jedno pozostaje? Przecież wszystkie powstają z jednego i tego samego Mi i niczem specjalnem nie różnią się pomiędzy sobą. Wygląda to tak, jakgdyby tylko jedno z czterech jąder było nierozpuszczalne w endoplazmie.

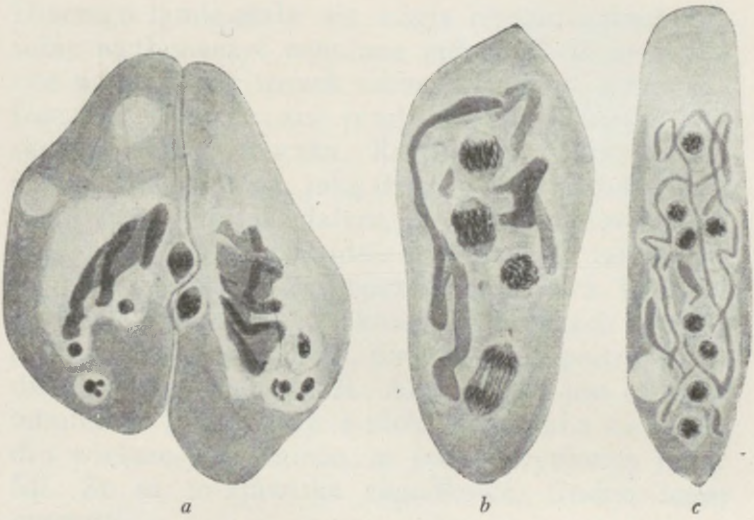
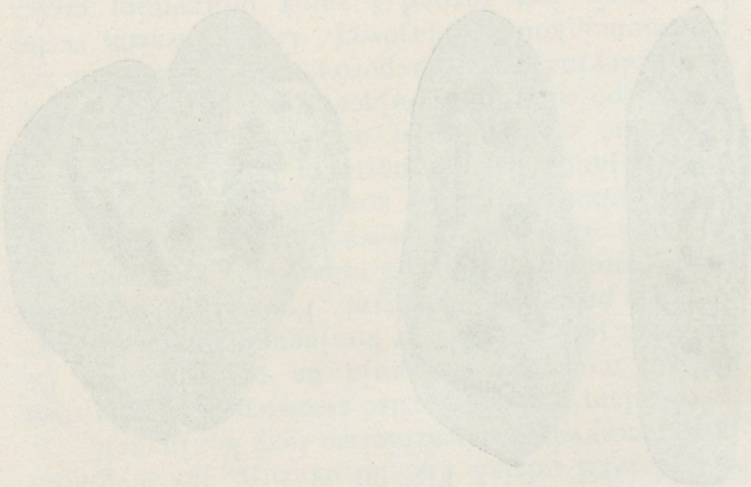


Fig. 90. Trzy fazy konjugacji pantofelka. W *a* przed chwilą właśnie zaszło w obu osobnikach złączenie się jądra wędrownego ze stacjonarnem. W protoplazmie każdego partnera widzimy trzy zanikające jądra mniejsze. Jądra większe ulegają zniekształceniu. *b* — jądro większe rozbite na płatowate, związane z sobą fragmenty. Cztery jądra mniejsze znajdują się w podziale. *c* — jądro większe rozbite na kilka zanikających wstęg, jądro mniejsze podzielone na 8 jąder, z których 4 wędruje naprzód, 4 — w tył (Belar)



Dlaczego tamte stały się nagle rozpuszczalne? Jak sobie wytłumaczyć wymianę jąder? Skoro zachodzi ona w obu przeciwnych sobie kierunkach jednocześnie, nie pomogą ani prądy w endoplazmie, ani skurcze ciała wymoczka. Raczej jądra wędrują same, wiedząc dobrze, jaką drogę obrać i dokąd się skierować. I to tak dalece, że można przewidzieć zgóry, które jądro przejdzie nad którem i jak skrzyżują się mostki, łączące początkowo jądra każdego z dwóch partnerów. W końcowych fazach konjugacji mamy osiem jąder, powstałych z podziału jednego i tego samego Mi. Ale los ich jest całkiem odmienny, gdyż cztery z nich przekształci się w jądra większe, trzy zginie, a jedno wytworzy nowe Mi. Że są to zjawiska zagadkowe, trudno temu przeczyć.

Mamy jednak w tej dziedzinie inne i poważniejsze zmartwienie. Jakie znaczenie należy przypisać procesowi konjugacji? Wciąż staliśmy na tem stanowisku, że konjugacja odmładza hodowlę, że przywraca pantofelkom ich normalne właściwości. Tymczasem właśnie to wydaje się wątpliwe. Depresja wymoczków zostaje wywołana przez niedogodne warunki życia i jeśli warunki te trwają nadal, konjugacja hodowli nie uratuje. Trudno się tego zresztą spodziewać. Gdy duża liczba wymoczków żyje w niewielkiem naczyniu, w którem nie zmienia się środowiska, wymarcie wszystkich pantofelków jest nieuniknione, niezależnie od obecności lub nieobecności konjugacji. Może być mowa tylko o tem, czy konjugacja może odroczyć wymieranie, czy po-

trafi wzmóc wymoczki na siłach. Sprawę tę można poddać badaniu doświadczalnemu, na co wymyślono nader sprytny sposób. W chwili rozpoczęcia się procesu sprzęgania się pantofelków, oba osobniki, należące do jednej pary, dają się z łatwością oddzielić od siebie. Trwałe sklejenie się dwóch wymoczków następuje dopiero po pewnym czasie i nietrudno jest uchwycić moment, gdy rozdzielenie osobników konjugujących jest jeszcze zupełnie możliwe. O takich dwóch pantofelkach coś wiemy na pewno. Ich stan wewnętrzny jest taki, że musiały one przystąpić do konjugacji, a zarazem procesy reorganizacji jądrowej nie zdążyły jeszcze w nich zajść. Jeśli konjugacja istotnie odświeża i odmładza, takie dwa osobniki, którym przeszkodzono w dokonaniu zabiegu odmładzającego i wymiany eliksiru życia, będą czuły się gorzej od wymoczków, których konjugacja odbyła się normalnie. W szczególności osobniki par rozdzielonych powinny wykazać większą śmiertelność. W rzeczywistości sprawa ma się właśnie odwrotnie! Tempo podziałów *ekskonjugantów*, czyli osobników, które przebyły konjugację, jest znacznie wolniejsze (do 80%), niż wymoczków par rozdzielonych, czyli konjugacja nie wzmaga bynajmniej podzielności. Następnie w jednych i tych samych warunkach dalszej hodowli ekskonjuganci wykazują znacznie wyższą śmiertelność. Potomstwo ekskonjugantów odznacza się większym odsetkiem osobników anormalnych, potworności wszelkiego rodzaju i t. p. Prócz tego tempo mnożenia się jest u ekskonjugantów bardziej

zmienne, waha się ono od osobnika do osobnika, jak coś nieustalonego. Więc po odbyciu konjugacji pantofelki czują się wyraźnie gorzej, niż osobniki, którym nie pozwolono konjugować. Jakiż jest wobec tego pożytek konjugacji?

Kwestja komplikuje się jeszcze bardziej przez to, że konjugację można wstrzymać zapomocą wielu środków. Np. zmieniając od czasu do czasu pożywkę sianową, lub zastępując ją wywarem z liści albo ekstraktem mięsnym, udaje się utrzymać hodowlę w ciągu całych lat bez konjugacji. Sztuczna zmiana środowiska może zdziałać więcej, niż konjugacja, gdyż może ona istotnie odświeżyć hodowlę. Mimowoli nasuwa się przypuszczenie, iż depresja i konjugacja, to zjawiska sztuczne, narzucone wymoczkowi przez nieodpowiednie warunki. Pantofelki wydalają wszak wiele szkodliwych produktów rozpadu. Jeśli ciecz hodowli pozostaje niezmieniana, liczba osobników zaś w niej stale wzrasta, musi wcześniej czy później dojść do zatrucia hodowli, które pociągnie za sobą depresję i wreszcie śmierć. Ponadto w środowisku hodowli żyją miljardy bakteryj, również wydalających substancje szkodliwe i tem przyczyniające się do dalszego pogorszenia warunków życiowych. Na tej zasadzie można w każdej dowolnej chwili życia hodowli wywołać sztucznie zjawiska depresyjne. Następują one, skoro do cieczy hodowli dodać amonjaku lub dwutlenku węgla. Dodatek taki utrudnia pantofelkowi wydalanie tych właśnie ciał i dzięki temu następuje samozatrucie organizmu, prowadzące do zwolnienia ruchów, za-

przestania podziałów, przerostu jądra większego i t. d. Są to wszystko typowe objawy depresyjne.

Konjugację potrafimy także wywołać sztucznie. Jednym ze skutecznych sposobów jest nagłe przejście hodowli od warunków obfitego odżywiania do głodu. Jeśli głodzi się pantofelki przez parę tygodni, potem daje się im obfity pokarm i dodaje się trochę roztworu chlorku żelaza lub chlorku magnezu, zachodzi typowa epidemja konjugacyjna. Ze wszystkiego wynika, że depresja i konjugacja są skutkiem pogorszenia się warunków życia. Nasuwa się pytanie, czy zjawiska te zajdą, gdy usunąć z hodowli wszystkie szkodliwe produkty rozpadu i dać wymoczkom dość pokarmu.

Odpowiedź na to pytanie wypada wręcz sensacyjnie, a zawdzięczamy ją wielkiej pomysłowości i podziwu godnej wytrwałości ludzkiej. Jednego pantofelka umieszczono na szkiełku w kropli pożywki sianowej. Gdy wymoczek podzielił się dwukrotnie, każdy z czterech powstałych osobników został przesadzony na osobne szkiełko, do świeżej pożywki. Założono w ten sposób cztery równoległe czyste hodowle. Każdego dnia skrupulatnie przeglądano szkiełka i skoro tylko znajdowano na jednem szkiełku więcej niż jednego wymoczka, usuwano wszystkie, prócz jednego, któremu dawano kroplę świeżej pożywki. Zatem w każdej z czterech hodowli indywidualnych wymoczki codziennie otrzymywały świeży pokarm i świeże środowisko, wolne od produktów rozpadu, a jednocześnie uniemożliwiono pantofelkom konjugację, bowiem zawsze usuwano partnera. Ta historyczna hodowla została za-

łożona 1-go maja 1907 roku. Do roku 1915, zatem w ciągu ośmiu lat bez przerwy, prowadzono ją wskazanym sposobem, potem przeniesiono ją do większego naczynia, pozwalając wymoczkom rozmnożyć się w niem i wciąż zmieniając środowisko. Hodowla ta żyje i kwitnie do dziś dnia, a w ciągu 27 lat swego istnienia wydała ona kilkanaście tysięcy pokoleń pierwotniaczych, jednak ani razu nie odbyła się w niej konjugacja. W dawnych czasach istniały sekty kapłanów, których obowiązkiem było podtrzymywać z pokolenia w pokolenie wieczny, niegasnący ogień, jako symbol wieczności życia. Pewien badacz rzucił ciekawą propozycję założenia sekty uczonych biologów, którzyby podtrzymywali życie wiecznie młodej i nigdy niekonjugującej hodowli pantofelków. Niech czytelnik spróbuje powtarzać jakąkolwiek najprostszą czynność laboratoryjną codziennie w ciągu 27 lat, nie opuszczając ani jednego dnia, a oceni trudności badań nad pantofelkami. Okres ten, przeliczony na stosunki ludzkie, wyniósłby około pół miljona lat! Tak długo mogą istnieć wymoczki bez konjugacji. Zatem konjugacja niekoniecznie musi występować w życiu wymoczków. Skoro wymoczki historycznej hodowli dziś są równie normalne i świeże, jak były na początku, nie można mówić o jej niezbędności.

Zarzucono tym doświadczeniom, że zakładając hodowlę, przypadkowo natrafiono na osobnika, należącego do rasy niekonjugującej. Idzie o to, że istotnie skłonność do konjugowania w różnych hodowlach pantofelków może być bardzo niejedna-

kowa. Jedne z nich mogą konjugować co miesiąc, odpowiadać sprzęganiem się na nieznaczne zakłócenia warunków środowiskowych, w innych zaś niema tego w ciągu całych lat. Sam przez się zarzut ten jest trochę podejrzany. Bowiem jeśli istnieją rasy konjugujące i niekonjugujące, tembardziej konjugacji nie można uważać za zjawisko niezbędne w życiu wymoczka. Ponadto gdy od jednej z czterech równoległych hodowli odgałęziono hodowlę boczną, t. zn. gdy wymoczkowi, którego zwykle usuwano, pozwolono rozmnożyć się, udało się zapomocą różnych środków wywołać u jego potomków depresję i konjugację. Jak się zdaje, sztuczne wywołanie konjugacji jest zawsze możliwe, niezależnie od rasy.

Więc konjugacja jest niepotrzebna? To nie jest jednak takie proste, wyjaśnienie tajemnicy konjugacji będzie nas jeszcze kosztowało niemało potu i krwi. Przeglądając notowane codziennie liczby podziałów w historycznej hodowli, zauważono w nich dziwną prawidłowość. Co pewien czas wymoczki zaczynają dzielić się rzadziej, stan taki trwa przez 6—8 pokoleń, potem tempo podziałów powraca do normy. W jednakowych mniej więcej odstępach czasu występuje w hodowli jakby jakaś podobizna depresji, po której dość szybko pantofelki powracają do stosunków normalnych. Rozmnażanie się pantofelków nosi na sobie piętno jakiejś okresowości, składa się, jak mówimy, z szeregu *rytmów*.

Jaka może być przyczyna rytmów? Co dzieje się wtedy w organizmie wymoczka? Coś zupełnie fan-

tastycznego! Okresy wolniejszych podziałów wiążą się z zupełną reorganizacją aparatu jądrowego, a przytem prawie dokładnie powtarzają się wszystkie procesy wewnętrzne, towarzyszące normalnej konjugacji. Więc tak samo zanika jądro większe, jądro mniejsze rozpada się na cztery jądra, z których trzy ginie, a jedno bierze udział w dalszych przemianach. Obserwacje te przeprowadzono na gatunku pantofelka, odznaczającym się obecnością dwóch jąder mniejszych *(Paramaecium aurelia)*. Zamiast opisu, przytoczę dwa schematy porównawcze (fig. 91). Jeden z nich dotyczy przebiegu normalnej konjugacji, drugi ilustruje przemiany jądrowe podczas rytmu. Właściwie różnica polega tylko na tem, że w czasie rytmu z natury rzeczy niema wymiany i zlewania się jąder stacjonarnego i wędrownego, gdyż wymoczek nie ma partnera. Eliksir życia zostaje zachowany do własnego użytku. Takie przemiany jądrowe w wymoczku pojedyńczym nazwano *endomiksją*. Jeśli zwykła konjugacja jest niewątpliwym odpowiednikiem procesu płciowego, w endomiksji procesowi temu odjęto moment zapłodnienia. Jest to więc proces płciowy, ale dzieworodny (partenogenetyczny), jak go znamy u wielu innych zwierząt.

Fakt ten zmusza nas do rewizji naszych wniosków. Bowiem, jak wiemy, w procesie konjugacji należy odróżnić wymianę jąder od redukcji materjału jądrowego. Jeśli pierwsze z tych zjawisk może nie być niezbędne dla pantofelków, które żyją bez tego przez długie lata, inaczej jest ze zjawi-

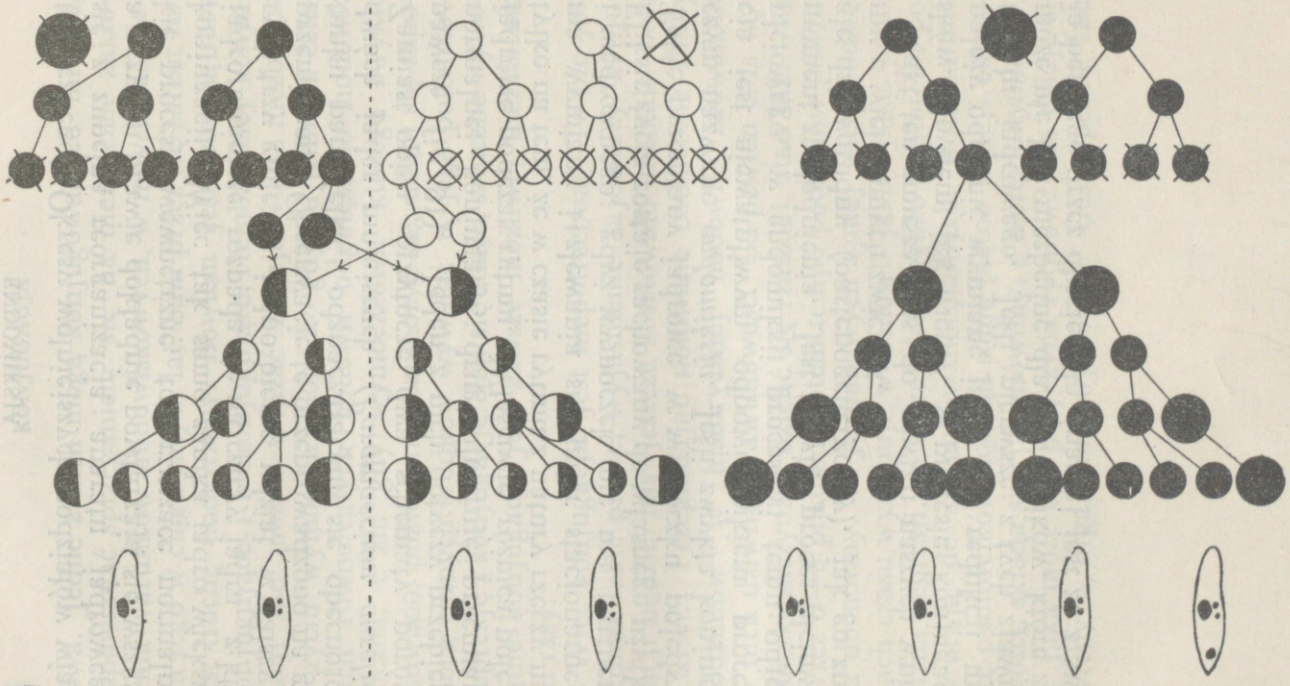


Fig. 91. Konjugacja (na lewo) i endomiksja (na prawo) wymoczka *Paramaecium aurelia* (Woodruff i Erdmann, zmienione).

skiem drugiem. Rytmy zachodziły w najlepszych warunkach życiowych: wymoczkom zmieniano przecież codziennie środowisko i dawano im świeży pokarm, brakło zdawałoby się wszelkich zewnętrznych przyczyn depresji. Co pewien czas pantofelek musi wydalić lwią część swego aparatu jądrowego, a niezawodna regularność tego procesu wskazuje na jego ważne znaczenie życiowe.

W badaniach nad pantofelkami zapanowała moda „rytmowa" i wykryto w rytmach niezwykłe zjawiska. Najrozmaitsze pantofelki, pochodzące z różnych miejscowości kraju, z zupełnie odmiennych zbiorowisk i klimatów, i hodowane w jednakowych warunkach laboratoryjnych, wykazały wszystkie dokładnie tę samą rytmikę podziałów. Więc np. w trzech równoległych hodowlach różnego pochodzenia reorganizacja jądrowa odbyła się po

20 — 25 — 30 — 30 dniach,

zachodząc we wszystkich hodowlach jednego dnia. Jeśli pantofelki hodowano w różnych warunkach: dawano im niejednakowy pokarm, trzymano je w naczyniach różnej wielkości, w różnej temperaturze i t. p., rytmy mimo to występowały zawsze mniej więcej w jednym czasie. Nie dość tego. Jeśli dwie jednakowe porcje pantofelków hodować w dwóch naczyniach różnej wielkości, częstość podziałów będzie w obu niejednakowa: w naczyniu większem wymoczki mnożą się prędzej. W doświadczeniu tem jednak endomiksja w obu próbach wystąpiła jednego dnia, jakkolwiek jedna hodowla przebyła od ostatniego rytmu 45, druga zaś — aż

100 pokoleń. Rytmika nie zależy od liczby pokoleń, zależy ona od absolutnego czasu, endomiksja zdaje się być podporządkowana jakiejś zagadkowej rytmice życiowej, niezależnej od działających warunków zewnętrznych!

W zapale mody rytmowej wpadliśmy jednak w grubą przesadę. Czyż można uznać czas za jakiś czynnik działający? Przecież czas to abstrakcja, pojęcie, kategorja, wymiar, wszystko jedno co, ale w żadnym razie nie przyczyna jakiegokolwiek zjawiska. Czas w naszych doświadczeniach nie może być niczem innem, jak tylko sumą czynników, wywołujących rytmy, istnieje on o tyle, o ile coś się w nim dzieje. Wobec tego podobnie niezmienna, absolutna okresowość rytmów jest rzeczą zupełnie nieprawdopodobną. Istotnie, bliższe badania wykazały niewątpliwą zależność występowania endomiksji od czynników zewnętrznych. Wieloma sposobami można pobudzić pantofelki do podjęcia procesów reorganizacyjnych. Tak np. rytmy występują częściej, skoro hodowla jest zaniedbana, nie odnawia się w niej środowiska. Podobnie wpływa podwyższona temperatura, dodanie słabego roztworu amonjaku, karmienie niektóremi gatunkami bakteryj i t. d. W zwykłych warunkach jednostajnej hodowli rytmy zachodzą regularnie, przeciętnie co 56 pokoleń (zawsze mowa o *Paramaecium aurelia,* dzielącym się co 18 godzin). Stosując wymienione środki pobudzające, można otrzymać rytmy w odstępach krótszych, np. w jednem doświadczeniu zaobserwowano rytmy kolejno po 8, 10, 9, 6,

15 i 6 podziałach. Niekiedy endomiksja zachodziła nawet co trzy dni. Z drugiej strony hodując pantofelki w dużej ilości wody, udało się bardzo znacznie opóźnić nastąpienie rytmu. W niektórych przypadkach przerwa pomiędzy kolejnemi rytmami wydłużyła się do 168 podziałów, a więc była trzy razy większa, niż w hodowlach zwykłych. Zależność występowania endomiksji od warunków zewnętrznych jest niewątpliwa.

Czy endomiksja jest zjawiskiem, niezbędnem w życiu wymoczków? W słynnej 27-letniej hodowli nie pozwolono pantofelkom konjugować, ale sprytne zwierzątka znalazły na to sposób, gdyż zastąpiły konjugację przez endomiksję. Stale przewietrzając hodowlę lub trzymając ją w dużem naczyniu, można bardzo znacznie opóźnić nastąpienie rytmu. Czy można go uniknąć zupełnie? W niektórych przypadkach tak. Jak istnieją rasy wymoczków, bardzo rzadko konjugujących, tak pospolicie spotykają się rasy, w których endomiksja jest zjawiskiem nader rzadkiem, lub nie występuje wcale. Mimo to wymoczki czują się doskonale. W niektórych gatunkach pantofelków rytmów wogóle nikt jeszcze nie widział. Ich zasadnicza życiowa niezbędność jest równie wątpliwa, jak niezbędność konjugacji.

Sądzę, że udało mi się w dostatecznym stopniu zaplątać całą sprawę. W życiu naszych pantofelków występują niezmiernie skomplikowane, precyzyjne mechanizmy, bez których jednak zwierzęta te doskonale mogą się obejść. Do czego służy pantofelkowi rozpad i zanik jąder? Poco jest potrzebna wy-

miana jąder? Czy konjugacja i endomiksja są tylko zjawiskami chorobliwemi, czy też muszą one kiedyś wystąpić i spełniają jakąś ważną rolę? Jaki jest stosunek konjugacji do rytmów? Czy wymoczki są śmiertelne czy nieśmiertelne? Czy istnieje u nich uwiąd starczy i odmłodzenie? Na tyle pytań mamy odpowiedzieć!

Wysuniemy następującą hipotezę, która pomoże nam w doprowadzeniu zjawisk do jakiegoś porządku. W ciele pantofelka, jak w organizmie każdego innego zwierzęcia, w związku z trawieniem i przyswajaniem pokarmu muszą powstawać różne odpadki, których część jest trudno rozpuszczalna. Wymoczek normalny, w dobrych warunkach, daje sobie z tem radę, gdyż olbrzymie ilości wody, przepływające przez jego organizm, pozwalają mu na rozpuszczenie tych odpadków i wydalenie ich za pośrednictwem wodniczków kurczliwych. O ile cały ten mechanizm działa sprawnie, pantofelek może obejść się bez procesów reorganizacyjnych, wystarcza mu zwykła działalność wodniczków kurczliwych, względnie, mechanizm defekacji. W pewnych przypadkach jednak może być inaczej. Czy to w środowisku skupia się zbyt wiele soli, które utrudniają wydalanie, czy podaje się pantofelkom jakiś trudno strawny pokarm, czy zachodzi jakieś inne zaburzenie procesu przemiany materji, we wszystkich tych przypadkach mogą zacząć gromadzić się w ustroju wymoczka trudno rozpuszczalne produkty rozpadu. Przez analogję możemy przypuszczać, iż chodzi tu głównie o sole kwasu moczowego, do-

brze znane źródło sklerozy w organizmie ludzkim. Nie będziemy się zresztą przy kwasie moczowym upierali. W każdym razie skoro mechanizm wydalniczy nie nadąża, substancje te muszą skupiać się w wymoczku. Czynności organizmu zostają wówczas zakłócone i występuje depresja, wraz ze wszystkiemi jej objawami. Ponieważ zawsze powiększa się przytem jądro większe, naturalne staje się przypuszczenie, iż głównie w niem właśnie zbierają się substancje szkodliwe. Zarówno endomiksja, jak konjugacja, zostaje poprzedzona depresją, a dla depresji przerost jądra większego jest zjawiskiem wysoce charakterystycznem. Szkodliwe produkty rozpadu muszą zostać wydalone z ustroju, czem tłumaczy się właśnie rozpad i zanik całego jądra większego. Zostaje ono rozbite na kawałki, które przez czas dłuższy leżą wolno w endoplazmie, wkońcu jednak znikają bez śladu. Co się z niemi stało? Dlaczego nierozpuszczalne przedtem jądro większe stało się nagle rozpuszczalne? Przyczyny tego nie znamy, ale fakt jako taki jest bezsporny, bowiem zawsze ostatecznie kawałki Ma znikają z endoplazmy bez śladu, czyli tą czy inną drogą zostają wydalone. Jeden szczegół może przyczynić się do wyjaśnienia tej sprawy. Po konjugacji, właśnie w okresie najintensywniejszego rozpuszczania i wydalania fragmentów Ma, pantofelki pobierają znacznie więcej tlenu, niż przedtem, blisko dwa razy tyle. Jednak w tym czasie nic się nie dzieje takiego, co wytłumaczyłoby tak nagły i znaczny wzrost potrzeb tlenowych zwierzęcia. Ale fakt ten daje się doskonale związać

z przypadającym na ten okres procesem usuwania resztek Ma. Może nadmiar tlenu służy właśnie do utlenienia fragmentów Ma, rozbicia ich cząstek chemicznych na związki łatwiej rozpuszczalne? Nie wiemy narazie, czy po zakończonej endomiksji także wzrasta zapotrzebowanie tlenu, choć jest to bardzo prawdopodobne. Wiemy natomiast, że właśnie dostarczając pantofelkom dużo tlenu, można bardzo znacznie odsunąć zjawisko endomiksji, bądź też uniknąć go całkowicie. W tych warunkach wogóle nie dochodzi do skupiania się w organizmie trudno rozpuszczalnych produktów. Odwrotnie, wymoczki, hodowane w naczyniu hermetycznie zamkniętem, t. zn. w niedostatecznej ilości tlenu, szybko wpadają w typową depresję, połączoną ze znacznemi zmianami w wyglądzie jądra większego.

Powracając do postawionych poprzednio pytań, możemy na nie w pewnej mierze odpowiedzieć. W życiu pantofelka niezbędne jest usuwanie od czasu do czasu szkodliwych produktów rozpadu. Zwykle dzieje się to przez normalne wydalanie, które dotrzymuje kroku gromadzeniu się substancyj rozpadowych. Gdy ta łagodna metoda zawodzi, pantofelek ucieka się do środków bardziej radykalnych: rozbija swój aparat jądrowy i lwią część jego wydala nazewnątrz.

Pozostaje jeszcze do wyjaśnienia druga strona całego zagadnienia. Rytmy i endomiksję możnaby tą drogą wytłumaczyć. Ale w konjugacji, prócz zaniku materjału jądrowego, mamy jeszcze zjawisko

wymiany jąder, zapłodnienie, które także musi mieć jakieś znaczenie. Nie jest ono życiowo konieczne, jak tego dowodzą 27-letnie hodowle bezkonjugacyjne. Nie mniej, proces ten tak blisko odpowiada rozrodowi płciowemu innych zwierząt, że nie można przejść nad nim do porządku dziennego. Coś tu trzeba zbadać, coś wyjaśnić.

Raz jeszcze zwracamy się do eksperymentu, tej przedziwnej metody, która pozwala zadawać pantofelkowi pytania i otrzymywać na nie odpowiedzi. W zasadzie prosta to rzecz. Trzeba tylko umieć sformułować pytanie. Pożyteczne jest także postarać się zawsze o zrozumienie odpowiedzi, która nieraz bywa bardziej mętna od wyroczni delfickiej. Mówiliśmy przedtem o ekskonjugantach i o parach rozdzielonych. Przypomnę, że w potomstwie osobników, które przebyły normalną konjugację, występuje znaczna śmiertelność. Dlaczego tak jest? Wypowiedziano w tej mierze dziwaczne i wręcz nieprawdopodobne przypuszczenie. Założono mianowicie, że oba konjugujące z sobą wymoczki nie są jednakowe, bowiem jeden z nich jest samcem, drugi zaś samicą! Co za zabawne, niewiarogodne przypuszczenie! Poszukiwać jakiegoś zróżnicowania płciowego u pantofelka, odróżniać samce i samice wśród osobników najzupełniej identycznych! Jednak nie unośmy się zawczasu. Gdy idzie o pantofelka, nie wolno nam pominąć żadnej najdziwniejszej nawet możliwości.

Znamy bardzo wiele zwierząt tkankowych, których samce żyją bardzo krótko. Wogóle w całej

chyba przyrodzie żywej, nie wyłączając człowieka, płeć męska odznacza się większą śmiertelnością. Tu nie o to chodzi, że mężczyźni są naogół bardziej od kobiet narażeni na różnego rodzaju niebezpieczeństwa, zakażenia i t. p. Większa śmiertelność samców jest cechą prastarą, właściwą bardzo wielu organizmom. Pochodzi ona zapewne stąd, że przyroda bardziej wysiliła się, stwarzając samicę, niż samca, samica jest, jeśli można tak powiedzieć, produktem bardziej starannym. Przez analogję powstało przypuszczenie, iż umierające po konjugacji osobniki są samcami, przeżywające zaś — samicami.

Istnieją pewne ogólnikowe wskazówki, że oba konjugujące z sobą osobniki nie są identyczne. Jak wiadomo, w ciele wymoczka zwykle spotyka się pewną ilość glikogenu, w postaci luźnych ziarenek. Zauważono, że częstokroć zawartość glikogenu w obu osobnikach sprzężonych jest bardzo nierówna: w jednym może być wielokrotnie więcej glikogenu, niż w drugim. Przytem liczba par o niejednakowej ilości glikogenu może wynosić do 86% wszystkich par konjugujących. Więc owej myśli o podziale pantofelków na samce i samice nie można nazwać całkowicie wiszącą w powietrzu.

Wskazana różnica dotyczyła strony chemicznej pantofelka. Postarano się także o znalezienie różnic fizjologicznych. Niełatwa to była sprawa. Gdzie zagadnienie jest najtrudniejsze, tam zwracamy się do nauk najdoskonalszych i najściślejszych. Niech więc matematyka, królowa nauk, rozstrzygnie nasz spór. Jeśli nasze przypuszczenie o podziale wymocz-

ków na samców i samice jest słuszne i jeśli istotnie śmiertelność dotyczy samców, nie znaczy to oczywiście, aby samice wcale nie umierały. Mają one tylko niższą śmiertelność. Wykonamy dwa równoległe szeregi obserwacyj. W jednym szeregu będziemy hodowali, po jednemu, osobniki par rozdzielonych, notując zawsze, który osobnik do którego należy, t. zn. kto z kim zamierzał konjugować. W drugim szeregu będziemy w ten sam sposób hodowali ekskonjugantów. Oczywiście powinniśmy obserwować możliwie dużo osobników na raz. W obu szeregach daje się zauważyć pewna śmiertelność. Jeśli jest ona czysto przypadkowa, niezależna od zróżnicowania płciowego, najprawdopodobniej część osobników ginących będzie należała do odrębnych par, część zaś do tych samych. Prawdopodobieństwo obu przypadków jest takie same. Jeśli jednak śmiertelność dotyczy głównie jednego z dwóch osobników pary (domniemanego samca), najczęściej powinno się zdarzyć umieranie jednego tylko osobnika pary, czyli niejednakowy los obu. Wyjaśnimy to na przykładzie. Niech mamy 10 par ekskonjugantów, hodowanych indywidualnie, przyczem *a* odbył konjugację z *A*, *b* z *B* i t. d.

A B C D E F G H I J
a b c d e f g h i j

Niech śmiertelność wynosi 40%. Śmierć których z tych 20 osobników jest wtedy najprawdopodobniejsza? Skoro śmiertelność obu ekskonjugantów jest czysto przypadkowa, jedna z prawdopodo-

bnych kombinacyj wymoczków umierających będzie np.

a A D f c I G g

t. zn. jednakowo giną wymoczki, należące do tej samej pary, jak należące do różnych. Jeśli zaś śmiertelność obu osobników pary jest stale niejednakowa, gdyż samiec umiera częściej, typowa kombinacja będzie wyglądała np.

A b c D e F G h

t. zn. każdy wymoczek umierający będzie należał do innej pary.

Doświadczenie zostało doskonale obmyślone, wymoczka przyparto do muru i kazano mu się zdecydować: albo prawo, albo lewo. Ale jak zwykle, pantofelek nie uwzględnia ani jednej, ani drugiej możliwości! Typowa kombinacja umierania, zaobserwowana w doświadczeniu, była:

A a C c E e H h.

W przeważającej liczbie przypadków los obu osobników danej pary jest podobny: albo oba giną, albo oba zostają przy życiu. Obliczono, że prawdopodobieństwo słuszności tego wniosku wynosi 20999/21000.

Natomiast w naszym drugim szeregu doświadczalnym, wśród potomków par rozdzielonych, najczęstsza kombinacja umierania będzie

a A D f c I G g.

Jednakowo giną osobniki tej samej pary, jak osobniki par różnych, śmiertelność jest dziełem czystego przypadku.

Wynika stąd, że po dokonanej konju-

gacji wymoczki stają się bardziej podobne do siebie, niż były przed konjugacją. Skoro podczas konjugacji zachodzi wymiana jąder i w obu osobnikach sprzężonych jądra po wymianie stają się identyczne, takie upodobnienie wzajemne musi być jakoś związane z jądrem mniejszem. Ono to narzuca pantofelkowi jego żywotność lub śmiertelność.*

Mimo to znaczenie wymiany jąder pozostaje i nadal zagadkowe. Jeśli proces ten prowadzi do upodobnienia, jakiż jest cel tego upodobnienia? Na to narazie nie mamy odpowiedzi. Nie wiemy także, czy dwa sprzężone osobniki istotnie są samcem i samicą. Możliwe, że są one zróżnicowane płciowo i że dopiero odbycie konjugacji sprowadza je do jednego mianownika. U innych zwierząt sprawa rozrodu płciowego jest bardziej przejrzysta. W tych przypadkach, gdy zwierzę może mnożyć się dwojakim sposobem, np. drogą dzieworództwa i przez zapłodnienie, albo też przez zapłodnienie i drogą bezpłciową, jako reguła powszechna mnożenie się z zapłodnieniem występuje w warunkach gorszych. Powstające wtedy jaja zapłodnione odznaczają się dużą odpornością: mogą zimować, wysychać, znosić działanie roztworów soli i t. p. Gdy warunki życiowe pogarszają się znacznie, produkcja jaj zapłodnionych może poprostu uratować życie gatunku,

* Krótki był okres od wykończenia rękopisu tej książki do jej wydrukowania, a już coś zmieniło się w naszych wiadomościach o pantofelku. Ukazała się bowiem praca, która podaje w wątpliwość pokonjugacyjne upodobnienie się partnerów. Wynik, podany w tej książce, otrzymano na pewno, okazuje się jednak, że na innych wymoczkach i w innych okolicznościach można go było nie otrzymać.

bowiem po pewnym czasie warunki zmienią się na lepsze i jaja rozwiną się. Mogą one przetrwać tam, gdzie osobnik, który je wydał, musi zginąć. Podobnie pantofelek w dogodnych warunkach życiowych mnoży się przez podział. Gdy jednak warunki ulegają pogorszeniu, następuje proces płciowy: endomiksja lub konjugacja. Aż dotąd analogja jest zupełna. Gdyby pantofelek po odbytej konjugacji otorbił się i czekał w stanie życia utajonego na polepszenie się warunków, analogja byłaby przeprowadzona do końca. Ale tego właśnie nie robi. Zanik materjału jądrowego może być istotnym środkiem odmłodzenia, przyznajmy jednak otwarcie, że nie wiemy, do czego służy wymiana jąder. Zagadnienie to wymaga wielu jeszcze badań.

Po wszystkich tych dramatycznych przejściach powracamy do punktu wyjścia. Czy pantofelki są śmiertelne, czy nieśmiertelne? Trzeba widocznie umówić się, co będziemy nazywali śmiercią. Jeśli śmierć oznacza powstanie ciała martwego, gnijącego i rozkładającego się, nie istnieje ona u pantofelka, oczywiście poza przypadkami śmierci gwałtownej. Można jednak nazywać śmiercią zanik indywidualności. Przypomnijmy sobie, jak głęboka reorganizacja całego ustroju wymoczka zachodzi podczas podziału. W organizmie literalnie nie zostaje kamień na kamieniu i jeśli wymoczek nasz coś umiał, coś pamiętał, posiadał jakiś światopogląd, po podziale musi on o wszystkiem zapomnieć. Pamięć nasza polega na utrwaleniu przeżyć w komórkach mózgowych, na które przeżycia wpływają

w jakiś sposób materjalny. Coś w tych komórkach się zmienia, tu nie może być dwóch zdań. Jeśli mózg nasz zostanie nagle roztopiony i z jego nieforemnej masy wykrystalizują się dwa mózgi, o połowę mniejsze, wszelkie ślady przeżyć w jego komórkach zostaną bezpowrotnie zatarte. Tak samo i pantofelek po podziale staje się nową indywidualnością. Podział równa się śmierci. To jest w gruncie rzeczy spór o nazwę. Ciekawsze jest inne pytanie. Depresja, endomiksja i konjugacja okazały się zbędne w pewnych warunkach. Powstaje więc naturalne pytanie, czy podział jest w życiu pantofelka zjawiskiem koniecznem? Czy nie można go uniknąć, zachowując przez czas dowolny osobnika przy życiu?

Owszem, i to jest możliwe. Doświadczenia, przeprowadzone w tym kierunku, opierały się na następujących założeniach. Wszelki podział wymoczka musi być poprzedzony przez wzrost, w wyjątkowych tylko przypadkach (np. w wysokiej temperaturze) zjawiska te mogą być rozdzielone. Wzrost wymoczka odbywa się kosztem pobieranego i przyswajanego pokarmu. Obliczono, iż około połowy pokarmu zostaje zużyte na codzienne czynności wymoczka, jak ruch, trawienie, oddychanie, wydalanie i t. p., połowa zaś idzie na pomnożenie jego żywej substancji. Jeśli zatem uda się zachować bez zmiany codzienne procesy życiowe zwierzęcia, a jednocześnie wstrzymać jego wzrost, powinno być możliwe wstrzymanie podziału. Oczywiście w tym celu trzeba dać wymoczkowi tylko połowę jego normalnej porcji pokarmowej.

Postawienie sprawy jest proste. Nieco mniej pro-

ste okazało się jej rozwiązanie. W pożywce sianowej mamy wielce skomplikowane warunki, gdyż zawiera ona w roztworze najprzeróżniejsze sole, wymyte z siana, zawiera dużo części organicznych i wiele różnych gatunków bakteryj. Praktyczniejsze okazało się hodowanie pantofelków w czystej wodzie i karmienie ich specjalnie przygotowanemi hodowlami bakteryj, zawierającemi tylko jeden gatunek tych drobnoustrojów. Jedynie w tych warunkach możemy dokładnie stwierdzić, co wymoczek je i ile pochłania pokarmu. Aby to obliczyć, bierzemy pewną objętość hodowli bakteryj i liczymy pod mikroskopem, ile bakteryj zawarte jest w ściśle określonej, małej jej części, do czego istnieją specjalne aparaty. Możemy stąd wyliczyć, ile bakteryj mieści się w całej naszej porcji. Następnie wpuszczamy tam znaną liczbę pantofelków i po godzinie liczymy bakterje jeszcze raz. Z różnicy obu obliczeń będziemy wiedzieli, ile bakteryj pobrały wymoczki w ciągu godziny, a ponieważ znamy liczbę wymoczków, poznamy, ile bakteryj pochłania w ciągu godziny osobnik pojedyńczy. Otrzymano przeciętnie 100 000 bakteryj na godzinę i wymoczka, czyli w ciągu doby jeden pantofelek pobiera około 2 400 000 bakteryj. W tych warunkach pantofelek, hodowany pojedyńczo na szkiełku, dzieli się raz na dobę.

Wiedząc to, przystąpimy do doświadczeń. Będziemy teraz systematycznie zmniejszali liczbę podawanych wymoczkowi bakteryj, co się uskutecznia przez odpowiednie rozcieńczanie hodowli bakteryjnej. Gdy mu damy 1 500 000 bakteryj na

dobę, wymoczek jeszcze może się podzielić w ciągu 24 godzin, ale już czasem następuje pewne opóźnienie. Gdy dojdziemy do porcji, wynoszącej około 200 000 na dobę, t. zn. przeszło dziesięć razy mniejszej od normalnej ilości pokarmu, podziały dobowe zanikają. Jednak po około 10 dniach pantofelki dzielą się i w tych warunkach. Zachowanie się wymoczka jest bardzo ciekawe. Zwierzę jakby zaczęło oszczędzać. Pływa teraz bardzo wolno, wolniej pulsują jego wodniczki kurczliwe, wogóle cała działalność życiowa zostaje nastawiona jakby na mniejszą skalę. Dzięki takiemu zwolnieniu tempa życiowego, pantofelek może uzbierać sobie pewien kapitalik pokarmowy. W ciągu dziesięciu dni otrzyma on teraz tyle, ile dostawał dotąd przez jeden dzień. To też tym razem podzieli się dopiero po 10 dniach. Dotyczy to zresztą tylko większości wymoczków, bowiem niektóre z nich podzielą się dopiero po 30 dniach. Dla zwierzęcia, które normalnie dzieli się raz na dobę, oznacza to już bardzo poważne wydłużenie okresu jego życia indywidualnego.

Dalsze próby prowadzono trochę inaczej. Z punktu widzenia naszych doświadczeń wymoczkowi, otrzymującemu zmniejszoną porcję pokarmową, grozi dwojakie niebezpieczeństwo. Jeśli otrzyma on trochę tylko ponad normę doświadczalną, potrzebną mu na opędzenie codziennych potrzeb życiowych, wymoczek uzbiera sobie pewien zapas i podzieli się. Jeśli zaś dostaje pokarm poniżej tej normy, wymoczek po pewnym czasie zginie z głodu. W obu przypadkach jest on stracony dla

naszych doświadczeń. Zanim nastąpi jedna lub druga z tych dwóch ewentualności, w organizmie wymoczka zachodzą pewne zmiany, różne w obu razach, np. zmienia się wygląd protoplazmy, inny staje się charakter ruchów i t. p. Zmiany te dokładnie wystudjowano, dzięki czemu można było przewidzieć, ku której z dwóch granic zbliża się pantofelek. Pokarm podawano mu teraz tylko w chwilach, gdy groziła śmierć głodowa. Obserwując wymoczki codziennie i dając im pożywienie tylko w razie ostatecznej potrzeby, udało się wydłużyć okres życia indywidualnego do czterech miesięcy! Z wszelką pewnością nie tu jeszcze leży kres i nie jest pewne, czy taki kres wogóle istnieje. Bowiem trudności prowadzenia podobnych doświadczeń są ogromne. Codziennie trzeba przesadzić każdego wymoczka do świeżego środowiska, w którem liczba bakteryj pokarmowych jest dokładnie znana. Nie uniknie się przytem drobnych uszkodzeń zwierzęcia, nie mówiąc już o tem, że metody liczenia bakteryj nie są zbyt ścisłe, a drobny błąd popełniony może odrazu mieć skutki fatalne. Tak więc te cztery miesiące dałyby się z pewnością znacznie przedłużyć. O ile, narazie nie wiemy. Otrzymane przedłużenie życia pantofelka jest już poważnym sukcesem, zwłaszcza gdy się zważy, że w przypadku człowieka, żyjącego powiedzmy do 70 lat, takie same przedłużenie dałoby żywot beztroski i szczęśliwy w ciągu 8400 lat — parokrotnie dłużej, niż liczy cała nasza cywilizacja.

Analogiczne wyniki otrzymano także w hodowlach masowych. W słoju o pojemności jednego

litra znajdowało się 10 000 pantofelków, czyli po 10 na każdy centymetr sześcienny. Wymoczki te dostawały codziennie odmierzoną porcję bakteryj, przyczem okazało się, że z nieznanych powodów w hodowli takiej mniejsza ilość pokarmu wystarcza do zapewnienia pantofelkom możności podziału. Dobrano jednak i dla nich odpowiednią ilość pożywienia. W ciągu trzech miesięcy liczba pantofelków w słoju, codziennie kontrolowana, pozostała mniej więcej stała, ani razu nie widziano, aby pantofelek zginął, ani razu nie napotkano wymoczka dzielącego się. Dobranie odpowiedniej, „fizjologicznej“ porcji pokarmu może wstrzymać u pantofelka mnożenie się przez podział, nie wywołując przytem żadnych objawów anormalnych. W końcu doświadczenia wymoczki były tak samo świeże i żywe, jak na jego początku, a gdy dodano im więcej pokarmu, rozmnożyły się w szybkiem tempie.

Tak więc pantofelek jest istotą nieśmiertelną, zarówno gatunkowo, jak indywidualnie. Za taką musimy go w każdym razie uważać, aż ktoś nam dowiedzie, że śmierć jest dla niego zjawiskiem koniecznem. Wymoczek nasz jest podziwu godnem stworzeniem, które łączy w sobie wszelkie przeciwieństwa. Wszystko może, posiada zawiłe i subtelne mechanizmy, wprawiane w ruch w pewnych chwilach życia i z pewnością do czegoś ważnego służące. Ale jednocześnie pantofelek bez wszystkiego potrafi się obejść. Jest on, jak ten mędrzec grecki, który siedząc przy stole biesiadnym cierpliwie czekał, aż przyjdzie nań kolej, gdy zaś wreszcie przyniesiono mu upragniony półmisek, odsunął

go. Pantofelek nie potrzebuje ani depresji, ani przerostu jądra większego, ani endomiksji, ani konjugacji, ani podziału, a nawet sama śmierć nie jest dla niego obowiązująca.

ROZDZIAŁ XII

ZMIENNOŚĆ I DZIEDZICZNOŚĆ

OPISANA w rozdziale poprzednim nadzwyczajna zdolność pantofelka do rezygnowania w razie potrzeby z najbardziej zasadniczych procesów, związanych ze sprawami rozrodu, ułatwia nam zrozumienie jego ogólnej ascezy.

Pantofelek nasz jest kosmopolitą w najszerszem znaczeniu tego pojęcia. Żyje on we wszystkich krajach świata, spotyka się go w wodach północnej Norwegji i środkowej Afryki, Australji i Ziemi Ognistej i nie wiemy, gdzie jest jego ojczyzna. Prawdopodobnie jest nią cały glob ziemski. Każdy klimat jest dla niego dobry, od lodów i śniegów arktycznych do skwaru słonecznego krain zwrotnikowych. Pantofelek żyje w wodach słodkich, spotyka się go jednak także w słonawych, a nawet w morzach, może istnieć w wodzie mętnej i cuchnącej, a nie gardzi też bagnami i torfowiskami. Rozmaitość środowisk i warunków, w jakich dobrze czuje się pantofelek, jest poprostu zdumiewająca. Wszelkie dające się pomyśleć czynniki, jak temperatura, jej wahania dobowe i roczne, zawartość w wodzie soli, kwasów i substancyj organicznych, światło, różnego rodzaju wpływy klimatyczne, biologiczne, kosmiczne, wszystko to może zmie-

niać się w najszerszych granicach, a pantofelek wszędzie potrafi znaleźć sobie sposób przetrwania. Olbrzymia to istotnie zdolność przystosowawcza. Człowiek może żyć w Grenlandji i na Saharze, na poziomie morza i na wysokości kilku tysięcy metrów, ale człowiek zabezpiecza się przed wpływami klimatu zapomocą odpowiedniego ubrania, mieszkania i jedzenia. Pantofelek tego nie robi: nie buduje on domów i szałasów, nie zna pieców i kominków, nie nosi palta i nie stwierdzono, aby w klimacie zimnym chętniej pochłaniał bakterje tłuste, w gorącym zaś — żyłowate. Mimo to wszędzie potrafi istnieć i mnożyć się ku wiecznej chwale swego szlachetnego rodu.

Nie to jednak jest najdziwniejsze. W różnych klimatach żyją różne rasy ludzkie, a w każdym razie klimat wpływa wybitnie na wiele właściwości naszego organizmu. Ale pantofelek wszędzie jest tym samym pantofelkiem. Wymoczek z Sudanu jest rodzonym bratem wymoczka z Labradoru, najsubtelniejsze badania mikroskopowe nie wykażą w nich żadnych istotnych różnic. Obaj tak samo wykonywują ruch prawidłowy i nieprawidłowy, obu właściwe są te same tropizmy, w ten sam sposób pobierają one pokarm i tak samo pulsują ich wodniczki kurczliwe. Niewątpliwie jest to wszędzie jeden i ten sam organizm, który potrafił uniezależnić swoje „ja“ od wpływów otoczenia, w każdych niemal warunkach zdołał obronić swoją indywidualność. Musi on posiadać jakieś środki ochronne, organizm jego nie może być dostępny wszelkim wpływom zewnętrznym.

Oto zagadnienie, narzucające się samo przez się, a o którem właściwie wiemy bardzo mało. Przytoczę tu parę tylko przykładów.

Jak wiemy z rozdziału o wydalaniu, dzięki działalności „plazmy nerkowej“ pantofelek potrafi zachować autonomję chemiczną swego ustroju: wydala on wodę, pozostawia zaś w protoplazmie określone i stałe stężenie soli. Wymoczek broni się czynnie przed wydalaniem nadmiernych ilości soli, broni się także przed ich niepotrzebnem pochłanianiem. W osobliwy sposób broni się pantofelek przed działaniem różnego rodzaju ciał trujących. Jeśli wymoczki znajdują się w roztworze zasadowego barwnika, jak błękit metylenowy, czerwień obojętna, trypaflawina i t. p., umierają one po pewnym czasie. Zauważono, że pantofelki żyją w barwniku tem dłużej, im więcej ich jest w naczyniu a ponadto, że zawartość barwnika w środowisku maleje. Wymoczki wytwarzają bowiem na powierzchni swego ciała rodzaj błony ochronnej, która silnie chłonie barwnik z roztworu, zmniejszając jego stężenie, a zarazem nie dopuszcza go do wnętrza ciała. Gdy stężenie roztworu nie jest zbyt duże, sposób okazuje się skuteczny: wymoczki pozostają przy życiu. Błona ochronna składa się właściwie z silnie napęczniałych trichocystów, które w ten niespodziewany sposób zdradzają nam jedną ze swych czynności.

Na autonomję organizmu wskazują następnie badania nad wpływem kwasowości otaczającej cieczy na trwanie reakcji kwaśnej w wodniczku pokarmowym. Gdyby wymoczek był bezpośrednio

zależny od wpływów środowiskowych, zwiększenie kwasowości cieczy zewnętrznej powinno byłoby przedłużyć czas trwania kwaśnej reakcji. Środowisko idzie w tym przypadku reakcji na rękę. W rzeczywistości można zmieniać kwasowość w bardzo szerokich granicach, a trwanie reakcji kwaśnej nie podąża za tem wcale, waha się zaledwie od 18 do 24 minut, a ponadto w środowisku silnie kwaśnem trwanie reakcji jest krótsze, nie dłuższe, jak możnaby myśleć. Wymoczek nie dopuszcza kwasu do swego wnętrza.

Dodatek nieznacznych ilości substancyj szkodliwych: chininy, błękitu metylenowego, związków arsenowych i antymonowych, po pewnym czasie zwiększa odporność pantofelków, następuje „przyzwyczajenie się“ organizmu do trucizny, swojego rodzaju „aklimatyzacja“. Po ustaleniu takiej aklimatyzacji, wzięto dwie jednakowe porcje pantofelków: jedne przyzwyczajone do danej substancji, drugie — kontrolne, t. zn. wymoczki normalne, które nigdy nie stykały się z substancją trującą. Na obie porcje podziałano tym samym silnym roztworem trucizny, który spowodował śmierć wszystkich wymoczków po upływie pół godziny. Następnie zbadano, jakie zmiany w środowisku wywołały obecne w niem pantofelki aklimatyzowane i nieaklimatyzowane. W przypadku substancyj organicznych, wymoczki aklimatyzowane w jakiś sposób niszczą je, czy rozkładają. Ilustruje to poniższa tabelka. Liczby w niej wskazują, jaki procent obecnej w roztworze substancji znika pod wpływem

wymoczków aklimatyzowanych i nieaklimatyzowanych.

	Chinina	Błęk. metylen.	Błęk. trypan.	Fuksyna
Wym. aklimat.	80	62,5	54	60
„ nieaklim.	4,5	0,5	0,75	1

Co się stało ze znikającemi substancjami? Nie znaleziono ich wcale w ciałach ginących pantofelków, a zatem musiały one ulec rozkładowi. Widocznie dzięki aklimatyzacji wymoczki nauczyły się produkować specjalne substancje, rozkładające ciała szkodliwe. Przytem substancje te są swoiste, nastawione każdorazowo na dany właśnie rodzaj trucizny, gdyż aklimatyzacja np. względem chininy w niczem nie zmienia wrażliwości pantofelków na fuksynę. Słowem, wymoczek radzi sobie z truciznami organicznemi mniej więcej w ten sam sposób, jak człowiek, który wytwarza w swym organizmie t. zw. przeciwciała (antytoksyny). Na tem właśnie opiera się w pierwszym rzędzie walka ustroju ludzkiego z chorobą zakaźną, na tem również oparta jest zasada otrzymywania surowic ochronnych.

Nieco inaczej ma się sprawa z truciznami nieorganicznemi. Arsen i antymon są silnie trujące dla pantofelków, jeśli działają w postaci związków trójwartościowych, są natomiast dość obojętne jako związki pięciowartościowe. Otóż wymoczki aklimatyzowane potrafią transformować związki trójwartościowe na pięciowartościowe, zmniejszając tem wybitnie ich szkodliwość. Być może zresztą

niezupełnie to ich zasługa, gdyż transformacji takiej mogą dokonywać obecne w cieczy hodowlanej bakterje.

Te parę przykładów ilustrują czynność ochronną pantofelka, którą nazwiemy *izolującą*. Wymoczek różnemi sposobami odgradza się od wpływów zewnętrznych, zamyka się w ramach swego organizmu, jak ślimak w skorupie. Czasem znowuż, jak załoga oblężonej twierdzy, robi wycieczkę, zwalcza nieprzyjaciela w jego własnym obozie, wysyła nań produkowane przez siebie substancje neutralizujące.

Obok tego wymoczek posiada innego rodzaju zdolności, które nazwiemy *regulacyjnemi*. Weźmy za przykład stosunek pantofelka do wahań temperatury. Naogół im wyższa jest temperatura, tem mniejsze stają się pantofelki. Fakt tłumaczy się tem, że w wyższej temperaturze podziały są częstsze i wzrost zwierzęcia nie nadąża za niemi. Innemi słowy, zależność częstości podziałów od temperatury jest inna, niż zależność od niej procesów wzrostowych. W niektórych przypadkach stwierdzono, iż pod wpływem podwyższonej temperatury wymoczki zmniejszały wprawdzie początkowo wymiary swego ciała, ale po pewnym czasie powracały do wymiarów początkowych, jakkolwiek temperatura wciąż pozostawała wysoka. Procesy wzrostowe dostosowały się do nowych warunków i została przywrócona zwykła harmonja pomiędzy podziałem a wzrostem. Zjawisko to oznacza bardzo głęboką zmianę w czynnościach organizmu, bowiem tak podstawowy proces fizjologiczny, jak wzrost,

zmienił swój stosunek do wahań temperatury, zmienił, jak mówimy, swój współczynnik termiczny.

Tych zdolności izolacyjno - regulacyjnych pantofelka nie należy przesadzać. Nie zawsze zwierzę może zachować swoją niezależność, rozpiętość jego środków obronnych nie jest i nie może być bezgraniczna. Gdy zmiany warunków zewnętrznych przekraczają pewną miarę, pantofelek dochodzi do przekonania, że głową muru nie przebije, że najrozsądniej będzie uznać istniejący stan rzeczy za normalny i przystosować się do niego. Nie jesteśmy przyzwyczajeni do tego, aby w zimie spać 18 godzin na dobę, w lecie zaś 4, w mróz chodzić z prędkością 1 cm na sekundę, a w upał pędzić jak pociąg pośpieszny. Pantofelek jednak tak właśnie postępuje, a w dodatku nie szkodzi mu to wcale.

Pantofelek może żyć w dość szerokich granicach temperatury. Ciecz hodowli można ochłodzić nawet do — 4°, a wymoczki będą w niej żyły przez wiele dni. W tych warunkach wszystkie czynności wymoczka ulegają silnemu zwolnieniu: zwierzę kurczy się i skraca, jego wodniczki kurczliwe pulsują z częstością zaledwie paru razy na godzinę, ruch wymoczka jest prawie niewidoczny, najwyżej obraca się on wolno dokoła swej osi podłużnej, niema mowy o pobieraniu pokarmu i podziałach. W tak niskich temperaturach wymoczki mogą żyć pod warunkiem, aby ciecz hodowli była tylko przechłodzona, ale nie zamarzła. Możnaby przypuścić, iż kryształki lodu, tworzące się w ciele wymoczka, rozrywają go, albowiem lód ma większą objętość, niż równa mu masa wody. W rzeczywi-

stości przyczyna umierania jest inna. Gdy ochładzać roztwór soli, sól strąca się, zamarza zaś prawie czysta woda. Innemi słowy zamarzanie odciąga wodę z roztworu, jest równoznaczne z jego silnem odwodnieniem. Podobnie w przypadku zamarzającego pantofelka. Kryształy lodu nie tworzą się wewnątrz jego ciała, lecz w cieczy otaczającej, same przez się nie są więc szkodliwe. Ale w trakcie zamarzania cieczy ciało jego zostaje silnie odwodnione, wzrasta w niem ogromnie stężenie soli i to właśnie jest przyczyną śmierci. W cieczy przechłodzonej wymoczki pozostają przy życiu nawet w temperaturze — 9°. Stopniowo można przyzwyczaić wymoczki do niskich temperatur, w temperaturze paru stopni poniżej zera mogą one żyć do 96 dni i dłużej. Przytem wymoczki pęcznieją silnie, objętość ich ciała powiększa się 4—5 razy, co ma swoją przyczynę prawdopodobnie w bardzo znacznem zwolnieniu działalności wodniczków kurczliwych, oraz w skupianiu się w protoplazmie osmotycznie czynnych produktów wydalania. Jeśli takiego napęczniałego ponad miarę pantofelka odwodnić sztucznie, umieszczając go w roztworze soli lub gliceryny, powraca on do normalnych proporcyj. Jako zwierzę wodne, pantofelek rzadko tylko ulega niebezpieczeństwu zamarzania, pod lodem może on doskonale żyć i mnożyć się, jakkolwiek dzieli się wtedy raz na 12—14 dni. Nawet jeśli zbiornik wodny przemarznie do dna, niekoniecznie oznacza to śmierć wszystkich żyjących w nim pantofelków. W pozornie jednolitej bryle lodowej istnieją mikroskopowej wielkości przestrzenie, na-

pełnione niezamarzniętym roztworem soli. W takich niezbyt zgęszczonych roztworach pantofelki mogą przetrwać zimę. Zaczynamy rozumieć, dlaczego wymoczek nasz potrafił opanować świat.

Co się tyczy górnej granicy temperatury, to w temperaturze 38° udaje się jeszcze hodować pantofelki, jest to jednak, jak się zdaje, temperatura graniczna. Powyżej następuje już zgęstnienie (żelatynizacja) protoplazmy, którą do pewnego stopnia można cofnąć, ochładzając wymoczka. Nie zostało należycie zbadane, czy długotrwała hodowla w wyższej temperaturze powoduje przesunięcie się wzwyż tej górnej granicy termicznej.

Wiele uwagi poświęcono sprawie wpływu najprzeróżniejszych chemikalij na procesy życiowe wymoczka. Może on żyć także bez wszelkich chemikalij, w wodzie destylowanej, w której potrafi nawet się podzielić. Z ciekawszych faktów wpływu substancyj chemicznych należy wymienić działanie roztworów rodanku amonowego i chlorku litu, które ogromnie przyśpieszają podziały pantofelka. Wpływ chininy jest interesujący z tego względu, że oddziaływa ona na pantofelki w znikomych, wprost nieprawdopodobnie małych ilościach. Jest to tak nazwane działanie *oligodynamiczne*. W roztworze chininy 1 : 100 000 pantofelki umierają po paru dniach. Słabsze jej koncentracje nie są zabójcze, wpływają jednak wyraźnie na tempo podziałów. Wypróbowano szereg rozcieńczeń, z których każde następne było 10 razy większe od poprzedniego. W stężeniu 1 : 1 000 000 000 000 000 000 otrzymano wybitne przyśpieszenie tempa podzia-

łów, wynoszące około 75%. Wątpliwe, aby jakakolwiek metoda chemiczna zdołała wykryć tak minimalne ilości chininy. Ale pantofelki reagują na nie niezawodnie.

Nie chcąc nudzić czytelnika, nie będę opisywał badań nad działaniem na pantofelka całego układu perjodycznego pierwiastków chemicznych i ich kombinacyj, ekstraktów organicznych, hormonów i witamin, jadów różnych żmij, trucizn organicznych i nieorganicznych, narkotyków, promieni wszelkiego rodzaju, fal ultradźwiękowych, mieszanin bakteryj i czystych hodowli bakteryjnych, chorobotwórczych i niechorobotwórczych. Niema chyba takiej przykrości, którejby ludzie nie usiłowali pantofelkom wyrządzić.

Nie wszystkie te badania były potrzebne, to prawda najzupełniejsza. Jednak nigdy niewiadomo, co w życiu może się przydać i skąd przyjdzie postęp wiedzy. Lepiej więc spróbować wszystkiego. Głębsze zrozumienie istoty pantofelka wynika nie z poszczególnych prób, lecz z ich całokształtu. Wynika bowiem ze wszystkiego, że wymoczek nasz jest ogromnie wrażliwy na wpływy środowiska, że ulegają im różne przejawy jego życia, a w szczególności szybkość i charakter ruchu, podziały, pulsacje wodniczków kurczliwych, reagowanie na bodźce i t. d. Co mamy stąd wnosić? Zaczęliśmy od tego, że pantofelek może żyć w najprzeróżniejszych warunkach, pozostając zawsze tym samym pantofelkiem. Zatem, jego właściwości życiowe nie są zależne od warunków zewnętrznych. Teraz znowu dochodzimy do wniosku, iż właśnie w wysokim

stopniu zależą one od wpływów świata otaczającego. W cóż mamy ostatecznie wierzyć, czego się trzymać? Pantofelek nie byłby sobą, gdyby sprawy nie zaplątał.

Dewizą pantofelka jest: ugiąć się, ale nie złamać, *flectar non frangar*. Pod wpływem tych czy innych warunków przebieg procesów życiowych zwierzęcia ulega nieraz daleko idącym zmianom. Ale są to zmiany powierzchowne, nie sięgające w istotę ustroju. Jeśli w wysokiej temperaturze pantofelek dzieli się raz na 12 godzin, może on istnieć w tych warunkach przez całe lata, może minąć parę tysięcy pokoleń pantofelkowych, a gdy temperatura obniży się, powróci on do swego dawnego tempa podziałowego. Pod wpływem zmienionej temperatury zmieniła się reakcja, ale pozostał ten sam reagujący organizm. Pod wpływem każdego pchnięcia wahadło odchyli się od położenia równowagi, ale pozostanie ono tem samem wahadłem, pchnięcia w niczem nie wpłynęły na jego konstrukcję. Dlatego właśnie w każdym klimacie pantofelek może funkcjonować inaczej, ale wszędzie pozostaje tym samym pantofelkiem.

Zawiłe to zagadnienie musimy wyjaśnić. W każdej hodowli pierwotniaczej napotykamy osobniki bardzo różnej wielkości. Jaka jest przyczyna tych różnic? Możliwości jest wiele. Być może idzie o różnice wieku, jak to mówiliśmy w rozdziale o podziałach wymoczka. Może przyczyna tkwi w niejednakowem odżywianiu się poszczególnych osobników. W różnych punktach słoja z pożywką sianową panują bardzo nierówne stosunki, rozmieszczenie ba-

kteryj zawsze jest nierównomierne i dlatego stopień odżywiania się pojedyńczych osobników pantofelka nie może być jednakowy. Może ilość tlenu i dwutlenku węgla waha się w różnych punktach naczynia hodowlanego, może odgrywa rolę stężenie amonjaku, kwasu moczowego, mocznika, kwasowość cieczy, obecność w niej różnych soli lub produktów przemiany materji bakteryj. Krótko mówiąc, być może poszczególne osobniki spotykają się z niejednakowem nasileniem czynników, wpływających na wzrost dodatnio lub ujemnie. Wszystko to leży w sferze możliwości. Ale prócz tego wszystkiego musimy uwzględnić jeszcze możliwości zupełnie innego rodzaju. Być może hodowla nasza mieści w sobie szereg różnych „rodów" pantofelków, szereg dziedzicznych grup tych zwierząt, z których jedne należą do olbrzymów, inne do karłów, trzecie zaś do osobników średnich. Ród olbrzymów może znaleźć się w niekorzystnych warunkach odżywiania i wydać szereg osobników drobnych. Nie mniej pozostaje on rodem olbrzymów i trzeba mu tylko dać odpowiednie warunki, a odrazu wystąpią w całej pełni jego dążności wewnętrzne. Warunki mogą przytłumić je, ale nie potrafią ich zniszczyć.

Wysunięta możliwość stała się przedmiotem specjalnych badań. Jak wynika z licznych pomiarów, w zwykłej mieszanej hodowli długość ciała wymoczków waha się w granicach od 45 do 310 mikronów (tysiącznych milimetra). Obraz tej zmienności ukazuje fig. 92. Tkwią w niej różnice wieku, odżywiania, warunków środowiskowych,

wogóle czynników, które mogą w tym czy innym kierunku wpływać na wzrost. Mając przed sobą ol-

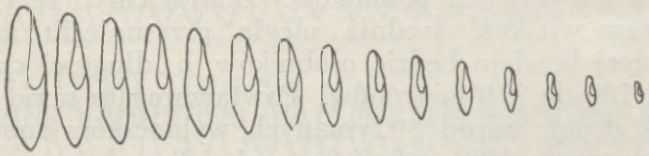


Fig. 92. Wahania wielkości ciała pantofelka (Jennings, zmienione)

brzyma pantofelkowego, nie wiemy, czy jest to przedstawiciel rodu olbrzymów, czy też tylko osobnik, któremu przypadkowo dobrze powodziło się na świecie. Tu potrzebne są specjalne sposoby.

Po wymierzeniu powiedzmy 1000 osobników hodowli mieszanej, cały ten materjał liczbowy podzielimy na klasy, np. na osobniki od 50 do 70 mikronów, 70 do 90, 90 do 110 i t. d. Zliczymy następnie, ile osobników przypada na każdą klasę. Podaję tu wynik podobnego zestawienia:

Wymiary:	od	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290
	do	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310
Osobników:		2	11	28	52	101	154	302	143	106	55	31	14	1

Tabelka ta odrazu ukazuje nam pewną prawidłowość zjawiska. Widzimy z niej, że największa liczba osobników przypada na wielkość średnią (od 170 do 190 mikronów), najrzadsze zaś są wymoczki najmniejsze i największe. Wynik ten nas nie dziwi, wiemy bowiem z własnego doświadczenia, że najmniej jest ludzi bardzo wysokich i bardzo niskich, najwięcej zaś średniego wzrostu.

Teraz z hodowli naszej wybierzemy 100 osobników największych i rozmnożymy je, następnie zaś wymierzymy ich potomków. Znajdziemy, że tym razem wielkość średnia uległa przesunięciu, najwięcej bowiem będzie osobników o długości ciała od 190 do 210 mikronów. Powtarzamy to samo po raz drugi: wśród otrzymanych wymoczków znowu wybieramy 100 osobników największych, rozmnażamy je i mierzymy. Znowu wielkość średnia ulega pewnemu przesunięciu wzwyż. To, co robimy, nazywa się *selekcją* osobników największych. Powtarzając tę operację kilkakrotnie przekonamy się, iż przesuwanie się wzwyż wielkości średniej staje się coraz mniejsze i wkrótce selekcja okaże się bezskuteczna. Nie mniej wyhodowaliśmy wymoczki, które są przeciętnie większe od początkowych, choć hodujemy je dokładnie w tych samych warunkach i karmimy w ten sam sposób. Jasne więc jest, że nietylko warunki zewnętrzne są odpowiedzialne za zmienność. Muszą tu istnieć ponadto jakieś czynniki wewnętrzne, dziedziczne.

Wynik wypadł nam ogólnikowo, gdyż zastosowaliśmy zbyt mało dokładną metodę badania. Wybierając 100 osobników największych, nie bardzo wiemy, co właściwie wybraliśmy, czy były to wymoczki, które przypadkowo osiągnęły swoje wymiary, czy też pantofelki olbrzymie „z natury". Chcąc dowiedzieć się czegoś więcej o tych sprawach, założymy szereg hodowli indywidualnych. Wybierzemy znowuż 100 osobników, ale będziemy każdego z nich hodowali osobno, w paru kroplach pożywki sianowej. Gdy wszystkie rozmnożą się, bę-

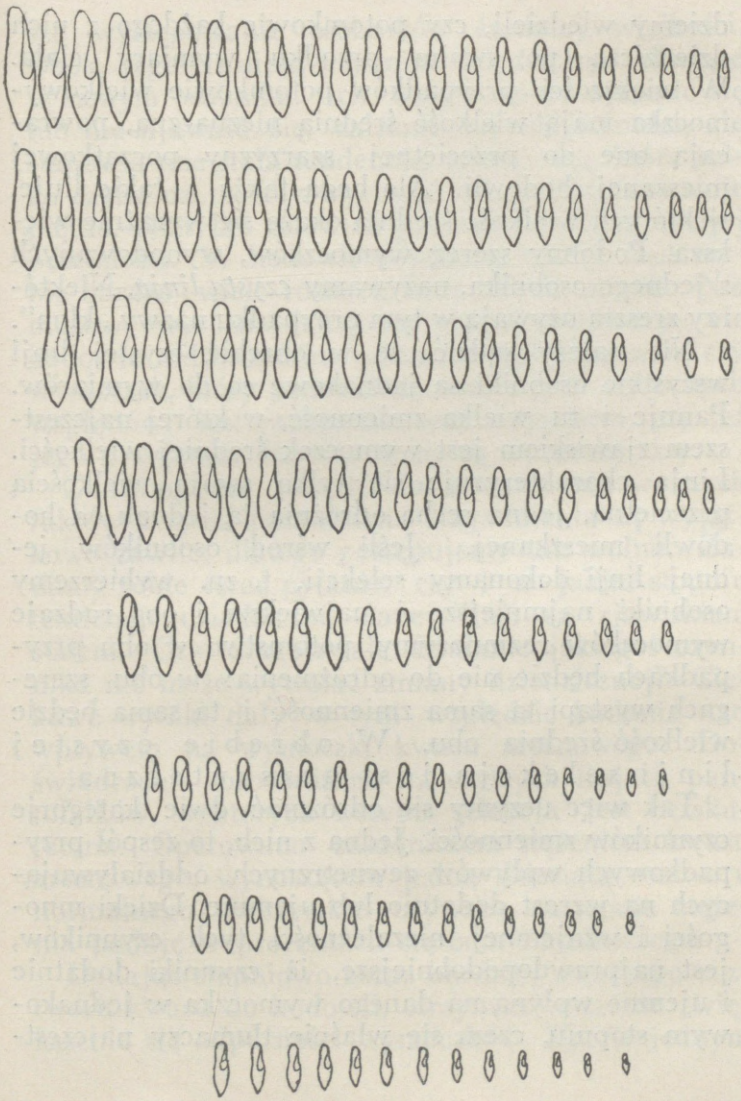


Fig. 93. Zmienność osobnicza w obrębie ośmiu czystych linij pantofelka (Jennings, zmienione)

dziemy wiedzieli, czy potomkowie każdego z nich dziedziczą po swoim przodku wymiary ciała. W większości przypadków potomkowie wielkowymoczka mają wielkość średnią nieznaczną, powracają one do przeciętnej szarzyzny początkowej mieszanej hodowli. Ale będą także i takie linje, w których wielkość średnia okaże się wyraźnie większa. Podobny szereg wymoczków, wyhodowanych z jednego osobnika, nazywamy *czystą linją*. Niektórzy zresztą używają w tym przypadku nazwy „klon".

Nie należy sądzić, że w obrębie czystej linji wszystkie osobniki są jednakowe co do wymiarów. Panuje i tu wielka zmienność, w której najczęstszem zjawiskiem jest wymoczek średniej wielkości. Linja charakteryzuje się tylko swoją wielkością przeciętną. Jedna cecha odróżnia ją jednak od hodowli mieszkanej. Jeśli wśród osobników jednej linji dokonamy selekcji, t. zn. wybierzemy osobniki najmniejsze i największe i oba rodzaje wymoczków rozmnożymy, potomstwo w obu przypadkach będzie nie do odróżnienia: w obu szeregach wystąpi ta sama zmienność i ta sama będzie wielkość średnia obu. W obrębie czystej linji selekcja jest bezskuteczna.

Tak więc uczymy się odróżniać dwie kategorje czynników zmienności. Jedna z nich, to zespół przypadkowych wpływów zewnętrznych, oddziaływujących na wzrost dodatnio lub ujemnie. Dzięki mnogości i wzajemnej niezależności tych czynników, jest najprawdopodobniejsze, iż czynniki dodatnie i ujemne wpłyną na danego wymoczka w jednakowym stopniu, czem się właśnie tłumaczy najczęst-

sze występowanie osobników średniej wielkości. Obok tego istnieją czynniki dziedziczne, tkwiące w samym osobniku. Ich wpływ może ujawnić się lub nie ujawnić się, zależnie od okoliczności, ale stanowią one stałą tendencję dziedziczną, która tylko czyha na to, aby wycisnąć na pantofelku swoje piętno. Nietylko człowiek jest niewolnikiem swojej przeszłości. W hodowli mieszanej mamy obok siebie bardzo wiele różnych linij dziedzicznych. Nie możemy wyróżnić ich przez prostą obserwację, ale hodowle indywidualne odrazu wyjaśniają nam, czy wymoczek, który podobał się nam z tych czy innych względów, jest przypadkowym wyjątkiem, czy też jego przyjemne dla nas cechy są wyrazem rasy.

Zbliżamy się powoli do zrozumienia ważnych faktów z życia pantofelka. Zagadnienia są wyjątkowo zawiłe, dlatego postępujemy tak wolno. Zadamy sobie teraz pytanie, czy i w jakim stopniu tendencje dziedziczne danej linji są zjawiskiem stałem. Czy długotrwałe działanie jakiegoś czynnika nie może wywołać zmiany dziedzicznej? Ciekawe wyniki dały w tym względzie badania nad wpływem na wymoczki kwasu arsenawego. Doświadczenia prowadzono na czystych linjach pantofelków, w których wszelka selekcja jest bezskuteczna. Operowano zasadniczem stężeniem kwasu arsenawego, wynoszącem jedną dziesiątą roztworu normalnego. Wszystkie używane następnie stężenia podaję w procentach stężenia zasadniczego.

Dodając stopniowo coraz bardziej stężonego roztworu kwasu do hodowli, otrzymano znaczne zwiększenie się odporności wymoczków. Np. w jednym

przypadku na początku pantofelki ginęły w 1% roztworze, po pewnym czasie zaś znosiły stężenie blisko dwa razy wyższe, bo 1,9%. Jeśli jednak tak uodporniona hodowla powracała do czystej pożywki sianowej, jej nabyta odporność zanikała po kilku dniach. Oczywiście była ona tylko indywidualnym nabytkiem poszczególnych wymoczków, które być może nauczyły się transformować arsen trójwartościowy w pięciowartościowy, ale odporność nie stała się wcale cechą dziedziczną.

Zastosowano nieco inną metodę. Hodowlę poddano działaniu słabego roztworu kwasu arsenawego, który jej nie szkodził. Było to uodpornienie wstępne. Po pewnym czasie dodano roztworu znacznie silniejszego, śmiertelnego dla większości pantofelków. Potem nieliczne pozostałe przy życiu osobniki powróciły znowuż do słabego, nieszkodliwego roztworu i zaczęły mnożyć się w nim. Wtedy znowu poddano je działaniu kwasu silnego. Tak postępowano raz po raz, to trzymając pantofelki w roztworze nieszkodliwym, to znowuż przenosząc je do roztworu, który zabijał większość. Stopniowo pantofelki „nauczyły" się znosić coraz wyższe stężenia kwasu arsenawego, co trwało około czterech miesięcy *. Idzie teraz o wypróbowanie, w jakim stopniu nabyta odporność jest trwała. W tym celu przeniesiono wymoczki do zwykłej pożywki sianowej, bez arsenu, i od czasu do czasu niewielką próbkę hodowli poddawano działaniu silnego kwa-

* W danym przypadku uodpornienie hodowli nie było wynikiem selekcji, bowiem doświadczenie wykonano z czystą linją, w której obrębie selekcja jest bezskuteczna.

su, mierząc stopień jej odporności. Jak się okazało, wymoczki zachowały nabytą odporność w ciągu około 8,5 miesięcy, jakkolwiek odtąd nie stykały się już z kwasem, i tylko bardzo stopniowo odporność ta spadła do swojej wielkości początkowej. Załączona tabelka ilustruje to zjawisko. Szereg górny tabeli oznacza liczbę dni od chwili zakończenia „przyzwyczajania". W szeregu dolnym mamy stężenie kwasu w procentach, które wymoczki mogły znosić, t. zn. w którem mogły żyć najmniej w ciągu pięciu dni.

Dni:	0	5	11	32	104	119	144	175	190	204	231	246	257
%:	5	5	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,5	4,2	3	2,5	1,3	1

Wymoczki kontrolne, t. zn. niepoddawane wogóle działaniu arsenu, mogły znieść zaledwie stężenie 1,1%. Wzrost odporności był więc bardzo znaczny, bo około pięciokrotny. Nie zawsze zresztą doświadczenia przebiegały tak gładko. W niektórych czystych linjach „przyzwyczajenie" do arsenu dało wynik odwrotny: spowodowało zmniejszenie się odporności, które tak samo przetrwało wiele pokoleń. Inne linje nie dały wogóle żadnego efektu, ich odporność nie uległa zmianie. W każdym razie raz nabyta odporność może przekazywać się z pokolenia w pokolenie w ciągu bardzo długiego czasu i jej zanik jest bardzo stopniowy.

Po długich i nudnych wywodach przygotowałem dla czytelnika sensację. Oto cała nabyta odporność odrazu i za jednym zamachem zanika po odbyciu konjugacji! Tak np. w jednej linji „przyzwyczajanie" do arsenu w ciągu czterech miesięcy pod-

niosło odporność wymoczków z 0,9% do 3%. Wkrótce po przeniesieniu pantofelków do czystej pożywki sianowej, część ich przebyła konjugację. Po kilkunastu dniach, gdy wszelkie procesy reorganizacyjne zostały całkowicie zakończone (przypominam, że wydalenie resztek jądra większego trwa wiele dni), wymoczki, które odbyły konjugację, umierały w 1% kwasu, te zaś, które nie konjugowały, zniosły bez szkody 3%.

Analogiczne, choć znacznie słabsze, jest działanie endomiksji. Doświadczenia te wykonano nie z arsenem, lecz z azotanem wapnia, który dał zasadniczo te same wyniki. Nabyta odporność zanikała po trzech kolejnych endomiksjach. Natomiast trzeba aż 100 kolejnych podziałów, aby otrzymać ten sam efekt. W niektórych przypadkach (odporność względem wysokiej temperatury) endomiksja odrazu znosi nabytą odporność, ale endomiksja następna przywraca ją całkowicie. Nie przeszkadza to trzeciej endomiksji znieść ją jeszcze raz.

Jedno wynika z tych wszystkich faktów. Pod wpływem określonych warunków zewnętrznych pantofelki mogą nabywać nowych cech, które trwają przez długi czas nawet potem, gdy pierwotne warunki, będące właściwą przyczyną nabycia tych cech, oddawna nie istnieją. Jeśli pantofelki stały się odporne względem arsenu, musiały w nich zajść jakieś zmiany natury chemicznej. To jest pewne. Teraz usuwamy arsen i pozwalamy wymoczkom mnożyć się. Czasem trzeba aż 600 kolejnych podziałów, aby wymoczki zatraciły nabytą odporność. Po 600 podziałach pierwotna substancja od-

porna, wchodząca w skład jednego osobnika, rozproszy się na 2^{600} osobniki pierwotniacze, czyli praktycznie nie zostanie z niej nic. Oznacza to, że zmieniona substancja wymoczka musi wciąż produkować substancję sobie podobną, t. zn. tak samo zmienioną, jakkolwiek pierwotna przyczyna zmiany, w postaci arsenu, oddawna już nie istnieje. Na tem właśnie polega wszelka dziedziczność Jakiekolwiek przyczyny wywołały powstanie cechy dziedzicznej, cecha ta ukazuje się w szeregu pokoleń, choć przyczyna pierwotna z dawien dawna należy do historji.

Dobiegamy finału naszej symfonji. Jeden tylko jeszcze dysonas końcowy. Jak pogodzić tworzenie się ras dziedzicznych pod wpływem warunków zewnętrznych z istnieniem niezmiennego, stałego gatunku pantofelka, który utrzymał się w najrozmaitszych warunkach? Jeśli zwykła zbiorowość pantofelków, jak ją spotykamy w przyrodzie, w rzeczywistości składa się z szeregu odrębnych dziedzicznych ras, jak może istnieć stałość gatunkowa? Tworzenie się coraz to nowych ras powinno mieć miejsce w warunkach przyrodzonych. W gorącym klimacie temperatura powinna uodpornić wymoczki i doprowadzić do wytworzenia się stałych ras, wytrzymałych na gorąco. Wysychanie płytkich zbiorników wodnych podczas lata powoduje zagęszczenie roztworu soli, który uodporni wymoczki. Zjawiska tego rodzaju miljony razy zdarzały się w przyrodzie i niezrozumiałe jest, dlaczego właściwie ród pantofelków oddawna nie rozszczepił się na tysiące gatun-

ków, dlaczego każdy klimat i każdy kraj nie posiada swoich własnych wymoczków, przystosowanych do warunków miejscowych i nie występujących gdzie indziej.

Najwidoczniej pantofelek jest formą doskonałą, której nie można już ulepszyć. Nikt nie sięgnie ponad ideał. Gdy zmienią się warunki, zmieni się i pantofelek; nabędzie on nowych cech, które ułatwią mu życie. Gdy warunki powrócą do dawnego stanu, wymoczek „na wszelki przypadek" zachowuje nabytą zmianę, ale stopniowo dąży do jej zniwelowania. Jeśli zmiana jest powierzchowna, wystarcza szereg procesów podziałowych, jeśli jest głębsza, endomiksja lub konjugacja przywraca pantofelkom dawniejsze oblicze. Być może tu właśnie tkwi istotne znaczenie tych zjawisk. Zagadnienie leży w tem, że po wszelkich zmianach pantofelek może powrócić do punktu wyjścia. Jak wahadło ma swoje położenie równowagi, do którego powraca po wszelkich odchyleniach, tak pantofelek powraca wcześniej czy później do swego stanu poprzedniego, żadna wywołana w nim zmiana nie jest trwała. I to jest dopiero prawdziwa dziedziczność. Wszystko inne, to drobne epizody, to rzeczy powierzchowne i nieważne, doraźne procesy przystosowawcze, które ułatwiają życie, pozwalają przetrwać w warunkach zmienionych, ale które w niczem nie naruszają istoty organizmu.

Co stałoby się z pantofelkiem, gdybyśmy go hodowali w roztworze arsenu przez miljon lat, nie wiemy i nie warto tego zgadywać. Można ręczyć, że

zgadlibyśmy nietrafnie. Wiemy zato, że człowiekowi z jego mizernemi środkami nie dane jest jeszcze zmienić w czemkolwiek wewnętrzną istotę cudownego mechanizmu, któremu na imię:

„PARAMAECIUM CAUDATUM EHRENBERG".

ROZDZIAŁ XIII

PSYCHIKA

CZY pantofelki są mądre, czy głupie? Czy posiadają duszę? Pytanie trudne i zdradliwe, gdyż jeśli posiadają, z natury rzeczy dusza ta musi być nieśmiertelna! Z pewnością, skoro sam pantofelek jest nieśmiertelny.

Nie zawsze wprawdzie udawało się nam wyjaśnić cośkolwiek w sprawach życiowych wymoczka, ale w każdym razie mieliśmy do czynienia z trudnościami „laboratoryjnemi". Mamy jakieś zagadnienie, wytężamy spryt, wymyślamy doświadczenie i odrazu coś zaczynamy rozumieć. Często nie to wcale, co chcielibyśmy wytłumaczyć, ale zawsze był to pewien postęp. W danym przypadku jest inaczej. Nie rozumiemy bowiem samego zagadnienia. O życiu psychicznem człowiek wie właściwie tyle tylko, ile jego samego dotyczy. Wiem, że czuję i myślę, ale nie mam najmniejszej pewności, że inni ludzie robią to samo, nie mówiąc już o tem, że tak samo. Mogę porozumiewać się z ludźmi, ponieważ posiadamy wspólną mowę, t. zn. szereg umówionych dźwięków. Gdy jednak używam jakiegoś wyrazu, czy na prawdę mogę ręczyć, iż dla wszystkich oznacza on jedno i to samo? Każdy z nas kojarzy usłyszany dźwięk z swojem w ł a s n e m przeżyciem, wyraz jest ten

sam, ale przeżycia mogą być zupełnie do siebie niepodobne. Przecież żadnego przeżycia nie można wyrazić w słowach, niepodobna opisać go tak, aby ten, kto nigdy w życiu nic podobnego nie doznawał, zrozumiał o co chodzi. Ślepemu od urodzenia w żaden sposób nie wytłumaczymy, co to jest barwa, choć słyszy on i „rozumie“ każdy wyraz. Jakże często człowiek nie może zrozumieć innych. Co ciekawsze, interpretuje po swojemu zachowanie się ludzi i motywy ich postępowania i jest najzupełniej pewien, że ma słuszność. W życiu każdy niemal ma pretensję do znajomości ludzi, każdy w swojem mniemaniu jest „psychologiem“, choć jego sądy o ludziach mogą nie mieć nic wspólnego z rzeczywistością.

Trudności te wzrastają wielokrotnie, gdy idzie o psychologję zwierząt. Jeśli uczynimy próbę wnioskowania o uczuciach zwierzęcia na podstawie sposobu jego zachowania się, nie doprowadzi to do żadnych wyników. Z człowiekiem jeszcze jakoś dajemy sobie radę, bo sami ludźmi jesteśmy i możemy przypuszczać, że inni czują podobnie. Ale sprawa staje się zgoła beznadziejna, gdy zwierzę posiada bardzo odmienną od naszej organizację. Mówimy np. o „rozgniewanej“ osie, która się na nas rzuciła. U człowieka możemy poznać uczucie gniewu, gdyż towarzyszy mu szereg łatwych do zaobserwowania objawów, które widzimy u siebie samych, skoro się gniewamy. Oddech staje się szybszy, serce uderza częściej, krew przypływa do głowy, marszczy się czoło, zaciskają się pięści i zęby. Cóż z tego wszystkiego jest u osy? Osa nie oddycha płucami, lecz tchawkami i krążenie krwi odbywa się u niej zu-

pełnie inaczej, niż u jakiegokolwiek kręgowca. Osa nie czerwienieje, nie zaciska pięści, nie zgrzyta zębami, których nie ma, ani nie marszczy czoła, które jest pokryte sztywnym pancerzem chitynowym. Jakąż więc mamy pewność, że rzucająca się na nas osa odczuwa właśnie gniew, a nie najwyższą rozkosz? Ludzi nie rozumiemy, a dopiero osę chcielibyśmy zrozumieć! Na takich rozumowaniach nie można oprzeć żadnej wiedzy. Nauka zajmuje się konkretnemi faktami, nie fantazjami i domysłami.

Nie potrafimy znaleźć wspólnej mowy ze zwierzętami i nie zdołamy porozumieć się z niemi w sprawie uczuć. Musimy więc szukać innych dróg. Cała trudność polega na tem, że niepodobna porównać człowieka ze zwierzęciem. Siebie samych do pewnego stopnia możemy porównać z innymi ludźmi, ale zwierzę posiada odmienną organizację i jego przeżycia psychiczne muszą być jakościowo odmienne od naszych. Dla człowieka i dla zwierzęcia posiadamy dwie odmienne miarki, posługujemy się w stosunku do nich zasadniczo różnemi kryterjami.

Jedno jest tylko wyjście. Niech człowiek przestanie być dla nas człowiekiem, niech stanie się tylko objektem badanym, w którym nie będziemy doszukiwali się naszych przeżyć i uczuć. Spróbujmy stać się objektywnymi widzami, badajmy psychikę człowieka tak, jakbyśmy badali psychikę zwierzęcia, z którem nie możemy się porozumieć. Będziemy zamykali człowieka w rurkach poziomych i pionowych, będziemy go wirowali, truli arszenikiem, barwili, kawałkowali, dręczyli wszelkiemi sposo-

bami, i będziemy pilnie obserwowali jego zachowanie się. Wtedy wolno nam będzie przyłożyć do człowieka tę samą miarkę, jaką przykładamy do pantofelka, potrafimy porównać obu. Jakość przeżyć psychicznych innych ludzi jest dla nas niedostępna, ale dostępne są nam towarzyszące przeżyciom zjawiska objektywne, które możemy badać i mierzyć. Dostępne naszemu badaniu są prawa, rządzące przeżyciami, *stosunki* między niemi. Podobnie pominiemy zupełnie niezrozumiałą dla nas jakość przeżyć wymoczka, zato postaramy się zbadać, czy kierujące niemi prawa są u niego zasadniczo podobne do naszych.

Zabrnęliśmy w abstrakcje. Powróćmy do tego, co możemy badać. W rozdziale o ruchach pantofelka doszliśmy do wniosku, że musimy przypisać im pewne motywy, że sam tylko zespół czynników zewnętrznych, jakkolwiek skomplikowany, nie tłumaczy całego zachowania się zwierzęcia. Zastosujmy tę samą metodę do człowieka. Pan N. idzie kawałek prosto, potem zaś skręca w prawo, w ulicę A. Poco to zrobił? Jesteśmy objektywnymi obserwatorami, lub mieszkańcami Saturna, i nie możemy go o to zapytać. Możemy jednak nastawić na niego teleskop. Dojrzymy wtedy, że pan N. w ulicy A wszedł do restauracji i zjadł tam obiad. Nie porozumiewaliśmy się z nim wcale, a mimo to obserwacja dała odpowiedź na pytanie, gdyż wiemy, poco pan N. skręcił na prawo.

Opisując tropizmy pantofelka, widzieliśmy, że w bardzo różnych warunkach wymoczek płynie tam, gdzie mu jest lepiej, że uzależnia swoje postę-

powanie od jakości bodźca i jego wpływu na swój organizm. Coś podobnego widzimy także na ulicy. W lecie, gdy jest gorąco, większość ludzi chodzi zacienioną stroną ulicy, w zimie zaś odwrotnie, chodzą ludzie częściej stroną słoneczną. Zależnie od temperatury, termotropizm człowieka jest dodatni, lub ujemny, powiedziałby mieszkaniec Saturna. Nie możemy wchodzić w to, czy ruchy człowieka na ulicy są świadome, czy bezświadome, gdyż nie porozumiewamy się z nim, a ponadto nie mamy pojęcia o tem, co czuje pantofelek, płynący w stronę kwasu. Tłumy ludzi na plaży morskiej w upalny dzień również są wyrazem tropizmu. Ale tylko doświadczenie mogłoby zdecydować, czy idzie tu o termotropizm ujemny, czy też hydrotropizm dodatni.

Niech ktoś wyjdzie na środek ulicy i zacznie głośno krzyczeć. Można ręczyć, że zbierze się koło niego tłum, który zatamuje ruch. Objektywny obserwator powiedziałby, że istota ludzka odznacza się obecnością „fonotropizmu dodatniego“, albowiem dźwięki powodują skupianie się ludzi. Być może nawet zacząłby eksperymentować, ustawiając np. na ulicy piszczałki o różnej wysokości tonu i badając, która z nich daje najgęstsze skupienie.

Każdy ruch pantofelka musi mieć swoje źródło w jakimś bodźcu zewnętrznym, powiadają nam. Wymoczek jest maszyną, odpowiadającą na bodźce w teraźniejszości, nie w przeszłości. Otóż znałem pewnego pana, bardzo systematycznego, który miał zwyczaj codziennego chodzenia na przechadzkę, zawsze temi samemi ulicami. Przytem nigdy nie za-

pomniał wrzucić drobnej monety do kapelusza żebraka, siedzącego na rogu. Piękne, subtelne uczucie litości, tylko człowiekowi właściwe! Ale zdarzyło się pewnego dnia, że pan ten, przechodząc ulicą, rzucił swoją zwykłą monetę żebrakowi, jednak... moneta upadła na chodnik. Żebraka wcale tam nie było. I teraz nie wiemy sami, jak ten dziwny fakt wytłumaczyć. Czy chodziło tu istotnie o piękne uczucie litości, czy też może o automatyczny ruch, spowodowany podnietą świetlną, np. widokiem narożnego domu.

Wiemy już, jak ważną rolę w życiu pantofelka grają symbole. Pewne stężenie dwutlenku węgla lub innych kwaśnych produktów rozpadowych jest dla niego symbolem pokarmu, pewne stężenie związków chemotropicznie ujemnych — symbolem niebezpieczeństwa lub sygnałem ucieczki, przechylenie ciała — symbolem góry i dołu. Zjawiska, związane z sobą w sposób pośredni, pantofelek odczuwa jako całości, bowiem w tej właśnie postaci występują one stale w jego doświadczeniu. Pantofelek nie odnosi żadnej bezpośredniej korzyści z dwutlenku węglowego i dwutlenek w niczem nie jest podobny do pokarmu; ale odnosi on korzyść z bakteryj, którym dwutlenek węgla stale towarzyszy. W tem właśnie znaczeniu mówiliśmy o symbolach.

Nikt jeszcze nie zaspokoił głodu zapachem smacznej potrawy. A jednak zapach ten wywołuje w naszym organizmie charakterystyczne odruchy pokarmowe: wydzielanie się śliny i soku żołądkowego, ruchy jelit i t. p. Zapach jest dla nas symbo-

lem smakowitego pokarmu, ponieważ w naszem doświadczeniu zjawiska te stale występują razem. Język i podniebienie są to narządy bardzo prymitywne w sprawach smaku, prawdziwym smakoszem jest nos. Podobnie jak w laboratorjum oszukiwaliśmy pantofelka, dając mu kwas, a nie dając bakteryj, oba składniki zjawiska: zapach pokarmu i jego bezpośrednie oddziaływanie na narządy naszej jamy ustnej, możemy sztucznie rozdzielić i obserwować „niecelowe“ zachowanie się człowieka, który wykonywa reakcje pokarmowe w nieobecności pokarmu. A przecież z tego rodzaju symboli składa się całe nasze życie. Napisany na papierze wyraz może stać się dla nas symbolem postępku, który natychmiast wykonamy, wymówione zdanie — symbolem przeżycia, rzut oka na zegarek powoduje czasem, że nagle zrywamy się z miejsca, choć widzimy na zegarku tylko czarne plamki na białem tle i niepodobna sobie wyobrazić bezpośredniego związku pomiędzy układem plam, a skurczami naszych mięśni. Podstawa ogólna tych zjawisk jest u człowieka i pantofelka analogiczna. Różne są nasze zainteresowania życiowe: pantofelka równie mało obchodzi debata budżetowa w parlamencie, jak nas skupienie bakteryj gnilnych w kącie słoja. Ale zasada postępowania jest podobna.

Porzucimy na chwilę pantofelka, aby się przyjrzeć jego współbraciom. Pospolity wszędzie wymoczek, zwany wirczykiem (*Vorticella*, fig. 94) posiada długą, kurczliwą łodyżkę, którą przytwierdza się do przedmiotów podwodnych. Gdy lekko

trącić naczynie z wirczykami, wszystkie natychmiast kurczą łodyżkę, która skręca się na podo-

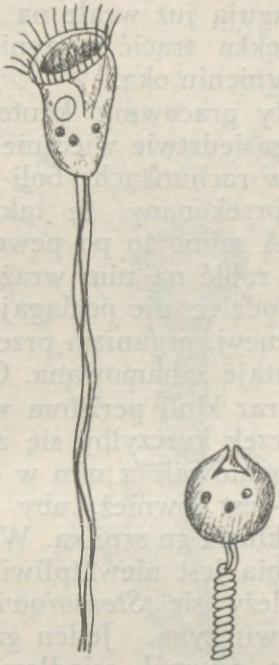


Fig. 94. Wymoczek *Vorticella*, na lewo wyprostowany, na prawo skurczony

bieństwo korkociągu, sam zaś wymoczek przybiera kształt małej kulki. Bardzo prędko wirczyki wyprostowują się znowu. Zrobimy na nich następującą próbę: do naczynia wpuścimy kilka robaków wodnych z rodzaju *Tubifex*. Zwierzęta te mają zwyczaj nieustannego wykonywania całem ciałem

ruchów falistych, wstrząsających wodę. Nasze wirczyki będą czuły się źle w sąsiedztwie robaków i będą się ciągle kurczyły. Następnego dnia jednak wirczyki nie reagują już wcale na ruchy robaków. Ale dość jest zlekka trącić naczynie, a wymoczki skurczą się w mgnieniu oka.

Nowo przyjęty pracownik kantoru fabrycznego czuje się źle w sąsiedztwie wiecznie huczących maszyn: myli się w rachunkach, boli go głowa, jest nieszczęśliwy i przekonany, że takiej pracy długo nie wytrzyma. A mimo to po pewnym czasie maszyny przestają robić na nim wrażenie, nie słyszy ich wcale. Na bodziec, nie pociągający za sobą żadnych konsekwencyj, organizm przestaje reagować, jego reakcja zostaje zahamowana. Co innego, gdybyśmy raz po raz kłuli peristom wirczyka igiełką szklaną. Wymoczek kurczyłby się zawsze, chociażbyśmy eksperymentowali z nim w ciągu wielu godzin. Wątpliwe jest również, aby człowiek przyzwyczaił się do kłucia go szpilką. W obu razach zasada postępowania jest niewątpliwie podobna.

Parę słów należy się *Stentorowi*, wymoczkowi, podobnemu do wirczyka. Jeden gatunek *Stentora* jest zwierzęciem nawpół osiadłem, które rzadko tylko puszcza się w wodną wędrówkę. *Stentor* ma kształt rury gramofonowej (fig. 95), cienkim swoim końcem przytwierdzonej do podłoża. Na końcu wolnym znajduje się peristom, okolony wieńcem silnych rzęsek, które działają podobnie jak rzęski peristomalne pantofelka. Do pipetki włoskowatej nabierzemy trochę zawiesiny karminu w wodzie. Koniec pipetki ustawimy tak, aby cząstki karminu

spadały na peristom wymoczka. *Stentor* wygnie trochę swoje ciało, zwracając peristom w stronę

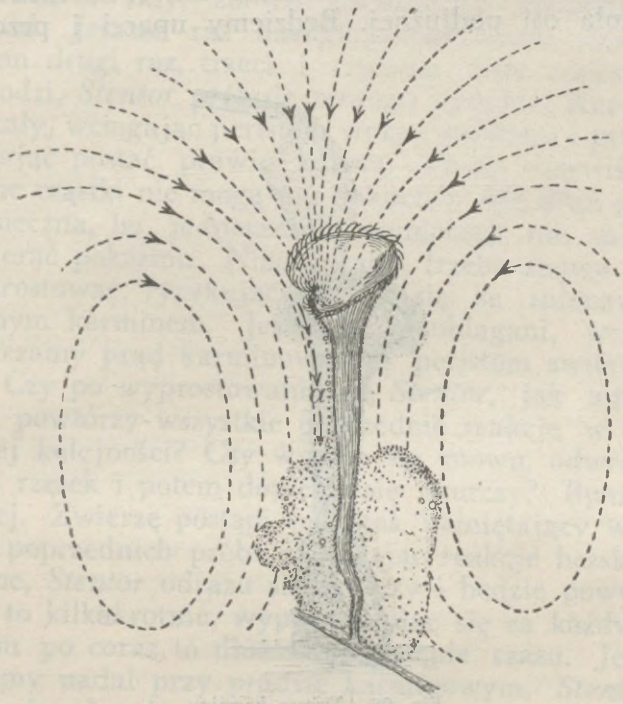


Fig. 95. *Stentor,* przytwierdzony do podłoża. Jego rzęski peristomalne wprawiają wodę w ruch wirowy (Jennings)

deszczu karminowego, poczem cząstki barwnika będą wpadały do wgłębienia peristomalnego. Utworzy się szereg wodniczków pokarmowych. Karmin nie jest jednak żadną substancją odżywczą i wkrótce *Stentor* będzie miał go dość. Wygnie on teraz

ciało w bok, dzięki czemu karmin przestanie wpadać do peristomu. Wymoczek najwyraźniej unika deszczu karminowego, czasem nawet obraca się dokoła osi podłużnej. Będziemy uparci i przesu-



Fig. 96. Deszcz karminu, spadający z pipetki na peristom *Stentora (Jennings)*

niemy pipetkę, skierowując znowuż ziarenka barwnika na peristom. Po kilku odchyleniach w różne strony, nastąpi reakcja niespodziewana: *Stentor* odwróci nagle kierunek ruchu rzęsek peristomalnych, i zamiast sprowadzać cząstki karminu do pe-

ristomu, odrzuci je precz. Taki odwrócony ruch rzęsek trwa przez kilka sekund, zaraz po nim nastąpi ruch zwykły, znowu przynoszący dokuczliwe cząstki. Jeszcze raz następuje odwrócenie rzęsek, potem drugi raz, trzeci i czwarty. Gdy wszystko zawodzi, *Stentor* próbuje nowego sposobu. Kurczy się cały, wciągając peristom wraz z rzęskami i przybierając postać prawie kulistą. Teraz oczywiście żadne cząstki nie mogą mu dokuczać. Ale broń jest obosieczna, bo jednocześnie wymoczek nie może pobierać pokarmu. Niema rady, trzeba znowu się wyprostować, ryzykując spotkać się ze znienawidzonym karminem. Jesteśmy nieubłagani, wciąż puszczamy prąd karminowy na peristom zwierzęcia. Czy po wyprostowaniu się *Stentor*, jak automat, powtórzy wszystkie poprzednie reakcje w tej samej kolejności? Czy wygnie się znowu, odwróci ruch rzęsek i potem dopiero się skurczy? Bynajmniej. Zwierzę postąpi jak ktoś, pamiętający wyniki poprzednich prób. Pomijając reakcje bezskuteczne, *Stentor* odrazu się skurczy i będzie powtarzał to kilkakrotnie, wyprostowując się za każdym razem po coraz to dłuższym odstępie czasu. Jeśli trwamy nadal przy prądzie karminowym, *Stentor* wreszcie oderwie się i odpłynie precz.

Więc w zachowaniu się wymoczka możemy wyróżnić aż pięć odrębnych reakcyj, następujących po sobie jako skutek jednego i tego samego bodźca zewnętrznego. Są to: 1. Wyginanie ciała w kierunku bodźca. 2. Wyginanie ciała w kierunku przeciwnym. 3. Odwrócenie ruchu rzęsek. 4. Skurcz ciała. 5. Oderwanie się od podłoża. Możnaby my-

śleć, że bodziec uruchamia odrazu cały łańcuch reakcyj, sprzężonych z sobą, że w gruncie rzeczy wymoczek wykonywa jedną reakcję złożoną. Tak byłoby, gdyby *Stentor* wykonywał reakcje w sposób stereotypowy. Tak jednak wcale nie jest. Odwrócenie ruchu rzęsek może nastąpić bardzo różną liczbę razy, reakcja ta może zachodzić po wygięciu się wymoczka lub przedtem, liczba i trwanie skurczów są bardzo zmienne. Bodziec zewnętrzny jest wciąż jeden i ten sam, ale reakcja jest zmienna i kapryśna, co dowodzi, że poszczególne reakcje wymoczka w jakiś wielce skomplikowany sposób zależą od reakcyj poprzednich, zachowanie się zwierzęcia zależy od jego przeszłości, od jego doświadczenia.

Aby uzupełnić ten obraz, spójrzmy na zachowanie się człowieka w podobnych warunkach. Pan X., znany działacz społeczny, siedzi przy biurku i pisze. Przez otwarte okno wpadają do pokoju tysiączne dźwięki uliczne, na które pan X. nie zwraca uwagi, gdyż się do nich przyzwyczaił. Nagle na ulicy rozlega się głośny, przeciągły gwizd. Pan X. podnosi głowę, zwraca ją ku oknu, aby ułatwić falom dźwiękowym dostęp do muszli usznych, i przysłuchuje się. „A, to gwiżdżą w sąsiedniej fabryce". Pan X. powraca do przerwanej pracy. Gwizd trwa i zaczyna go nużyć. Pan X. pochyla się nad biurkiem, próbuje znaleźć takie położenie głowy, w którem dźwięki są najmniej głośne. Gwizd trwa. Zniecierpliwiony, pan X. wstaje od biurka i zamyka okno. Szkoda, że pan X. nie ma w uszach wiatraczka, za

którego pomocą dźwięki możnaby odrzucić. Z pewnością byłby tego sposobu spróbował.

Poruszyliśmy tu ważną sprawę. Czy wymoczek potrafi nauczyć się czegokolwiek? Czy posiada pamięć? Nie jest to takie proste zagadnienie, zwłaszcza gdy się jest mieszkańcem Saturna, który nie może porozumieć się ani z człowiekiem, ani z wymoczkiem. Powróćmy raz jeszcze na ulicę, nasz znakomity teren obserwacyjny. Dzień w dzień chodził pan M. ulicą równo i spokojnie. Ale razu pewnego omal nie wpadł pod tramwaj i od tego czasu coś się w jego ruchach zmieniło. Gdy tylko zbliża się tramwaj, pan M. odsuwa się od niego jak najdalej. Tramwaj pozostał tramwajem, jako bodziec zewnętrzny nie uległ on żadnej zmianie. Ale zmienił się stosunek doń człowieka. Wypadek z tramwajem pozostawił w mechanizmie reagującym pana M. jakiś nieuchwytny ślad, zmienił go w pewnej mierze i dzięki temu ta sama przyczyna zewnętrzna wywołuje teraz odmienny skutek. Nazywamy to właśnie pamięcią. Gdybyśmy rozporządzali odpowiedniemi środkami badania, moglibyśmy na pewno wykryć jakąś zmianę materjalną w mózgu pana M, wpływającą na jego stosunek do tramwaju.

Czy istnieją zmiany tego rodzaju u pantofelka? Z wszelką pewnością. Pod wpływem roztworów arszeniku pantofelek staje się bardziej odporny i zachowuje tę swoją nabytą odporność w ciągu setek pokoleń. Odporność jego musi polegać na jakichś zmianach materjalnych, wpływ bodźca ze-

wnętrznego wywołuje powstanie długotrwałych zmian w mechanizmie reagującym.

Jednego pantofelka umieszczamy w rurce włoskowatej, otwartej na obu końcach i napełnionej wodą. Średnicę rurki dobieramy tak, aby wymoczek mógł w niej swobodnie płynąć naprzód lub cofać się tyłem, ale aby trudno mu było w niej się odwrócić. Pantofelek będzie pływał w obie strony, raz przodem, raz tyłem. Ale czasem będzie także odwracał się, co mu przychodzi z dużą trudnością. Zwierzę musi przytem przegiąć swoje ciało, złożyć je podwójnie i przeforsować przez wąskie światło

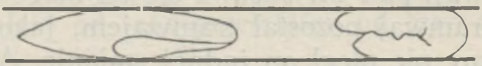


Fig. 97. Odwracanie się pantofelka w rurce włoskowatej

rurki. Za każdym razem takie odwrócenie się staje się dla wymoczka coraz łatwiejsze. W jednym przypadku, po około 12 godzinach pobytu w rurce, zużyty na odwrócenie się czas skrócił się z około 5 minut na początku do 1—2 sekund, czyli około 2000 razy! Pantofelek nauczył się odwracać się prędzej. Mechanizm tego zjawiska może polegać na tem, że pod wpływem często powtarzanego odwracania się i przeginania, ciało pantofelka staje się coraz bardziej plastyczne i giętkie, zachodzi w niem zmiana materjalna, która wpływa na sposób reagowania.

Taka to i pamięć, powiedzą nam. Jeśli złożymy kartkę papieru, będzie ona w przyszłości łatwiej

składała się w kierunku zagięcia, niż w jakimkolwiek innym. Może i to jest rodzajem pamięci, utrwaleniem zmiany materjalnej, zmieniającej stosunek do tych samych przyczyn deformujących? W tym razie pojęcie pamięci musielibyśmy rozszerzyć na całą wogóle przyrodę, przestałaby ona być zjawiskiem organicznem. A przecież u człowieka z pamięcią wiążemy pewne stany psychiczne, których nie ma kartka papieru i których nie ma wasz wymoczek. W ten sposób nie dowiedziecie mądrości pantofelka.

Cóż, kiedy jesteśmy mieszkańcami Saturna, którym nic nie wiadomo o stanach psychicznych. Nie wiemy zupełnie, co czuje pantofelek, stykający się z arszenikiem, czy mu to sprawia rozkosz, czy cierpienie. Wiemy tylko, że zmiany materjalne, wpływające na sposób reagowania, zachodzą zarówno u człowieka, jak u wymoczka. O to tylko chodzi, że człowiek jest pewnym utworem materjalnym, niezmiernie skomplikowanym, w którym zachodzą określone, dostępne obserwacji zjawiska. Niema w nim żadnych rodzajów energji, których nie spotkalibyśmy poza nim, niema „siły życiowej", niema żadnych pierwiastków chemicznych, które nie występowałyby w nieżywej przyrodzie. Tak samo i jego pamięć jest natury materjalnej, nie mamy powodu obawiać się porównania z kartką papieru. Że te przemiany materjalne posiadają także swoistą jakość, której nadajemy miano stanów psychicznych, to dla nas w tej chwili sprawa drugorzędnej wagi, bowiem nie mamy sposobu zbadania jakości procesów materjalnych pantofelka. Może-

my jedynie zbadać, czy prawa przemian materjalnych, którym u człowieka towarzyszą stany psychiczne, stosują się także do pantofelka. Wymoczek nasz jest ustrojem żywym, nie żadną kartką papieru, co nie przeszkadza, że zjawiska, zachodzące w kartce papieru mogą odgrywać rolę także w przemianach materjalnych mózgu ludzkiego. Pamięć człowieka na pewno związana jest ze zjawiskami natury fizycznej i chemicznej.

Rozważmy następującą serję doświadczeń. W słoju szklanym umieszczamy żabę, którą będziemy karmili muchami. Wytniemy dwa kawałki tektury i przytwierdzimy każdy do drucika. Niech jeden kawałek będzie trójkątny, drugi kwadratowy. Do trójkątnego kawałka przywiążemy żywą muchę i oba druciki z tekturkami wstawimy do słoja. Żaba oczywiście rzuci się na muchę i pożre ją. To samo będziemy robili codziennie, zawsze umieszczając muchę na trójkącie i podając obie tekturki. Po pewnym czasie spróbujemy, czy żaba nauczyła się czegoś. Podamy jej obie tekturki, ale puste, bez muchy. Zobaczymy wtedy, że żaba rzuci się na tekturkę trójkątną i pochwyci ją szczękami. Zatem, żaba odróżnia trójkąt od kwadratu i pamięta wyniki swego poprzedniego doświadczenia.

Dajemy psu kawałek chleba, a jednocześnie naciskamy guzik dzwonka elektrycznego. Pies zjada chleb, wydzielając przytem ślinę. Powtarzamy to codziennie. Po niejakimś czasie dość jest puścić w ruch dzwonek elektryczny, aby pies zaczął wydzielać ślinę, choć nie daje mu się wcale chleba.

Umieszczamy człowieka w ciemni, na krześle.

Przez obnażoną podeszwę jego nogi puszczamy prąd elektryczny z cewki indukcyjnej, a jednocześnie zapalamy czerwoną żarówkę. Wskutek podniety elektrycznej mięśnie kurczą się i stopa się wygina. Powtarzając codziennie doświadczenie, przekonamy się, iż wreszcie wystarczy zapalić czerwoną żarówkę, aby stopa wygięła się, bez udziału woli badanego osobnika.

Nowonarodzone dziecko nie poznaje nikogo. Jednak wkrótce zaczyna poznawać swoją matkę, co manifestuje ruchami i dźwiękami, co do których trudno jest się pomylić. Wykonamy na niem doświadczenie. Gdy dziecku dają jeść, wymawiamy parokrotnie wyraz „mama". Jeśli powtarzamy to regularnie podczas każdego karmienia, wkrótce wystarczy powiedzieć „mama", aby dziecko wykonało te same ruchy, jakie wykonywało na widok matki.

Obserwując przebieg tych kilku doświadczeń, byliśmy obecni przy tworzeniu się symboli. W każdem z nich był jakiś bodziec, stale wywołujący określoną reakcję, której nie trzeba się uczyć, która jest zwierzęciu przyrodzona. Bodźcem tym było jedzenie, wywołujące szereg automatycznych ruchów pokarmowych, bądź prąd elektryczny, wywołujący automatycznie skurcz mięśni. Taki bodziec był drobną cząstką całego otoczenia zwierzęcia, bardzo skomplikowanego. Gdy psu dawaliśmy chleb, nietylko słyszał on dzwonek elektryczny, ale widział eksperymentatora, obserwował jego ruchy, słyszał jego głos, jego kroki, szmer jego ubrania, jego oddech, czuł najprzeróżniejsze zapachy i t. d.

Wszystko to działało na psa jednocześnie. Gdybyśmy mogli powtarzać to doświadczenie w absolutnie jednakowych warunkach, pies prawdopodobnie zacząłby wydzielać ślinę nietylko na odgłos dzwonka, ale i na widok eksperymentatora, wchodzącego do pokoju, lub na zapach jego fartucha. Idzie jednak o to, że zachowanie absolutnej niezmienności warunków nie jest możliwe, że wszystkie one zmieniają się w tym czy innym stopniu, oprócz tych właśnie, jakie wybraliśmy do doświadczenia, t. zn. podanie pokarmu i głos dzwonka. Może się zdarzyć, że pies będzie reagował na dany dzwonek, ale pozostanie niewrażliwy na dzwonek o tonie trochę tylko wyższym lub niższym. Wśród wiecznie zmiennego chaosu zjawisk otaczających, oddziaływujących na zwierzę, istnieją tylko te dwa punkty nieruchome i dlatego zwracają one na siebie uwagę psa, pies wydziela je z całego zespołu swoich wrażeń. Podobnie dla niemowlęcia świat otaczający musi być początkowo jedną całością. Rozwój psychiki dziecka wcale nie polega na tem, aby uczyło się ono kolejno poznawać coraz to nowe przedmioty i z tych jednostek budowało sobie swój światopogląd. Przeciwnie, pierwszem jego wrażeniem jest właśnie wrażenie całości świata, w której uczy się ono stopniowo *wyodrębniać* przedmioty. Gdy dziecko dostaje jeść, obowiązkowo musi być przy tem jego matka, podająca mu pierś. Wszystkie inne składniki otoczenia mogą być nieobecne: np. można dziecko karmić w innym pokoju, w obecności lub nieobecności innych osób, w dzień lub wieczorem, rozmawiać przytem lub nie rozmawiac

i t. d. Ale matka jest stale związana z jedzeniem, wśród olbrzymiej masy związków zmiennych ten jeden jest związkiem stałym i dlatego te dwa zjawiska zwracają na siebie uwagę dziecka.

Dokładnie to samo rozumowanie jest słuszne w przypadku pantofelka. Działa na niego mnóstwo różnych czynników, jak określona temperatura cieczy, światło, różne sole mineralne i substancje organiczne, prądy wody, siła ciążenia i dziesiątki innych. Ale w tym chaosie dwa tylko punkty są dla wymoczka niezmienne: kwas i bakterje. Jedynie wąska grupa substancyj chemicznych zawsze towarzyszy bakterjom, wszystkie inne czynniki mogą się zmieniać. Dlatego właśnie wśród chaosu czynników pantofelek wyróżnia te dwa i dlatego pewne stężenie kwasu wywołuje u niego ruchy, związane z pobieraniem pokarmu. Kwas jest symbolem pokarmu, wszystko inne jest obojętne.

Takie wydzielanie par bodźców z zespołu czynników otaczających jest wysoce charakterystyczne dla całej naszej psychiki. Właściwie wszystko niemal do tego się sprowadza. Zczasem pary te stają się coraz liczniejsze, uczymy się wyodrębniać coraz to nowe kombinacje bodźców, nadając tym kombinacjom miano z w i ą z k ó w, i na tem polega całe nasze wychowanie i wykształcenie. Pouczające jest zanalizować pod tym kątem widzenia kilka przykładów z życia codziennego.

Pan Y. otrzymał depeszę następującej treści: „Świetny interes przyjeżdżaj natychmiast". Pan Y. rzuca w kąt gazetę, którą trzymał w ręku, pakuje walizkę i pędzi na dworzec. Co się właściwie

stało? Pan Y. rzucił okiem na kawałek niezbyt czystego papieru, na którym zobaczył jakieś nieprawidłowe szare znaczki. To cała przyczyna jego zachowania się. Jakiż jest związek pomiędzy temi znaczkami, a gorączkowemi ruchami pana Y.? Zwróćmy się jednak do życiorysu pana Y. Gdy pan Y. uczył się mówić, dźwięki o określonem brzmieniu stale i niezmiennie towarzyszyły widokowi pewnych osób lub przedmiotów, bądź określonym przeżyciom przyjemnym albo przykrym. Z zespołu zjawisk otaczających pan Y. nauczył się wyróżniać pewne pary bodźców, uważając je za związane z sobą. Niebawem sam dźwięk wystarczył do wywołania tej samej reakcji, jaką wywoływał np. widok tej czy innej osoby. Gdy pan Y. uczył się czytać, pokazywano mu znaczek określonego kształtu i mówiono stale, że to jest „mama", a tamto jest „lala". Widok znaczka zawsze i niezmiennie towarzyszył ściśle określonym dźwiękom i pan Y. zapamiętał to sobie. Gdy pan Y. uczył się robić dobre interesy, z wyrazem tym zawsze łączył się pewien określony szereg czynności i teraz dość jest samego wyrazu, aby wywołać te właśnie czynności. Wszystko to zostało zapisane w mózgu pana Y. raz na zawsze, zmieniły się w określony sposób jego komórki nerwowe. Nic więc dziwnego, że po takiem przygotowaniu, rzucił on w kąt gazetę, spojrzawszy na telegram. Przyznam się szczerze, że gdybym ja otrzymał taki telegram, rzuciłbym go do kosza, a gazetę zatrzymałbym w ręku. Widocznie moje komórki mózgowe zostały zmienione w jakimś innym kierunku.

Na egzaminie maturalnym uczeń rozwiązuje trudne zadanie matematyczne. Przez długi czas siedzi nachmurzony, gryzie pióro, kręci się na krześle, toczy wzrokiem dokoła. Nie pomaga. Nagle zaszło coś niespodziewanego. Na twarzy ucznia wykwita uśmiech, pióro zaczyna żwawo skrzypieć po papierze. Po kwadransie zadanie jest rozwiązane. Jak to sobie wytłumaczyć? Gdy uczeń uczył się matematyki, pewne działania i rękoczyny stale występowały w jego doświadczeniu jednocześnie z pewnemi znakami i dźwiękami. Gdy widział wypisany na tablicy postęp albo trójmian, odrazu dobrze wiedział, co robić. Postęp jest przecież poto, aby wyznaczyć sumę jego wyrazów, do żadnych innych celów nie jest w szkole używany. Teraz jednak warunki zadania w niczem nie przypominają mu tych jego poprzednich doświadczeń. Niema żadnej sumy wyrazów, żadnego równania, nic się nie skraca, słowem, rozpacz. Nagle, czytając po raz setny tekst zadania, zauważa w nim jakiś drobny szczegół, który mu przypomina, że podobne zadanie rozwiązywano niegdyś w klasie. Odrazu sprawa jest załatwiona, gdyż uczeń pamięta, o jaką sztuczkę matematyczną tam chodziło. Jest rzeczą oczywistą, że uczeń nigdy nie rozwiąże zadania, jeśli w poszukiwaniach swoich nie natrafi na coś, co w jego poprzedniem doświadczeniu występowało łącznie z czemś innem, dobrze mu znanem. Mechanizm zjawiska wciąż pozostaje ten sam.

Powiedzą może, iż wciąż obracamy się w sferze pospolitych zjawisk psychicznych, nie uwzględniamy zaś ich form najwyższych. Poddamy więc ana-

lizie najwyższy objaw psychiczny, jaki tylko możemy sobie wyobrazić: podpatrzymy, jak zachowuje się genjusz w twórczej pracy naukowej.

Za czasów Torricelli'ego było już dobrze wiadomo, że woda podnosi się w rurze wraz z unoszonym do góry tłokiem, jednak nie wyżej, jak na 10 metrów. Uczeni ówcześni tłumaczyli zjawisko tem, że „przyroda obawia się próżni" *(horror vacui)* i za wszelką cenę dąży do jej wypełnienia. Gdy zaś spytano Galileusza, dlaczego w takim razie woda zatrzymuje się na wysokości 10 metrów, starzec odrzekł ironicznie: Widocznie przyroda boi się próżni tylko do wysokości 10 metrów. Rozwiązać zagadkę zdołał dopiero uczeń Galileusza, Torricelli. Badacz ten dużo rozmyślał nad zagadkową kolumną wody, zatrzymującą się na pewnej wysokości. Próbował on wytłumaczyć zjawisko, odwołując się do całej ówczesnej wiedzy fizycznej, ale bezskutecznie. Za jego czasów wierzono jeszcze powszechnie w autorytet Arystotelesa, który dowiódł doświadczalnie, że powietrze jest nieważkie. Jednakże przez owe rozmyślania, zdołał Torricelli związać w swoim umyśle bojaźń próżni z całą swoją wiedzą fizyczną. Każdy człowiek, dużo rozmyślający nad jakąś dziedziną wiedzy, posiada oczywiście w tej dziedzinie najżywsze wspomnienia i mimowoli myśl wciąż do nich powraca.

Pewnego dnia wyszedł Torricelli na przechadzkę. Dął silny wiatr i ciężko było iść. Jak na substancję nieważką, powietrze może stanowić duży opór, pomyślał zapewne uczony. Istotnie, ciśnienie

wiatru jest olbrzymie. Nic dziwnego, że uruchamia on wielkie okręty. Ciśnienie zwykle jest związane z ciężarem: ciała ciężkie, jak kamień, ołów albo rtęć, cisną na rękę. Może, mimo wszystko, i powietrze ma swoją wagę. W tym momencie Torricelli odczuł pewien niejasny niepokój. Bowiem w tym przypadku powietrze musiałoby wywierać ciśnienie na wszystkie przedmioty, na ludzi, zwierzęta, ziemię, wodę... Uczony niepokoił się coraz bardziej.

Wtem, błyskawica z jasnego nieba! Ciśnienie powietrza podtrzymuje słup wody! Torricelli pędzi do pracowni, po drodze myśli przelatują mu przez głowę z błyskawiczną szybkością. Dlatego 10 metrów, że tyle tylko równoważy ciśnienie. Rtęć cięższa od wody. Słup będzie odpowiednio niższy. Doświadczenie!

Nie panując już nad sobą, fizyk nasz chwyta rurkę szklaną, zamyka jeden jej koniec korkiem, napełnia rtęcią, zamyka drugi koniec palcem i wstawia do naczynia z rtęcią. Kolumna rtęci zatrzymuje się na pewnej wysokości. Ile wynosi słup rtęci? Linijka wskazuje wysokość 76 cm. Prędzej, rachunek. Rtęć jest 13 razy cięższa od wody. Ile będzie, jeśli 10 metrów podzielić przez 13?

A teraz co za radość, co za błogi spokój ducha! 10 metrów, podzielone przez 13, także daje 76 cm. Tak dokonano wiekopomnego odkrycia.

Zwróćmy się teraz do prozy. Gdy Torricelli uczył się fizyki i rozmyślał nad nią, w jego doświadczeniu różnego rodzaju bodźce musiały stale występować parami. Każde wspomnienie pocią-

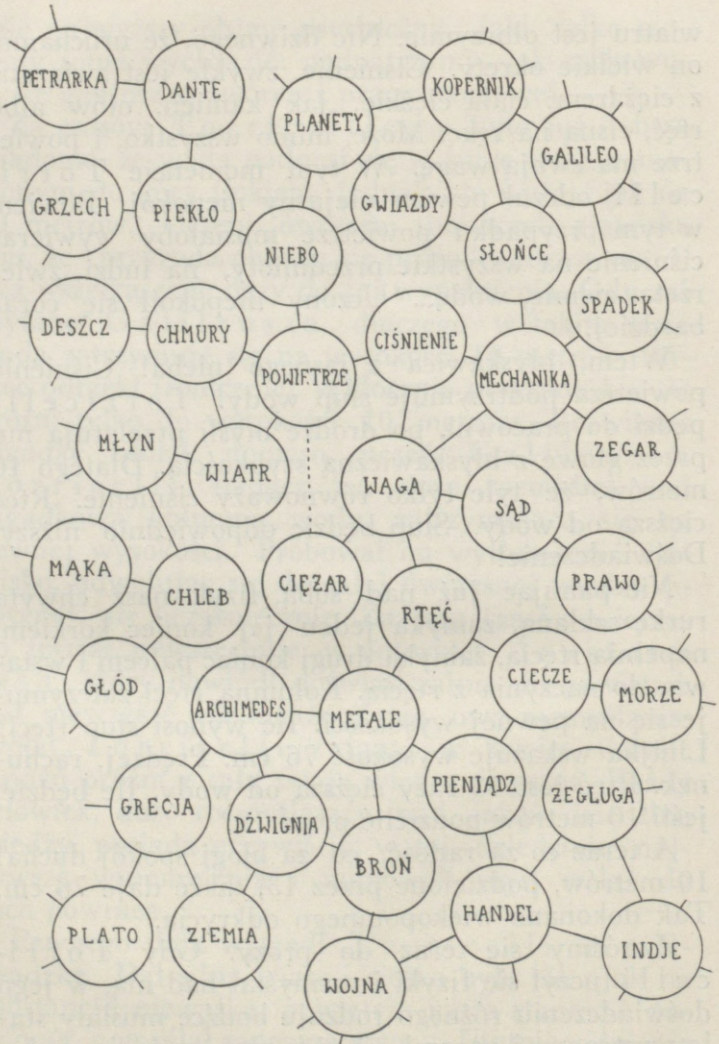


Fig. 98. Możliwy układ śladów pamięciowych w mózgu Torricelli'ego

ga za sobą jakieś inne wspomnienie, bowiem tak dużo uczymy się i rozmyślamy w życiu, że liczba wspomnień zespolonych jest olbrzymia. Każde wspomnienie może być związane z szeregiem innych, bowiem istnienie pary AB nie przeszkadza istnieniu par BC i BM, ani AP i AX. Każde takie wspomnienie możemy symbolicznie wyrazić w postaci koła, nic zresztą nie przesądzając, czy odpowiadające im ślady materjalne w mózgu są ułożone w jakiś system przestrzenny, czy nie. Na fig. 98 widzimy możliwy układ tych kół, naturalnie w formie niezmiernie uproszczonej.

Zwykły śmiertelnik, nie mający w życiu żadnych specjalnie głębokich zainteresowań, będzie wędrował myślą w kierunkach przypadkowych. Więc idąc ulicą podczas wiatru, pomyśli np. o młynie, chlebie i głodzie. Ktoś inny skieruje myśli inaczej, powiedzmy przez „chmury", „niebo" i „piekło" zacznie myśleć o poezji włoskiej. Możliwości są tu niezliczone. Torricelli był myślicielem, którego zainteresowania obracały się w ciaśniejszem kole zjawisk fizycznych. Dlatego też wszelka podnieta zewnętrzna, czy to ze strony „morza", „Petrarki" czy „Platona", skieruje myśl raczej ku wspomnieniom najżywszym, najczęściej się powtarzającym. Nic więc dziwnego, że czując wiatr, przedewszystkiem zaczął myśleć o fizycznej stronie zjawiska. Myśl zaczęła obracać się w sferze pojęć fizycznych, przeskakując z jednego wspomnienia na drugie. Jak widzimy na schemacie, nie wszystkie punkty są połączone z sobą bezpośrednio i podnieta może przebiegać tylko pewnemi drogami. Ale,

wciąż krążąc w tej samej sferze, podnieta musi ostatecznie utworzyć sobie nowe drogi, tak samo jak strumień, w którym jest nadmiar wody, będzie torował nowe łożyska. Wcześniej czy później, jeśli tylko myśl nieustannie powraca do tego samego przedmiotu, muszą utworzyć się nowe połączenia między punktami. W danym razie powstało nowe bezpośrednie połączenie pomiędzy kołem „powietrze", a kołem „ciężar" i na tem właśnie polegała istota nowego odkrycia.

Proste to rozumowanie doskonale tłumaczy najważniejsze cechy genjuszu. Często się mówi, że genjusz — to myśl, skierowana wciąż na jeden przedmiot. Nic dziwnego, że tak być musi. Skoncentrowanie myśli na czemś jednem daje pewność, że zczasem powstaną nowe połączenia pomiędzy punktami. Z drugiej zaś strony wielkie odkrycie naukowe wcale niekoniecznie musi polegać na odkryciu jakiegoś nowego faktu. Raczej idzie o wykrycie związku pomiędzy dwoma zjawiskami znanemi, ale dotąd rozpatrywanemi jako odrębne. Odkrycie jest przedewszystkiem wynikiem pracy mózgu, nie zaś pracy oczu czy uszu. Że zwierzęta różnego rodzaju są zasadniczo podobne do siebie, i że dzieci są podobne do rodziców, te dwie prawdy były znane ludziom od tysięcy lat. Ale dopiero powiązanie ich w jeden pogląd stworzyło teorję ewolucyjną, rzuciło myśl, że podobieństwo jest wyrazem pokrewieństwa.

Genjusz jest zawsze całą duszą oddany swojej działalności. Wzruszenie, błyskawiczne myśli, cisnące się do głowy, szybkie, nerwowe ruchy, obo-

jętność na zjawiska otaczające, są to cechy tak charakterystyczne, że genjusz, pozbawiony wszelkiego temperamentu, chyba nie dałby się pomyśleć. „Pamiętaj przyjacielu, mówi umierający St. Simon do ucznia, pamiętaj, że trzeba mieć zapał, aby stworzyć coś wielkiego". Te słowa wielkiego człowieka inaczej możemy wyrazić: podnieta musi być intensywna, aby zdołała przebić sobie nową drogę.

Mówią niekiedy, że wszystkie wielkie odkrycia zostały dokonane przypadkowo. Wiatr nasunął Torricelli'emu myśl o ważkości powietrza, a spadające jabłko doprowadziło Newtona do prawa powszechnego ciążenia. Jest w tem zapewne trochę słuszności. O tyle mianowicie, że każda podnieta, nawet niezwiązana z przedmiotem badania, może doprowadzić do nowego odkrycia. Jednak tylko genjusz potrafi wykorzystać najrozmaitszego rodzaju podniety do skierowania myśli na przedmiot badany, bowiem tylko genjusz odznacza się niezbędną po temu obfitością i żywością związanych z sobą wspomnień. Źródło odkrycia może być przypadkowe, ale jedynie genjusz zdoła przypadek ten wykorzystać.

Umysł genjalny nie różni się od umysłowości przeciętnej w sposób zasadniczy. Nie szukajmy tajemnicy genjuszu w jego sprawach kuchennych, nie badajmy, czy Lavoisier lubił czekoladę, jak się ubierał i jakie miał zwyczaje, gdyż nie w tem leży klucz od zagadki. Genjusz nie ma żadnej tajemnicy. Potrafi on tylko stworzyć sobie bogatą w treść grupę wspomnień, do których myśl ustawicznie powraca, ale nie posługuje się w tem żadne-

mi środkami, których brak człowiekowi przeciętnemu.

Zwróćmy jeszcze uwagę na jedną ważną okoliczność. Jak długo umysł rozumuje logicznie, konsekwentnie, myśl jest jałowa. Torricelli bezskutecznie usiłował wytłumaczyć bojaźń próżni znanemi mu prawami fizycznemi, choć z pewnością rozumował przytem prawidłowo. Gdy zaś powstała w jego świadomości myśl bezsensowna ze stanowiska całej jego wiedzy, gdy połączone zostały dwa takie punkty, które nigdy jeszcze nie były drażnione razem, wówczas dopiero zrodziło się nowe odkrycie. Jak długo człowiek rozumuje, może on uporządkować i usystematyzować swoją wiedzę, ale nic nowego nie stworzy. Gdy zaś zrobi skok logiczny, dopiero wówczas może zgadnąć prawdę. Właśnie *zgadnąć*, umyślnie użyłem tego wyrazu. Odkrycie nie jest wynikiem doświadczenia, jest ono wynikiem myśli, doświadczenie zaś przychodzi później, jako instancja potwierdzająca to, o czem myśl wcale nie wątpiła. To zgadywanie prawdy, owe hipotezy, na niczem nie oparte, jak tylko na rozlewaniu się podrażnienia po nowych drogach, stanowią najwyższą i najszczytniejszą cechę genjuszu. Na tem bowiem polega jego intuicja twórcza.

Tak więc istotą duszy ludzkiej jest pamięć. Od niej wszystko zależy, do niej ostatecznie wszystko się sprowadza. Psychika nie jest momentem, jest ona ciągłym procesem, którego części współzależą od siebie, są związane w jedną całość zapomocą pamięci. Cóż jednak możemy powiedzieć o pamięci pantofelka? Wymoczek nasz jest organizmem ży-

wym, którego zasadnicze procesy życiowe przebiegają w sposób bardzo podobny, jak u nas samych. Skład chemiczny wymoczka jest podobny do naszego, jego protoplazma jest substancją, bardzo zbliżoną do protoplazmy komórek ciała ludzkiego. Zachowanie się pantofelka w stosunku do setek bodźców i wpływów otaczającego świata ulega analogicznym prawom, pobieranie i trawienie pokarmu żywo przypomina nam to, co się dzieje w naszym ustroju, procesy oddychania i wydalania odbywają się w sposób podobny. Niema wątpliwości, że podstawowe prawa funkcjonowania ustroju są u człowieka i wymoczka analogiczne. Pod wpływem bodźców zewnętrznych żywa substancja wymoczka ulega długotrwałym zmianom, dzięki którym zwierzę na te same bodźce reaguje inaczej, niż reagowało przedtem. Zjawiska materjalne, towarzyszące pamięci ludzkiej, są na pewno u wymoczka obecne. Czy więc pantofelek posiada pamięć? Wobec tak wszechstronnych i głębokich analogij trudno jest o tem wątpić. Zmianom materjalnym w ciele wymoczka muszą towarzyszyć pewne jakości. Pantofelek nie może czuć i myśleć po ludzku, nie mamy jednak żadnego prawa odmawiać mu wszelkiej myśli.

Jakiego rodzaju są to myśli, nie wiemy. Gdy poznamy gruntowniej życie pantofelka, być może uda się nam coś z tego odcyfrować. Sprawa ta wymaga zupełnie niezwykłej pomysłowości eksperymentatorskiej, niepospolitej zdolności formułowania pytań, na które pantofelek ma odpowiadać. Nie rozumiemy się wzajem, z trudnością potrafimy stwo-

rzyć takie warunki, aby zachowanie się zwierzątka było niewątpliwą odpowiedzią na postawione pytanie. Ale powinniśmy wierzyć w genjusz ludzki, dla którego nie istnieją zadania nierozwiązalne.

Jeśli zaś badanie się powiedzie, naprawimy przynajmniej w części tę wielką krzywdę, jaką ludzie wyrządzają pantofelkowi i jego współbraciom, uważając je za zwierzęta „najniższe", „pierwotniaki", „najprostszą formę życia" i t. p. W swej niczem nieusprawiedliwionej megalomanji człowiek uważa swoją cenną osobę za szczyt stworzenia, upija się swoją wielkością i mądrością, zamiast otworzyć oczy i przyznać otwarcie, że jest on tylko jednym z setek tysięcy gatunków zwierzęcych, zamieszkujących ziemię, z których każdy posiada coś szczytnego i każdy ma takie samo prawo do życia.

NIEKTÓRE ŹRÓDŁA

Biedermann W. Die Aufnahme, Verarbeitung und Assimilation der Nahrung. Wintersteins Handbuch d. vergl. Physiologie. Jena, Fischer 1916.

Bütschli O. Protozoen. Bronns Klassen und Ordnungen des Tierreichs 1887/88.

Calkins G. N. The Biology of the Protozoa. Philadelphia and New York, Lea a. Febiger, 1926.

Doflein F. Lehrbuch der Protozoenkunde. 5 Aufl. bearb. v. E. Reichenow. Jena, Fischer 1929.

Enriques P. La riproduzione nei protozoi. Milano 1924.

Hartmann M. Allgemeine Morphologie und Physiologie der Protozoen. Lehrb. d. Mikrobiol. Bd 1. Jena, Fischer 1919.

Hartmann M. Praktikum der Protozoologie. 5 Aufl. Jena, Fischer 1928.

Jennings H. S. Das Verhalten der niederen Organismen unter natürlichen und experimentellen Bedingungen. Teubner, Berlin 1910.

Jennings H. S. Genetics of the Protozoa. Bibliographia genetica, The Hague, Martinus Nijhoff, Vol. V, 1929.

Kalmus H. Paramecium, das Pantoffeltierchen. Eine monographische Zusammenfassung der wichtigsten Kenntnisse. Jena, Fischer 1931 (obszerny wykaz literatury).

Prowazek S. v. Einführung in die Physiologie der Einzelligen (Protozoen). Teubner, Berlin, 1910.

Verworn M. Psychophysiologische Protistenstudien. Experimentelle Untersuchungen. Jena 1889.

Verworn M. Allgemeine Physiologie. 6 Aufl. Jena, Fischer 1915.

Wenyon C. M. Protozoology. London, Ballière, Tindal and Cox, 1926.

SKOROWIDZ ALFABETYCZNY

Aklimatyzacja, 302
Aminokwasy, 164, 166, 172, 173
Antytoksyny, 303
Astrorhiza, 29
Autonomja organizmu, 301
Bakterje, 4
Centrotropizm, 122, 133
Chemotropizm, 89
Chromatyna, 235
Chromozomy, 235, 236
Colpidium, 202, 206
Cykloza, 161
Czyste linje, 314
Defekacja, 162
Depresja, 265
Dileptus, 40
Dziedziczność, 309
Ektoplazma, 26
Endoplazma, 26
Enzymy, 165
Erepsyna, 166
Fale rzęskowe, 52
Fermenty, 165
Fosforan wapnia, 44, 224
Fototropizm, 103
Galileusz, 344
Galwanotropizm, 105
Gardziel, 23
Geotropizm,
  zjawisko, 113
  ciężar właściwy, 113, 117
  wpływ tlenu, 114
  teorja ciśnienia, 115
  teorja oporu, 116
  statocysta, 119
  centrotropizm, 122, 133.
  pole magnetyczne, 121
  środek ciężkości, 125
  wirowanie, 126
  opadanie modeli, 128
  wodniczki barowe, 130
  teorja mechaniczna, 132
  ruch podczas wirowania, 135
  zmienność reakcji, 141
  wpływ warunków, 142
Glikogen, 42, 198
Głód, 199
Hamowanie, 251
Hodowle
  czyste, 6
  zakładanie, 7
  równoległe, 11
Izolacja części, 253
Jądro
  budowa, 46
  podział, 235
  zmiany w konjugacji, 268
  zmiany w endomiksji, 279
Karjokineza, 235
Kataforeza, 108
Klon, 314
Komora wilgotna, 10
Konjugacja
  zjawiska zewnętrzne, 266
  dobór wielkości, 266
  zmiany jądrowe, 268
  podział *micronucleus*, 268, 270
  zanik *macronucleus*, 270
  odmłodzenie hodowli, 273
  los ekskonjugantów, 274
  wstrzymywanie i wywoływanie, 275
  hodowla bez konjugacji, 276
  rytmy, 278
  endomiksja, 279
  partenogeneza, 279
  rytmy a warunki, 282
  teorja konjugacji, 284
  znaczenie, 286, 317, 320
  zróżnicowanie płciowe, 287
Lavoisier, 349
Macronucleus, 48, 235, 270, 280
Micronucleus, 48, 235, 268, 272, 280
Mikrorespirometr, 208

Mitoza, 235
Mnożenia się szybkość, 15
Mocznik, 226
Moczowy kwas, 226, 284
Model pantofelka, 22
Moralność, 19
Nerwowy system wymoczka, 35
Newton, 349
Nieśmiertelność, 292
Oddychanie
znaczenie, 195
życie bez tlenu, 197
przemiana materji, 198
przemiana beztlenowa, 199
produkty rozpadu, 200
źródła energji, 201
cykl tlenowy, 202
brak tlenu w hodowlach, 203
samozatrucie, 205
tlenotropizm, 205
rola powierzchni cieczy, 206
indywidualne zużycie tlenu, 208
zmienność potrzeb, 209
Okresowość podziałów, 259
Oligodynamja, 307
Orjentacyjny okres, 106
Otarbianie się, 11
Pamięć, 335
Paramaecium aurelia, 279, 282
Pellikula, 26, 32
Pepsyna, 165
Peristom, 23
Płciowość wymoczka, 272
Podstawowe ciałka, 32
Podział
zewnętrzne objawy, 233
model podziału, 234
podział jąder, 235
reorganizacja wymoczka, 237
procesy twórcze, 239
pole rzęskowe, 241
los zawiązków pola, 242
rozród płciowy, 244
regeneracja *Stylonychia*, 244
pole regeneracyjne, 245
regeneracja całości, 247
procesy doraźne, 247
zależność od jądra, 248
regeneracja a rozwój, 248
warstewka graniczna w podziale, 251
zjawiska hamowania, 251, 254
izolacja części, 253
regeneracja wielokrotna, 253
translokacja części, 255
siły powierzchniowe, 256
hodowle bezpodziałowe, 293
Pokarmu pobieranie
prądy wody otaczającej, 146
mechanizm połykania, 148
skojarzenia, 151
bodźce sygnałowe, 153
liczba wodniczków, 154
połykanie cieczy, 156
kondensacja roztworów, 158
Pokarmu krążenie
obieg wodniczków, 160
mechanizm cyklozy, 163
Pokarmu trawienie
błona wodniczka, 161
trawienie u człowieka, 164
trawienie białka, 164
reakcja wodniczka, 167
zmiany wyglądu wodniczka, 167
ziarenka fermentu, 170
trawienie fibryny, 172
trawienie tłuszczów, 173
trawienie węglowodanów, 173
Pokarmu wybór
podniety smakowe, 176
zagadnienie, 177
pobierane zawiesiny, 178
substancje odrzucane, 180
pobieranie ciał trujących, 178
mieszaniny zawiesin, 181
mechanizm wyboru, 182
czynniki wyboru, 183
niecelowość reakcyj, 193
Pożywka sianowa, 8

Protoplazma
ciekła natura, 24
budowa, 27
ziarnistość, 42
Przełyk, 23
Psychologja objektywna, 324
Regeneracja p. podział
Regulacja liczebności, 17
Regulacyjne procesy, 304
Reotropizm, 127
Ruch
postępowy, 54
obrotowy, 54
prędkość, 54
zmiany położenia, 55
nutacyjny, 56
zmienność mechanizmu, 57
automatyzm, 58
zapis ruchu, 58
ruch chaotyczny, 59
bodźce zewnętrzne, 61
omijanie przeszkód, 60
ruch uporządkowany, 63
stałość kąta odbicia, 67
przewidywanie drogi, 67
ruch nieprawidłowy, 70
wpływ środowiska, 71
interpretacja zmian, 72
motywy postępowania, 74
porównanie z człowiekiem, 76
teorja fizyko-chemiczna, 78
Rytmika podziałów, 259
Rzęski
budowa, 32
koordynacja, 35
mechanizm ruchu, 50
Selekcja, 312, 314
Sensybilizacja optyczna, 104
Skleroza, 285
Smak u pantofelka, 176
Społeczeństwa zwierzęce, 19
Starzenie się wymoczka, 264
Statocysta, 119
Stentor, 40, 330
Stylonychia, 240, 257
Symbole, 327, 339
Taksja, 81
Temperatury wpływ, 305
Termotropizm, 81
Tigmotropizm, 97, 204
Tłuszcz, 42
Torricelli, 344
Traszka, 257
Trawienie, p. pokarm
Trichocysty, 34, 37, 301
Tropizmu definicja, 81
Trypsyna, 166, 172
Tubifex, 329
Vorticella, 328
Walka o byt, 18
Wirczyk, 328
Włókienka ektoplazmy, 35
Wodniczki, 26
Wodniczki kurczliwe
wygląd, 41
umiejscowienie, 211
budowa, 212
kanały odprowadzające, 212
cykl przemian, 213
błona wodniczka, 214
plazma nerkowa, 215
kanał odprowadzający, 217
częstość pulsacyj, 218
teorja osmotyczna, 220
model wodniczka, 219
ilość wydalanej wody, 221
krytyka teorji osmotycznej, 223
produkty wydalania, 224
teorja biologiczna, 226
aktywność plazmy nerkowej, 227
zależność od temperatury, 230
okresowość, 232
Wodniczki pokarmowe, p. pokarm
Wrogowie pantofelka, 18
Wydalanie, p. wodniczki kurczliwe
Wzrost wymoczka, 258
Zmiany długotrwałe, 316
Zmienność, 311

Z DZIEDZINY NAUKI I TECHNIKI

Bibljoteka popularno-naukowa

Tom 1. NIEBO. Astronomja dla laików. Napisał Sir James Jeans. Przełożył *Dr Wł. Kapuściński.* Str. XII, 196. 47 tablic i 2 mapy nieba. 1933. W opr. pł. zł 9,60.

Tom 2. NOWE DROGI NAUKI. Kwanty i materja. Napisał Dr Leopold Infeld, doc. Uniw. J. K. Str. X, 283, 27 fig. w tekście i na tabl. oraz 3 portr. 1933. W opr. pł. zł 11,60.

Tom 3. CZŁOWIEK USTOKROTNIONY. Dzieje cywilizacji na wesoło. Napisał Hendrik van Loon. Przełożył *P. Hulka-Laskowski.* Str. VIII, 250. Ze 181 rys. autora. 1933. W opr. pł. zł 11,60.

Tom 4. ZAGADNIENIA WSPÓŁCZESNEJ NAUKI. Indeterminizm. Zależność przyrodoznawstwa od środowiska. Trzy odczyty prof. M. Plancka i prof. E. Schrödingera, laureatów Nobla. Przełożył *Edw. Poznański.* Str. VIII, 93. 1933. W opr. pł. zł 6,20.

Tom 5. ŻYWE MASZYNERJE. Napisał Prof. A. V. Hill, laureat Nobla. Przełożył *Dr J. Dembowski.* Str. XVI, 222 z 105 fig. w tekście oraz na 24 tabl. 1934. W opr. pł. zł 11,60.

Tom 6. W POSZUKIWANIU ISTOTY ŻYCIA. Napisał Dr Jan Dembowski, prof. W. W. P., doc. U. W. 1934.

Tom 7. STARE ZAWODY A NOWA WIEDZA. Napisał prof. W. H. Bragg, laureat Nobla. Przełożyła inż. *M. Kubaszewska.* Z licznemi figurami.

Tom 8. ŚWIAT DRGAŃ ŚWIETLNYCH. Napisał W. H. Bragg. Przełożył *Dr Wł. Kapuściński.* Z licznemi figurami.

Tom 9. ŚWIAT DŹWIĘKÓW. Napisał W. H. Bragg. Przełożył i uzupełnił inż. dr *J. Roliński.* Z licznemi figurami.

Tom 10. NA POGRANICZU MATERJI I PSYCHIKI. Mózg i jego czynności. Napisali Dr Jerzy Konorski i Dr Stefan Miller. Z licznemi figurami.

Tom 11. ZIEMIA. Atmosfera - Oceany - Wnętrze Ziemi. Napisał Dr Edward Stenz. Z licznemi figurami.

Tom 12. BIOLOGJA ZWIERZĄT. Napisali prof. J. B. S. Haldane i prof. J. Huxley. Przełożyła Dr *L. Lubińska* pod red. prof. *J. Dembowskiego.* Z 122 fig.

„Mathesis Polska". Warszawa, Marszałkowska 81. Tel. 940-14. P.K.O. 12628
Skład Główny w Książnicy-Atlas, Sp. Akc. Warszawa—Lwów.

BIBLJOTEKA „MATHESIS POLSKIEJ"

Tom 1 i 2. DZIEJE ROZWOJU FIZYKI w zarysach. Napisali Dr. M. Grotowski, M. Sadzewiczowa, Dr W. Werner i Dr S. Ziemecki. Wydanie nowe, całkowicie przerobione. Tom I. Str. VIII, 430. Z 78 fig. i 10 portretami. 1931. Zł. 30, w opr. pł. zł 35. Tom II. Str. IV, 706. Z 214 fig., 10 tabl. i 14 portretami. 1931. Zł 48, w opr. pł. zł 53. Tania edycja: 2 tomy brosz. (bez portretów) — zł 50.

Tom 3. FIZYKA WSPÓŁCZESNA. Wykład przystępny nowych pojęć fizyki współczesnej. Napisał Prof. O. D. Chwolson. Z 3-go znacznie uzupełnionego wydania oryginału przełożył *St. Warhaftman.* St. VIII, 390. Z 41 fig. 1931. W opr. pł. zł 25.

Tom 4. WSZECHŚWIAT. Gwiazdy — Mgławice — Atomy, Napisał Sir James Jeans. Z 2-go uzupełnionego wydania oryginału przeł. *Dr. Wł. Kapuściński,* Str. VIII, 306. Z 24 fig. i 24 tablicami. 1932. W opr. pł. zł 21,60.

Tom 5. NOWE OBLICZE NATURY. Światopogląd fizyki współczesnej. Napisał Sir A. Eddington. Przełożył *Dr A. Wundheiler.* Str. XX, 336. 1934. W opr. pł. zł 14,60.

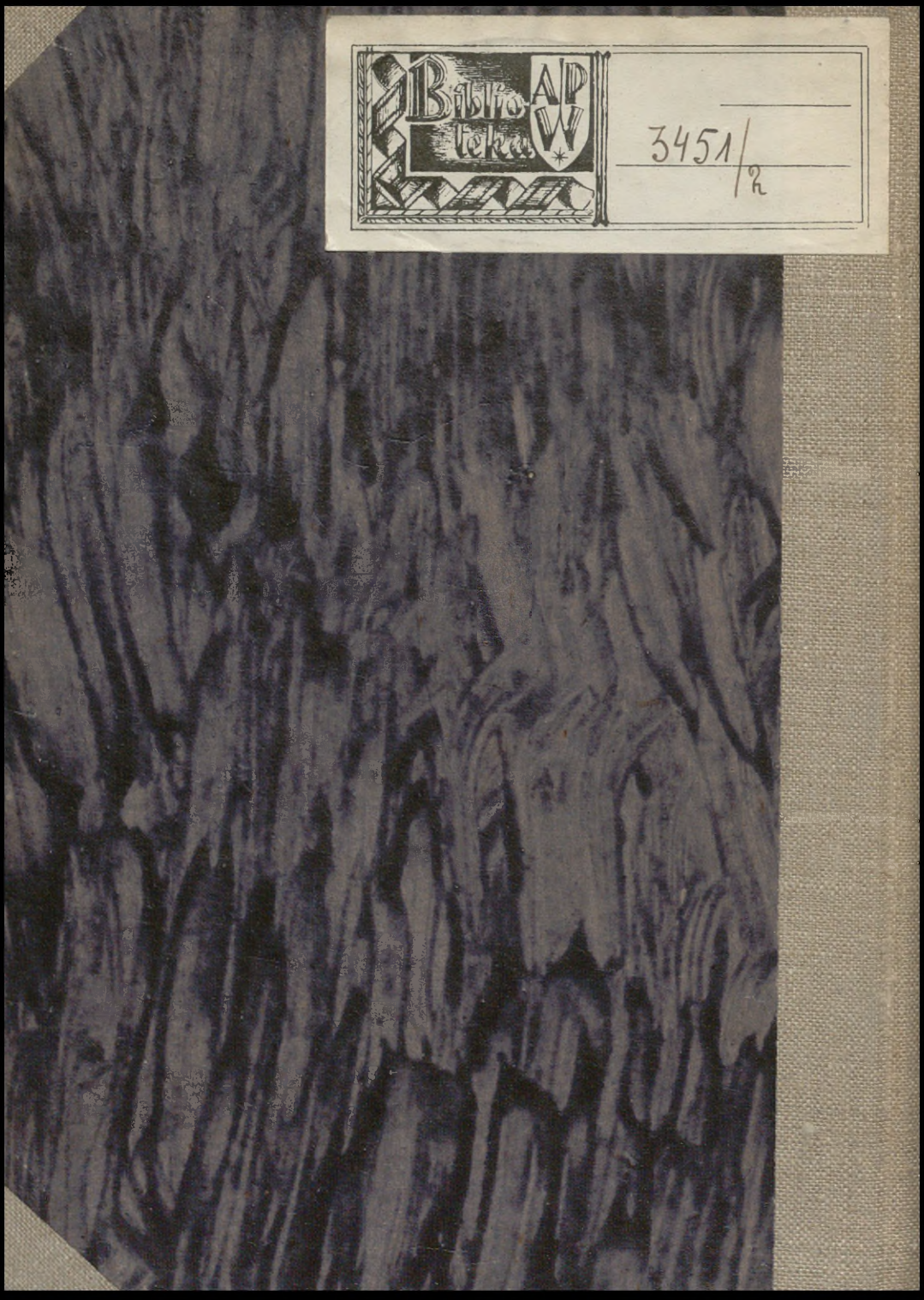
WIELCY LUDZIE — WIELKIE DZIEŁA

Tom 1. EPOKOWE WYNALAZKI W AMERYCE I W EUROPIE. Historja ich powstania i ich twórców. Napisał Waldemar Kaempffert, inż. rzecznik patent. U.S.A. Przełożył i uzupełnił *Dr A. Korjański.* Str. VIII, 552. 350 ilustr. 1933. Cz. I (str. 1-306) zł 16, cz. 2 (str. 307-552) zł 14. Całość w opr. pł. zł 33,80.

Tom 2. TOMASZ EDISON. Życie i dzieła. Napisał W. H. Meadowcroft. Przełożył i uzupełnił *Dr. E. Stenz.* Str. XII, 282 z 15 tabl. 1933. W opr. pł. zł 13,40.

„Mathesis Polska". Warszawa, Marszałkowska 81. Tel. 940-14. P.K.O. 12628
Skład Główny w Książnicy-Atlas, Sp. Akc. Warszawa—Lwów.

BIBLIOTEKA AIP W



Biblioteka AP W
3451/2