

3.5/1
PROF. DR. EMIL GODLEWSKI (sen.)

MYŚLI PRZEWODNIE FIZJOLOGJI ROŚLIN

Tom II

WYDAWNICTWO
KASY IM. MIANOWSKIEGO-INSTYTUTU POPIERANIA NAUKI
STARANIEM REDAKCJI PORADNIKA DLA SAMOUKÓW
WARSZAWA MCMXXXIII PAŁAC STASZICA



<http://rcin.org.pl>

MYŚLI PRZEWODNIE FIZJOLOGJI ROŚLIN

PROF. DR. EMIL GODLEWSKI (sen.)

MYŚLI PRZEWODNIE
FIZJOLOGJI ROŚLIN

TOM II

WYDAWNICTWO
KASY IM. MIANOWSKIEGO-INSTITUTU POPIERANIA NAUKI
STARANIEM REDAKCJI PORADNIKA DLA SAMOUKÓW
WARSZAWA MCMXXXIII PAŁAC STASZICA



808

WYKONANO W DRUKARNI KASY IM. MIANOWSKIEGO W WARSZAWIE, PALAC STASZICA

* * *

Uważam sobie za obowiązek w imię pamięci mego zmarłego Ojca złożyć Kasie im. Mianowskiego bardzo serdeczne słowa podziękowania za wydanie II tomu Jego książki: »Myśli przewodnie fizjologii roślin«. Tylko niezmiernej życzliwości i uznaniu, jakie ma Kasa im. Mianowskiego dla przeszło półwiekowej działalności mego ś. p. Ojca, zawdzięczam, że praca ostatnich lat Jego życia została wydrukowana i wydana, mimo niezmiernych trudności wydawniczych, w okresie najcięższego kryzysu ekonomicznego. W ten sposób wyniki doświadczenia Jego naukowych poczyniń i system Jego analizy, czerpane ze współżycia z nauką przez długi szereg lat, będą dla nowego pokolenia uczonych, dzięki Kasie im. Mianowskiego, zachowane.

Opublikowanie pozostałego po ś. p. moim Ojcu rękopisu nie byłoby możliwe bez ostatecznego przygotowania go do druku, co oczywiście dokonane być mogło tylko przez człowieka, wpracowanego głęboko naukowo w fizjologję roślin. Z prawdziwą wdzięcznością zwracam słowa podziękowania za te prace do

Profesora Michała Korczewskiego. Jako fizjolog roślin, uczeń mego ś. p. Ojca i Jego współpracownik, był Prof. Korczewski doskonale do tego przygotowany, tem bardziej, że ś. p. mój Ojciec w latach ostatnich wiele spraw ujętych w tej książce z Nim dyskutował i w Jego ręce oddał rękopis, czując znikające siły. Za tę uczynność, za pietyzm, który cechował odnośnienie się Prof. Korczewskiego do tej pracy, za trud włożony w przygotowanie do druku i jego pierwszą korektę wyrażam Prof. Korczewskiemu, jako syn Zmarłego, najserdeczniejsze podziękowanie, choć wiem, że robił to z pełni przywiązania i serdecznej przyjaźni, która Go z moim ś. p. Ojcem wiązała.

Prof. Dr. Emil Godlewski (syn)

Warszawa, w styczniu, 1933 r.

PRZEDMOWA.

Cel i zadanie niniejszego dzieła wyjaśnił Autor w przedmowie do tomu pierwszego, który ukazał się w roku 1923. Teraz, gdy ukazuje się tom drugi, stanowiący zakończenie dzieła, ale posiadający nieco odmienny charakter, niż tom pierwszy, dzięki wyczerpującemu i monograficznemu niemal opracowaniu kilku zagadnień fizjologii roślin, nie będzie może bez korzyści przypomnieć niektóre punkty ze wspomnianej przedmowy i dodać parę uwag uzupełniających.

„Myśli przewodnie fizjologii roślin” nie są podręcznikiem i nie z tem założeniem były pisane. Powstały one, jak wiadomo, przy pisaniu artykułu o Fizjologii Roślin do „Poradnika dla Samouków” i miały za zadanie zapoznać czytelnika z istotą zagadnień tej nauki, a przede wszystkim dać mu wskazówki, jak należy prowadzić samodzielne badania fizjologiczne.

Ten metodologiczny charakter dzieła określił najwyraźniej sam Autor pisząc we wspomnianej przedmowie: „Jak świadczy sam tytuł książki, szło mi o myśli przewodnie w traktowaniu i rozwiązywaniu zagadnień życia roślinnego, nie zaś o przedstawienie całości nauki — dla tego szczegółowa część książki jest tylko zbiorem przykładów stawiania i rozwiązywania fizjologicznych zagadnień, a nie przedstawieniem całości fizjologii roślin i stosowanych w niej metod”.

W niniejszym tomie drugim, jako takie przykłady szczegółowe obrane zostały zagadnienia mechanizmu pobierania pokarmów i mechanizmu ruchu wody w roślinie. Zagadnienia te zostały przez Autora tak gruntownie, a zarazem oryginalnie opracowane, że otrzymaliśmy w ten sposób niezwykle piękny wykład tych rozdziałów fizjologii, taki, jakiego nietylko nasza uboga literatura dotychczas nie posiadała, ale jaki trudnoby znaleźć w całej literaturze światowej.

Jednakże i tutaj nie chodziło Autorowi o wyczerpujące, po-

drewniakowe, przedstawienie wszystkich posiadanych przez nas wiadomości z tej dziedziny, ale o coś innego, a raczej o coś więcej: chodziło Mu—aby użyć Jego własnych słów—o opisanie „jaki był bieg myśli badawczej, prowadzącej do obserwacji i doświadczeń, któremi te wiadomości zostały zdobyte, jakie trudności nastroczały się w drodze do tych zdobyczy, jakie były niebezpieczeństwa popełnienia omyłek i błędów w tych badaniach i jakie sposoby ich uniknięcia, jakie są wreszcie gwarancje, że nasze dzisiejsze pojęcia o objawach życiowych u roślin są istotnie prawdziwe”. Autor uczy nas tutaj metody badania fizjologicznego, prowadząc nas raz jeszcze po tej drodze, którą przebyła nauka, zanim doszła do dzisiejszych rezultatów, a prowadzi nas jako doświadczony przewodnik, który sam drogę tę odbył i do postępu na niej wybitnie się przyczynił, który przeżył trudności, jakie się nasuwały i widział sam i doświadczył, jak łatwo umysł ludzki podlega błędowi i omyłkom, zanim dojdzie do celu. Istotnie, cały rozwój fizjologii roślin nowożytnej, od czasów Sachsa, dokonał się w Jego oczach i przy Jego czynnym współudziale i był przez Niego poprostu przeżywany. To bogate doświadczenie swojego życia naukowego przekazał tutaj, w swoim ostatnim dziele, które jest niejako dopełnieniem Jego pracy badawczej, całemu ogółowi młodych polskich badaczy.

Zagadnienie pobierania gazów i wody, a przede wszystkim zagadnienie ruchu wody w roślinie, które stanowią główną treść niniejszego tomu, należą właśnie do tych zagadnień najściślej związanych z działalnością naukową profesora Godlewskiego. On to bowiem w roku 1884, w pracy o „teorii krążenia soków w roślinie”, która wyszła po polsku w Akademii Umiejętności, a równocześnie po niemiecku w „Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik”, poddał gruntownej krytyce ówczesne teorie ruchu wody w roślinie i wykazał, że są niedostateczne do wyjaśnienia tego procesu, a równocześnie podał swoją własną teorię, której punktem zasadniczym było przyjęcie współudziału żywych komórek przy poruszaniu wody w naczyniach i podnoszeniu jej na znaczne wysokości w pniach drzew. Teoria ta, znana w nauce pod nazwą teorii Godlewskiego, lub też pod mniej ścisłą nazwą teorii witalistycznej ruchu wody, była przez wiele lat ośrodkiem ożywionej dyskusji naukowej i była bezpośrednią lub pośrednią pobudką do niezliczonych prac doświadczalnych. Dyskusja osiągnęła swoje

najwyższe natężenie w latach dziewiętnastych, gdy angielski uczony Dixon wystąpił z nową, t. zw. „kohezyjną” teorią ruchu wody, popartą później i rozbudowaną przez szereg innych badaczy. Teoria ta, która w klasycznej swej formie wyklucza zupełnie współdziałanie żywych komórek, przylegających do naczyń drzewnych, w podnoszeniu wody w roślinie, zdobyła sobie powoli stanowisko panujące w fizjologii roślin. Podziwiać musimy, w jak obiektywny sposób rozważa Autor, w Rozdziale II, argumenty tej teorii, dając równocześnie świetny jej wykład i przedstawiając niezmiernie jasno wszystkie jej zasadnicze twierdzenia. Fakty i doświadczenia, na których te twierdzenia się opierają, opisuje obszernie i szczegółowo i w tych punktach całkowicie oświadcza się za nową teorią. Lecz w dalszym ciągu zwraca uwagę i na jej ograniczenia i wykazuje zapomocą krytycznej analizy i przez przytoczenie bardzo interesujących faktów, zebranych z badań różnych autorów, że pewien współdziałanie żywych komórek musimy jednak przyjąć i że nie stoi to wcale w sprzeczności z teorią kohezyjną.

Ta część wywodów Autora jest nie tylko niezmiernie ciekawa pod względem metodologicznym, jako ilustrująca nam „jaki są niebezpieczeństwa popełniania omyłek... i jakie są gwarancje, że nasze dzisiejsze poglądy o objawach życiowych u roślin są istotnie prawdziwe”, ale jest także niezwykle interesująca dla fizjologa i posiada aktualne znaczenie naukowe. Jest to bowiem doniosłe wypowiedzenie się twórcy dawnej teorii ruchu wody w toczącej się jeszcze obecnie i bynajmniej nie zakończonej dyskusji.

W podobny sposób, jak zagadnienie ruchu wody, zamierzał Autor opracować także zagadnienia asymilacji bezwodnika węglowego, oddychania i przemiany związków azotowych w roślinie — wszystko działy fizjologii, w których rozwoju czynny i wybitny brał udział. Tego jednak, niestety, nie było Mu już dane dokonać. Zdażył jedynie, jak sam powiada, „krótko naszkicować” obraz zadań, jakie się następują przy badaniach nad pobieraniem składników mineralnych przez rośliny, co stanowi treść ostatniego, III-ego Rozdziału.

Przy przygotowaniu pozostawionego przez Autora rękopisu do druku, kierowałem się tem, że rzeczą istotną jest tutaj strona metodologiczna, tak jak to powyżej zostało wyłuszczone. Uważałem zatem — i tego samego zdania był WSzanowny Syn Autora, prof. Emil Godlewski — że nie należy zmieniać tekstu

ani go uzupełniać, nawet w tych wypadkach, gdy rozwój nauki, od chwili napisania poszedł już dalej i poznane zostały nowe fakty, albo zarysowały się nowe sposoby ujęcia omawianych zagadnień. Jest bowiem rzeczą mniejszego znaczenia, czy przykłady, na których Autor wyjaśnia drogi naukowej myśli badawczej i którymi ilustruje metodę badań fizjologicznych, wybrane są z badań dawniejszych, czy też obejmują także badania kilku ostatnich lat, natomiast rzeczą ważną jest, aby przykłady te dobrane były odpowiednio do zamierzeń Autora i aby łączyły się w logiczną całość z ogólnym biegiem Jego myśli i rozumowania: w takim zaś razie nie było wskazane zmieniać cośkolwiek w oryginalnej kompozycji i układzie dzieła.

Ponieważ jednak rozdział o ruchu wody w roślinie opracowany został tak wyczerpująco i monograficznie przez Autora, że poza tym właściwym celem, dla którego został napisany, jest on równocześnie świetnym i najbardziej nowoczesnym wykładem tej części fizjologii roślin, więc tutaj uzupełniono w odpowiednich miejscach tekst przez podanie wyników i krótkie omówienie znaczenia nowych badań, jakie od chwili napisania tego rozdziału zostały dokonane. Te ustępy jednak dodane zostały przezemnie w przypiskach, poza tekstem, tak że tekst oryginalny pozostaje niezmieniony, a wykład, mimo to doprowadzony jest do czasów najnowszych. W samym zaś tekście dokonane zostały oczywiście poprawki dostrzeżonych omyłek, lub drobne uzupełnienia natury redakcyjnej, jak to jest zawsze konieczne przy przygotowaniu jakiegokolwiek rękopisu do druku.

Zadanie swoje miałem o tyle ułatwione, że powstanie i realizację tego ostatniego dzieła Profesora Godlewskiego miałem sposobność śledzić niemal od początku i wiele z Nim na ten temat rozmawiałem. Rozmowom tym niezmiernie wiele zawdzięczam. Widziałem też, jak neliitościwa choroba zahamowała dalszy postęp pracy i przeszkodziła całkowitemu wykonaniu szeroko zakreślonego planu. Toteż gdy teraz, dzięki energii Syna Autora, prof. E. Godlewskiego i życzliwemu stanowisku Kasy Mianowskiego, pozostawiony przez Autora rękopis mógł wreszcie zostać oddany do druku, byłem bardzo szczęśliwy, że mogłem współpracować przy wydaniu tego dzieła, któremu ś. p. Profesor tyle sił i zapału poświęcił i z którym łączą się wszystkie wspomnienia z ostatnich lat Jego życia.

Michał Korczewski.

TREŚĆ

	Str.
WSTĘP	3
BADANIE MECHANIZMU POBIERANIA POKARMÓW.	
ROZDZIAŁ I. <i>Mechanizm pobierania i krążenia gazów w roślinie.</i>	
1. Spółczynniki rozpuszczalności gazów w wodzie i systemach koloidalnych	9
2. Doświadczenia Maquenne'a i Demoussy'ego	12
3. Możliwość spółdziałania adsorpcji w zjawiskach wymiany gazów w roślinie	15
4. Przedostawanie się gazów przez błony komórkowe	16
5. Konieczność wewnętrznej atmosfery dla pobierania gazów	19
6. Krążenie gazów u roślin wodnych podczas pobierania bezwodnika węglowego	22
7. Krążenie gazów niezależne od asymilacji, a uzależnione jedynie od procesów dyfuzyjnych	26
8. Mechanizm wymiany gazów przez szparki w częściach nadziemnych roślin	31
ROZDZIAŁ II. <i>Mechanizm pobierania i krążenia wody.</i>	
A. Pobieranie wody przez pęcznienie.	
1. Pęcznienie koloidów a pęcznienie nasion i tkanek	40
2. Hipotezy o budowie koloidów liofilnych	43
3. Przypuszczalne różnice w strukturze części składowych nasion i ich pęczliwości	45
4. Znaczenie łupinki w pęcznieniu nasion	47
5. Wpływ czynników zewnętrznych na pęcznienie	49
6. Odwracalność lub nieodwracalność zjawisk galaretowacenia i pęcznienia	50
B. Pobieranie wody przez osmozę.	
1. Powstawanie fazy płynnej w komórkach	52
2. Osmoza; Ciśnienia osmotyczne, wartość osmotyczna	53
3. Zależność ciśnienia osmotycznego od własności przegrody rozdzielającej płyny: przegrody wółprzepuszczalne	55
4. Komórka roślinna jako aparat osmotyczny	56

	Str.
5. Wielkość turgoru i jakość ciał, które go wywołują w rosnących latoroślach	59
6. Wielkość turgoru w częściach rośliny, które swój wzrost już ukończyły. Badania plazmolityczne	62
7. Wartość osmotyczna różnych komórek	65
8. Wartość osmotyczna soku komórkowego w turgorze i plazmolizie	66
9. Absolutna wielkość siły popierania wody przez roztwory cukru, wyrażona w atmosferach. Doświadczenia Pfeffera	69
10. Udział różnych ciał, zawartych w soku komórkowym, w wytwarzaniu turgoru. Wartość osmotyczna różnych związków rozpuszczalnych w wodzie	74
11. Doświadczenia plazmolityczne de Vriesa nad wartością osmotyczną różnych ciał. Roztwory izotoniczne	76
12. Spółczynniki izotoniczne	78
13. Wnioski van't Hoffa z doświadczeń Pfeffera i de Vriesa	79
14. Granica stosowania się praw gazowych do roztworów cząsteczkogramowych	83
15. Prawidłowości w ciśnieniach osmotycznych przy odnoszeniu stężenia roztworów nie do jednostki objętości roztworu, ale do jednostki objętości rozczynników	86
16. Inne sposoby oznaczenia ciśnienia osmotycznego	90
17. Przyczyny różnic współczynników izotonicznych różnych ciał. Dysocjacja cząsteczek na jony; sposoby jej oznaczania	93
C. Badanie mechanizmu krążenia wody.	
1. Fakty i przypuszczenia. Trudności objaśnienia mechanicznego	98
2. Możliwe sposoby działania energii życiowej na wyciskanie wody z komórek	102
3. Najprawdopodobniejsze przyczyny czynnego wypychania wody z komórek i parcia korzeniowego	107
4. Wydzielanie wody przez wypotniki	111
5. Plącz i parcie korzeniowe	116
D. Mechanizm ruchu wody od korzeni do liści.	
1. Parcie korzeniowe	125
2. Różnice ciśnienia w naczyniach i cewkach na drodze ruchu wody	126
3. Włoskowatość naczyń i cewek	137
4. Nasiąkliwość błon komórkowych	138
5. Współdziałł żyjących komórek	145
6. Kohezja wody, jako czynnik jej podnoszenia się w drewnie	160
7. Próby doświadczalnego oznaczenia wielkości ssania, powodowanego przez parowanie liści	172
8. Czy jest prawdopodobnem, aby ujemne ciśnienie i kohezja same jedne stale utrzymywały ruch wody?	179
9. Wielkość ssania transpiracyjnego w liściach i jego zmiany	183
10. Pomiaru manometryczne ciśnienia w drogach wodnych	187
11. Źródło energii czynnej w ruchu wody	189
12. Mechanizm wypełniania się rezerwoarów wodnych w liściach	190

	Str.
ROZDZIAŁ III. <i>Mechanizm pobierania soli mineralnych i innych ciał z roz- tworów i gleby.</i>	
1. Stopień przepuszczalności protoplazmy dla różnych ciał. Sposoby badania	195
2. Które części protoplazmy decydują o jej przepuszczalności dla czą- stek stałych?	206
3. Od czego zależy przenikanie lub nieprzenikanie pewnego ciała do wnętrza komórki?	208
4. Jak reguluje się ilość pobieranych składników i w jaki sposób moż- liwe jest ich gromadzenie się w komórce?	209
5. Mechanizm pobierania ciał trudno rozpuszczalnych	213
6. Mechanizm pobierania składników pokarmowych ze związków absorb- cyjnych gleby	220
7. Mechanizm pobierania trudno rozpuszczalnych składników organicz- nych	225

ERRATA.

Str.	wiersz	zamiast	winno być
81	9 od góry we wzorze w mianowniku	263	273
81	14 od góry	Pffefera	Pfeffera
85	w tabelce drugiej, w nagłówku kolumny czwartej	p 0,082 n T	p = 0'082 n T
85	w tejże samej tabel- ce, w kolumnie dru- giej, ostatnia liczba	1,210	2,194
87	w tabelce z doświad- czenia z r. 1904, w kolumnie pierwszej druga liczba	170,0	180,0
87	w tabelce z doświad- czenia z r. 1906, w kolumnie drugiej, pierwsza liczba	20,3	202,0
94	22 od góry	w podanym wzorze należy skreślić nawias.	

CZĘŚĆ DRUGA

BADANIE MECHANIZMU PROCESÓW ŻYCIOWYCH.

W S T Ę P.

W dotychczasowych naszych rozpatrywaniach, zawartych w pierwszym tomie niniejszej książki, omawialiśmy sposoby obserwowania procesów życiowych, ich zależność od czynników zewnętrznych i od budowy rośliny—obecnie pozostaje nam do rozpatrzenia część najciekawsza, ale i najtrudniejsza t. j. metodyka badania przyczynowości w objawach życia, a więc próby wyjaśnienia, dlaczego przebieg objawów życia jest właśnie taki, jakim go obserwujemy, a nie inny, dlaczego różne czynniki zewnętrzne w ten, a nie inny sposób na te objawy oddziałują, przede wszystkim zaś, jakie są siły, działające w każdym objawie życiowym z osobna, jakie ich źródło i sposób działania. Procesy fizjologiczne przedstawiają łańcuchy przemian, w których bezpośrednia obserwacja wskazuje zazwyczaj tylko niektóre, najczęściej początkowe i końcowe etapy, a wykrycie pojedynczych ogniw, łączących te etapy wymaga mozolnych poszukiwań, opartych nieraz na szeregach doświadczeń, które mimo wszystkich usiłowań prowadzą tylko do urywkowego poznania niektórych z tych ogniw. Idąc od ogniwa do ogniwa, zadając sobie ciągle pytania: dlaczego? w jaki sposób? napotykamy w odpowiedzi na nie na coraz większe trudności, aż w końcu dochodzimy do pytań, na które odpowiedzi już nie znajdujemy. Można powiedzieć, że niema ani jednego objawu życiowego, któryby w całej pełni był mechanicznie objaśniony, w którymby już żadne pytanie nie zostało bez odpowiedzi.

Naogół metoda badań w kierunku mechanicznego wyjaśnienia pewnego zjawiska życiowego polega na tem, że na podstawie o ile możności jak najdokładniejszej obserwacji jego przebiegu, jego związku z budową narządu lub tkanki roślinnej, w której się ono odbywa i doświadczeń nad jego zależnością od różnych czynników zewnętrznych, robimy pewne przypuszczenia co do tego, jakie mogłyby być siły działające w wy-

wołaniu tego zjawiska i rozpatrujemy co do każdej z nich z osobna, w jakiej mierze mogłaby się ona przyczynić do jego przebiegu. Musimy przytem mieć na uwadze nietylko to, czy wielkość pewnej siły wystarcza do wywołania danego zjawiska, ale także i to, czy wystarcza do nadania mu tej szybkości, z jaką ono w roślinie przebiega. Na podstawie takich rozważań urabiamy sobie pewien pogląd, pewną hipotezę co do przyczynowego związku między przebiegiem pewnego zjawiska życiowego, a siłami działającymi w roślinie. Z tak skonstruowanej hipotezy staramy się snuć logiczne konsekwencje i rozpatrywać, o ile są one zgodne z faktami już w życiu roślin poznanymi, o ile zaś dotyczą rzeczy należycie nie zbadanych, staramy się sprawdzić je zapomocą odpowiednio ustawionych doświadczeń. Im więcej znanych faktów może pewna hipoteza objaśnić, im więcej można z niej wysnuć wniosków, dających się skontrolować doświadczalnie, tem większą jest jej wartość dla badania, a im dokładniej rezultaty doświadczeń zgadzają się z wnioskami, wyprowadzonymi z tej hipotezy, tem większe jest jej prawdopodobieństwo. To też tak samo jak w każdej nauce doświadczalnej, tak i w fizjologii roślin hipotezy mają niezmiernie doniosłe znaczenie, bez nich eksperymentowanie nad mechanizmem zjawisk życiowych byłoby w wielu przypadkach błędzeniem poomacku, one są nicią przewodnią w wyborze kierunku doświadczenia. Nawet wtedy, kiedy wyniki doświadczenia nie potwierdzają, ale sprzeciwiają się powziętym hipotezom, nie są one bezpożyteczne, bo doprowadzają nieraz do zupełnie niespodziewanych odkryć, gdyż wskazując, że w zapatrywaniach naszych na mylnej znajdowaliśmy się drodze, zmuszają nas do nowych koncepcyj, będących punktem wyjścia dla nowych doświadczeń i poznania nowych faktów. Warunkiem jednakże pożyteczności hipotez jest to, abyśmy dobrze o tem pamiętali, że hipoteza jest tylko hipotezą, o której uprawnieniu sami dopiero zapomocą doświadczeń mamy się przekonać, nie zaś pewnikiem nie ulegającym dla nas wątpliwości, o którego prawdziwości tylko drugich chcemy zapomocą doświadczenia przekonać. Innemi słowy trzeba, abyśmy, podejmując doświadczenia dla skontrolowania słuszności jakiejś hipotezy, przyjmowali ich rezultaty trzeźwo i obiektywnie, a nie naciągali ich wyników do zapatrywań z góry powziętych.

Na poparcie przypuszczalnego objaśnienia sposobu działania sił fizycznych i chemicznych w jakimś zjawisku życiowym

rośliny często staramy się próbować, czy z pomocą tych sił nie uda nam się wywołać analogicznego zjawiska poza organizmem. Dlatego fizjolog dla ilustrowania pewnych zjawisk życiowych posiłkuje się nieraz czysto fizycznymi lub chemicznymi doświadczeniami. Takie doświadczenia bywały też nieraz podejmowane przez fizjologów także i dlatego, że dane, dostarczone przez zawodowych fizyków i chemików nie wystarczały do dokładnego objaśnienia jakichś zjawisk życiowych, bo te ostatnie nastręczały pewne pytania z zakresu fizyki lub chemii, na które literatura tych nauk nie dawała jeszcze należytej odpowiedzi, a wtedy badaczowi życia roślinnego nie pozostawało nic innego, jak starać się samemu wypełnić braki tych podstawowych nauk zapomocą samodzielnych fizyko-chemicznych doświadczeń.

Znamy przykłady, że takie doświadczenia fizjologów miały wielką doniosłość nietylko dla danej kwestji fizjologicznej, dla której były podejmowane, ale i dla samej fizyki i chemii. Najwybitniejszym przykładem są tu doświadczenia Pfeffera nad ciśnieniem osmotycznym roztworu cukru, podjęte dla objaśnienia zjawiska turgoru w komórkach. Materiał doświadczalny, nagromadzony przez Pfeffera, posłużył Van't Hoffowi do stworzenia teorii roztworów i stał się przez to podwaliną nowej nauki t. zw. chemii fizycznej. Niepomiarą rolę w rozwoju tej nowej nauki odegrały czysto fizjologiczne doświadczenia de Vriesa nad plazmolizą, które znowu dały materiał Arrheniusowi do stworzenia teorii dysocjacji elektrolitycznej w roztworach t. zw. elektrolitów. Badania Van Bemmelen'a, dążące do wyjaśnienia t. zw. własności absorbcyjnej ziemi ornej, nader ważne dla zrozumienia sposobu, w jaki korzenie roślin pobierają z gleby składniki pokarmowe, dały potężny impuls do rozwoju nauki o koloidach, a badania Bütschlego skierowane do wyjaśnienia struktury protoplazmy, jakniemniej badania wielu innych biologów nad stanem koloidalnym różnych organicznych związków, były bardzo ważne nietylko dla fizjologii, ale także i dla tak szybko rozwijającej się w ostatnich czasach chemii koloidów.

Jak prawidłowe funkcjonowanie jakiejś maszyny wymaga dwóch rzeczy t. j. energii, któraby wykonywała odpowiednią pracę i zbudowania samej maszyny, ściśle przystosowanej do celu tej pracy, tak samo i do prawidłowego przebiegu czynności życiowych trzeba energii, któraby mogła być spożytkowaną do wykonywania tych czynności i budowy orga-

nizmu, któraby stanowiła środowisko odpowiednie dla działania tej energii. Rzecz o tyle jednak w organizmie jest bardziej skomplikowana, że owa energia nie tylko ma tu wykonywać pewne prace, do których budowa organizmu jest przystosowana, ale zużytkowaną być musi także do budowania i odnawiania samej owej maszyny, t. j. owego organizmu. Jak do zrozumienia funkcjonowania jakiejś maszyny przy pomocy sił w niej działających musimy doskonale poznać jej budowę i znaczenie każdej części maszyny dla dokonywującej się w niej pracy, tak samo dla zrozumienia przebiegu zjawisk życia roślinnego potrzebne jest jak najdokładniejsze poznanie budowy różnych części organizmu roślinnego, nie tylko co do ich formy makro- i mikroskopowej, ale także i co do materiału, z którego są zbudowane i różnych jego właściwości fizycznych i chemicznych. Od tej bowiem budowy, od tych właściwości materiału budowlanego zależy możliwość takiego właśnie działania różnych form energii czynnej w każdym z organów i tkanek roślinnych, jaka prowadzi do tych harmonijnych skutków, które się przejawiają w czynnościach życiowych.

Jeżeli już w badaniu ogólnego przebiegu czynności życiowych i ich zależności od czynników zewnętrznych musieliśmy ciągle baczyć na ich związek z budową różnych tkanek roślinnych, to w daleko jeszcze wyższej mierze musimy mieć na oku tę budowę wtedy, gdy idzie o wyjaśnienie mechanizmu tych czynności. Kiedy tam musieliśmy mieć przedewszystkiem wzgląd na budowę anatomiczną i histologiczną organów roślinnych, to tu wysuwa się obok tego na pierwszy plan fizyczna i chemiczna natura materiału, z którego złożone są komórki i tkanki roślinne, ich najdelikatniejsza fizyko-chemiczna struktura, której już samym mikroskopem przejrzeć nie możemy. W związku z tą strukturą musimy rozpatrywać przejawy działania różnych form energii, będącej źródłem procesów życiowych, badać jej pochodzenie, natężenie i sposób działania, badać stosunki pomiędzy ilością energii, będącej do dyspozycji a wielkością każdej z prac, dokonywanych przez nią w roślinie, musimy też starać się także poznać co się staje z resztą energii niezużytej do wykonania tych prac.

Jak w omawianiu badania nad przebiegiem zjawisk życiowych i ich zależnością od wpływów zewnętrznych, tak i tu, w badaniu mechanizmu tych zjawisk postaramy się tok badań objaśnić na przykładach.

BADANIE MECHANIZMU POBIERANIA POKARMÓW.

W tomie pierwszym widzieliśmy, w jakiej formie składniki pokarmowe są przez rośliny pobierane, widzieliśmy, że są między nimi gazy, woda i ciała stałe, jak sole mineralne i związki organiczne. By sobie zdać sprawę z mechanizmu ich pobierania, musi się badacz liczyć z delikatniejszą budową ciała roślinnego. Rozejrzemy się w tem jeszcze bliżej.

Elementy tkanek roślinnych mają nawskroś budowę systemów koloidalnych, co najmniej dwufazowych, są bowiem złożone z cząstek stałych, będących w bardzo przeważnej mierze w stanie koloidalnym, i z wody rozmieszczonej między nimi. Natura cząstek stałych jest różna. W błonach komórkowych są one złożone przeważnie z cellulozy, w protoplazmie i jądrze przeważnie z materij białkowatych. Błona ma charakter stężałej galarety koloidalnej, w której faza stała przeważa wydatnie nad płynną, w protoplazmie komórek, będących w pełni czynności życiowej, przeważa bardzo znacznie faza płynna, stąd protoplazma ma zwykle postać półpłynną. W komórkach w stanie spoczynkowym, np. w nasionach, także i protoplazma jest przeważnie złożona z fazy stałej, woda może zejść w niej poniżej 10%. W starszych komórkach, będących w pełni życia, część wody oddziela się od protoplazmy i wraz z ciałami w niej rozpuszczonemi wypełnia większe jamistości, powstające w jej masie, stanowiąc t. zw. sok komórkowy, zebrany w wodniczkach czyli wakuolach. Ten sok komórkowy zawiera w stanie roztworu molarnego i jonowego, a czasem częściowo także i koloidalnego, rozmaite ciała, tak mineralne jak i organiczne. Tak więc w komórce roślinnej spotykamy się z systemami koloidalnemi i molarno-jonowemi coraz bardziej od zewnątrz ku wewnątrz uwodnionemi; od zewnątrz błona jest galaretą prawie stałą, dalej ku

wewnątrz jądro i protoplazma są współpłynne, a wewnątrz sok komórkowy ma właściwości roztworu przeważnie molarniojonowego.

Jak wiemy z badań cytologicznych, ani błona, ani protoplazma czy jądro nie są systemami koloidalnymi w całości jednako- wemi, ale są raczej zbiorem całego szeregu systemów kolo- idalnych. Więc w błonie wyróżniamy nieraz szereg warstw, z których każda ma odmienną budowę, a nieraz i skład che- miczny; w protoplazmie t. zw. warstewka skórna jest przejrzysta i wyróżniona od protoplazmy ziarnistej a obok tego w tej ostatniej, wyosobnione bywają chromidja, chondrjzomy, ciała plazmatyczne, jak leukoplasty, chromoplasty i chloroplasty, w nich znowu ziarneczka skrobi i t. d. W jądrze rozróżniamy ziarna i nitki chromatynowe, zrąb lininowy, sok jądrowy i jąderka. Na- wet w soku komórkowym wydzielają się nieraz pewne strąty, kryształki i t. p.

Z tą różnorodną koloidalną budową komórek musi się fizjo- log liczyć w rozpatrywaniu mechanizmu pobierania pokarmów wszystkich trzech stanów skupienia, mając na oku znane z fi- zyko-chemji własności systemów koloidalnych.

ROZDZIAŁ I.

MECHANIZM POBIERANIA I KRAŻENIA GAZÓW W ROŚLINIE.

1. Spółczynniki rozpuszczalności gazów w wodzie i systemach koloidalnych.

Systemy koloidalne o fazie stałej i płynnej zachowują się wobec gazów podobnie jak płyny, t. j. rozpuszczają je, czyli absorbują w ilości ustosunkowanej do pewnej stałej, zależnej od natury gazu i płynu (względnie systemu koloidalnego), t. j. od t. zw. współczynnika rozpuszczalności gazu w tym płynie i od ciśnienia, jakie ten gaz na ciecz wywiera. Zależność od ciśnienia wyraża się w ten sposób, że ilość gazu, jaka się rozpuszcza, jest wprost proporcjonalna do tego ciśnienia. Jeżeli dana ciecz, czy system koloidalny, znajdzie się w zetknięciu z mieszaniną kilku gazów, to każdy z nich rozpuści się w takiej ilości jakgdyby był sam tylko jeden i zostawał pod takim ciśnieniem, jakie z ogólnego ciśnienia proporcjonalnie nań przypada, czyli jak mówimy każdy z tych gazów rozpuści się w stosunku do swego współczynnika rozpuszczalności i do swego cząstkowego ciśnienia.

Spółczynnikiem rozpuszczalności nazywamy tę objętość gazu, jaka się rozpuszcza w jednostce objętości rozpuszczalnika pod ciśnieniem jednej atmosfery. Tak więc podług tych fizyko-chemicznych praw, w objętości rozpuszczalnika V rozpuści się ilość gazu $\frac{V a b'}{76}$, gdzie a jest współczynnikiem rozpuszczalności b' cząstkowym ciśnieniem, jakie z ogólnego ciśnienia b na ten gaz przypada. Zaznaczyć jeszcze należy, że współczynnik rozpuszczalności jakiegobądź gazu w pewnej cieczy jest tylko w tej samej temperaturze stały, a przy podnoszeniu się temperatury maleje.

Za przykład różnic między współczynnikami rozpuszczalności, zależnie od natury gazu cieczy i wysokości temperatury, może nam posłużyć następująca tabliczka:

Wartość α dla wody			
	w temp.: 0°C	10°C	20°C
Azot	0·02348	0·01857	0·01542
Tlen	0·04890	0·03802	0·13102
Dwutlenek węgla . .	1·713	1·194	0·878

Wartość α dla alkoholu			
	w temp.: 0°C	10°C	20°C
Azot	0·1263	0·1228	0·0140
Tlen	0·2840	—	—
Dwutlenek węgla . .	4·44	3·57	2·98

Gdyby współczynniki absorbcyjne trzech głównych gazów powietrza, które wchodzi w grę w żywieniu się roślin, były dla systemów koloidalnych, z których składa się dany twór roślinny, takie same jak dla wody, to z powyższej tabelki moglibyśmy łatwo obliczyć wiele każdego z tych trzech gazów zostałoby pochłonięte przez twór roślinny o objętości V . Bo skoro podług znanego składu powietrza atmosferycznego znajduje się w nim 78% azotu, 21% tlenu i 0·03% bezwodnika węglowego (argon którego jest około 1% jako dla roślin obojętny pomijamy), to z ogólnego ciśnienia barometrycznego b (w cm rtęci) przypada na każdy z tych gazów ciśnienie cząstkowe b' , które wynosi dla azotu $b' = 0·78 b$, t. j. 0·78 ciśnienia barometrycznego, dla tlenu $b' = 0·21 b$, dla bezwodnika węglowego $b' = 0·0003 b$.

Zatem w tworze roślinnym o objętości V , wystawionym na powietrze w temperaturze 10°C, rozpuściłoby się:

$$\begin{aligned} \text{azotu} & \quad \frac{V \cdot 0\cdot01857 \cdot 0\cdot78 b}{76} \\ \text{tlenu} & \quad \frac{V \cdot 0\cdot0380 \cdot 0\cdot21 b}{76} \\ \text{bezwod. węgl.} & \quad \frac{V \cdot 1\cdot194 \cdot 0\cdot00036}{76} \quad ^1) \end{aligned}$$

Jeżeliby teraz po ustaleniu się, w myśl powyższych praw absorpcji gazów, równowagi między gazami rozpuszczonymi

¹⁾ Wzór powyższy dla bezwodnika węglowego stosuje się tylko w przybliżeniu, gdyż rozpuszczalność bezwodnika węglowego nie jest ściśle proporcjonalna do ciśnienia b .

a znajdującymi się w atmosferze, zaszły zmiany w ciśnieniu gazów lub temperaturze tworów roślinnego, wówczas nastąpiłaby dążność do ustalenia nowej równowagi, odpowiadającej tym zmienionym warunkom. W razie więc opadnięcia barometru, t. j. zmniejszenia się ciśnienia gazów, część rozpuszczonych gazów, odpowiadająca temu zmniejszeniu ciśnienia, ulotniłaby się w powietrze, zaś w razie zwiększenia się ciśnienia pewna ich ilość z powietrza rozpuściłaby się w tkankach. W razie podniesienia się temperatury wskutek zmniejszenia się współczynnika rozpuszczalności część gazów by się ulotniła i t. p.

Ale zmiany podobne nastąpiłyby także co do każdego rozpuszczonego gazu z osobna, jeżeliby w ośrodku absorbującym nastąpiło w jaki bądź sposób zużycie tego gazu, albo też wskutek jakich bądź przyczyn otworzyło się w tym ośrodku nowe jego źródło. W pierwszym przypadku nastąpiłoby rozpuszczenie się w ośrodku nowej ilości tego gazu z powietrza, w drugim wydzielenie jego nadmiaru do powietrza, tak aby równowaga między ilością gazów rozpuszczonych w ośrodku, a ich cząstkowym ciśnieniem w atmosferze została znowu przywrócona.

Jeżeliby np. w tworze roślinnym, stykającym się z powietrzem, tlen w niem rozpuszczony zużył się częściowo do oddychania, a wskutek tego procesu wytworzył się bezwodnik węglowy, to jasną jest rzeczą, że pierwotna równowaga między gazami rozpuszczonymi w tkance roślinnej, a cząstkowym ich ciśnieniem w atmosferze, zostałaby przez to naruszona, bo tlenu byłoby teraz w tkance za mało, a bezwodnika węglowego za dużo w stosunku do cząstkowego ciśnienia tych gazów w atmosferze, więc następstwem tego musiałoby być rozpuszczenie się w tkance roślinnej nowej ilości tlenu z powietrza i wydzielenie się nadmiaru bezwodnika węglowego do powietrza, tak, aby naruszona równowaga została napowrót przywrócona.

Dalszy proces oddychania znowby tę równowagę zakłócił, potem nastąpiłoby ponowne dążenie do jej przywrócenia i t. d.

Podobne, tylko w odwrotnym kierunku, biegna procesy wtedy, gdy twór roślinny, zawierający ciała zieleni, był wystawiony w powietrzu na światło. Tu z gazów rozpuszczonych z powietrza bezwodnik węglowy szybko by zniknął, będąc przerabianym w ciałkach zieleni na materję organiczną. Przy tej przeróbce przedewszystkiem oddziela się od niego tlen. Teraz zatem pierwotna równowaga między gazami, zaabsorbowanymi w tkance roślinnej z powietrza, a cząstkowym ciśnieniem tych gazów byłaby znowu za-

klócona, a dążenie do jej przywrócenia spowodowałyby musiało rozpuszczenie się nowej ilości bezwodnika węglowego i wydzielanie z tkanki do powietrza nadmiaru tlenu. Tak więc pobieranie i wogóle wymianę gazów między tworem roślinnym a powietrzem możemy pojmować, jako ciągłe dążenie do wyrównania równowagi między ilością gazów, rozpuszczonych w systemach koloidalnych, z których twór roślinny jest zbudowany, a cząstkowym ciśnieniem gazów w atmosferze ten twór otaczającej.

Ale w rzeczywistości ten mechanizm wymiany gazów jest daleko bardziej skomplikowany i to z różnych powodów. Przedewszystkiem przypuszczenie, że gazy atmosferyczne rozpuszczają się w systemach koloidalnych, z których rośliny są zbudowane, w takich samych ilościach jak w wodzie, jest zupełnie dowolne i niezawodnie nie odpowiada w pełni rzeczywistości. Zaznaczyliśmy już, że tkanki roślinne złożone są nie z jednego, ale z całego szeregu systemów koloidalnych i współczynniki rozpuszczalności gazów w stosunku do każdego z nich mogą być różne i dopiero zbadane być musiały. Dotąd wiemy pod tym względem bardzo mało i byłoby wdzięcznym, choć niełatwym zadaniem zebrać w tym względzie odpowiednie dane doświadczalne. Że istotnie współczynniki rozpuszczalności gazów w tkankach roślinnych są inne niż w wodzie, na to mamy dowody w obszernych studjach Maquenne'a i Demoussy'ego¹⁾ nad oddychaniem liści.

2. Doświadczenia Maquenne'a i Demoussy'ego.

W badaniu oddychania roślin a zwłaszcza w określaniu stosunku między ilością pochłoniętego tlenu, a wydzielonego bezwodnika węglowego, bardzo często posługiwano się taką metodą, że twór roślinny umieszczano w zamkniętej atmosferze, a po czasie przeznaczonym na doświadczenie, brano próbkę gazów z tej atmosfery, analizowano ją i obliczano stąd ilość pochłoniętego tlenu i wydzielonego bezwodnika węglowego (jeśli objętość zamkniętego z rośliną powietrza była znana), albo przynajmniej stosunek $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$ (jeśli objętości ogólnej ga-

¹⁾ Maquenne et Demoussy, Nouvelles recherches sur les échanges gazeux des plantes vertes avec l'atmosphère. Paris, 1913. Gautiers-Villars.

zów nie oznaczono). W tej metodzie nie liczone się z tem, że nie cała objętość wytworzonego podczas oddychania dwutlenku węgla znajduje się istotnie, na końcu doświadczenia, w powietrzu zamkniętem z tworem roślinnym, ale że część jego rozpuściła się w tkankach tego twor, dlatego znajdowano zawsze tą metodą stosunek $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$ mniejszy niż on jest w rzeczywistości.

Maquenne i Demussy starali się w swoich doświadczeniach nad oddychaniem liści ominąć to ważne źródło błędu. W tym celu posługiwali się dwiema odmiennymi metodami. Jedna z nich polegała na tem, że na końcu doświadczenia, autorowie przepompowywali do eudjometru zapomocą pompki rtęciowej całą ilość gazów z naczynia, w którym liść był zamknięty, aż do otrzymania w niem próżni i dopiero po tem te gazy analizowali. W ten sposób także i bezwodnik węglowy, rozpuszczony w tkankach liścia, został przepompowany do eudjometru i przed analizą dołączony do gazów, które w naczyniu liść otaczały. Druga metoda polegała na tem, że przez naczynko, w którym się liść znajdował, wielokrotnie przepychano powietrze zapomocą odpowiednio urządzonej pompki rtęciowej ssąco-tłoczącej, z szybkością stałą, dającą się dokładnie regulować.

Po upływie pewnego czasu (2—18 godzin) dochodziło do równowagi między ilością bezwodnika węglowego, tworzącego się podczas oddychania i ilością, wydzielającą się z tej jego części, która była zaabsorbowana w tkankach liścia. Gdy tę równowagę osiągnięto, stosunek $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$ znajdujący przez analizę w wypędzonej próbce gazu był już stały i odpowiadał prawdziwemu.

Trzecią metodą oznaczenia prawdziwego stosunku $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$ podczas oddychania jest ta, jaką się posługiwał autor niniejszej książki w swoich badaniach nad oddychaniem¹⁾. Ta metoda polega na tem, że w naczyniu zamkniętem, obok badanego twor roślinnego umieszcza się naczynko z wodzianem potasowym, pochłaniającym wytwarzany bezwodnik węglowy (patrz Tom I, str. 198). W tym wodzianie potasowym oznacza się na

¹⁾ E. Godlewski, Studja nad oddychaniem roślin. Pamiętnik Wydz. mat. przyr. Akad. Um. w Krakowie. T. VII, 1882. Str. 101—140.

końcu doświadczenia wagowo ilość CO_2 , podczas gdy ilość pochłoniętego przez twory roślinne tlenu oblicza się ze zmniejszenia się objętości gazów w naczyniu¹⁾.

Jeżeli którymkolwiek z tych trzech sposobów oznaczy się prawdziwy stosunek $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$ w oddychaniu roślin i w tych samych warunkach i w tej samej temperaturze oznaczy się pozorny stosunek $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$ z analizy próbki gazów, zamkniętych z tworem roślinnym znanej objętości w naczyniu o objętości dokładnie wymierzonej, to można z porównania tego prawdziwego stosunku $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$ z pozornym, obliczyć ilość gazów zaabsorbowanych przez twór roślinny, a więc oznaczyć współczynnik rozpuszczalności tych gazów w całości tworu roślinnego.

Nazwawszy prawdziwy stosunek $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$ przez m , pozorny przez μ , stosunek objętości tworu roślinnego do objętości naczynia przez δ , wreszcie szukany współczynnik absorbcyjny przez c , możemy ten współczynnik absorbcyjny obliczyć podług wzoru

$$\mu = \frac{m(1-\delta)}{1-\delta+c\delta}, \text{ z czego } c = \left(\frac{m}{\mu} - 1 \right) \left(\frac{1}{\delta} - 1 \right)$$

Z oznaczenia prawdziwego i pozornego stosunku $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$, dokonanego przez autorów w kilku różnych temperaturach dla liścia trzmieliny (*Evonymus japonica*) wypadają z obliczenia podług powyższego wzoru następujące współczynniki rozpuszczalności bezwodnika węglowego w tkankach tego liścia, obok których dla porównania podajemy odpowiednie współczynniki rozpuszczalności tego gazu w czystej wodzie.

c w tkankach liścia		c w wodzie	
W temperaturze 8°C.	. . . 2.11		1.28
„ 20°C.	. . . 1.75		0.90
„ 26°C.	. . . 1.55	w temp. 23°C	. 0.80
„ 35°C.	. . . 0.68	„ 37°C	. 0.57

¹⁾ Tę metodę uważają też Maquenne i Demoussy za zupełnie poprawną, tylko jej autorstwo mylnie przypisują Mayerowi i Wołkoffowi, którzy w swoich doświadczeniach nad oddychaniem kontentowali się oznaczaniem pochłaniania tlenu, a wydzielanego bezwodnika węglowego wcale nie oznaczali.

Widzimy, że tu wszędzie współczynnik absorpcji bezwodnika węglowego jest dla liścia znacznie większy niż dla wody.

Byłoby niezawodnie rzeczą bardzo pożądaną w sposób powyżej wskazany, czy inny, oznaczyć współczynniki absorpcji gazów, wchodzących w skład atmosfery, dla różnych tkanek roślinnych.

Ale baczycie musimy na to, że takie, jak powyższe, oznaczenie tych współczynników dać nam może tylko przeciętne liczby, na które składają się współczynniki absorpcyjne różne w odniesieniu do rozmaitych systemów koloidalnych, z jakich się składa badany twór roślinny i nie możemy wątpić, że wartości tych współczynników są dla tych systemów koloidalnych niejednakowe.

3. Możliwość spółudziału adsorpcji w zjawiskach wymiany gazów w roślinie.

We wszystkich powyższych wywodach wychodziliśmy z założenia, że prawa rozpuszczalności gazów w systemach koloidalnych, z których składają się tkanki roślinne, są w zasadzie takie same jak prawa rozpuszczalności tych gazów w cieczach, t. zn. że rozpuszczają się one w prostym stosunku do ich cząstkowego ciśnienia w otoczeniu rośliny. Atoli nie mamy doświadczalnych dowodów na to, że to założenie jest słuszne. Jest rzeczą więcej niż prawdopodobną, że w tym rozpuszczaniu gazów odgrywa także pewną rolę adsorpcja gazów przez cząstki fazy stałej systemu koloidalnego, rozpraszanej wśród fazy płynnej. Jeżeli tak jest istotnie, to przypuszczenie proporcjonalności rozpuszczających się gazów do ich cząstkowego ciśnienia nie byłoby w pełni uzasadnione i rozpuszczanie to odbywałoby się w tym przypadku podług innego, bardziej skomplikowanego prawa, któreby dopiero dla różnych tkanek roślinnych bliżej zbadać wypadało. Dalszą komplikacją w absorbowaniu gazów przez tkanki roślinne mogłoby być jeszcze to, że niektóre z tych gazów mogłyby się łączyć z pewnymi składnikami tkanek na łatwo dysocjujące się związki, tak jak w oddychaniu zwierząt tlen łączy się z hemoglobina na oksyhemoglobina. Ciekawe w tym względzie są spostrzeżenia Willstättera¹⁾, że roztwór alkoholowy chlorofilu ma taki

¹⁾ Willstätter und Stoll »Untersuchungen über die Assimilation der Kohlensäure«, Berlin 1918. Str. 226—309. Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft, Berlin 1917. Str. 1791—1797.

sam spólczynnik rozpuszczalności względem bezwodnika węglowego jak sam alkohol, ale koloidalny roztwór wodny chlorofilu ma ten spólczynnik większy niż czysta woda, tak że system koloidalny: woda + chlorofil, absorbuje bezwodnik węglowy silniej niż woda. Można by to było objaśnić przez adsorbowanie bezwodnika węglowego przez fazę stałą chlorofilu we wzmiankowanym systemie koloidalnym, ale możliwym jest także, że, jak chce Willstätter, bezwodnik węglowy wchodzi z chlorofilem w łatwo dysocjujący się związek.

4. Przedostawanie się gazów przez błony komórkowe.

Szczególnie ważne znaczenie w mechanizmie pobierania gazów przez roślinę musi mieć rozpuszczalność ich w błonach komórkowych, bo od tej rozpuszczalności zależy możliwość dostawiania się gazów do wnętrza komórek, t. j. do protoplazmy, w której zużytkowane zostają. Już badanie mikroskopowe błon okazuje, że niema w nich otworków, przez któreby gazy, jak przez jakąś porowatą przegrodę, mogły się przedostawać; przenikanie gazów przez błony komórkowe może się odbywać tylko tak, jak przez inne błony natury koloidalnej, np. przez błony z kauczuku, t. zn. tylko w ten sposób, że gazy rozpuszczają się w tych błonach i dopiero jako rozpuszczone dyfundują z nich do protoplazmy, rozdzielając się między błonę a protoplazmę, oraz między różne części tej ostatniej w stosunku do ich spólczynników rozpuszczalności w każdym z tych systemów koloidalnych. Że takim istotnie jest mechanizm przenikania gazów przez błony komórek roślinnych, to wynika nie tylko z rozważania ich koloidalnej budowy, ale i z bezpośrednich pomiarów szybkości przechodzenia różnych gazów przez te błony. Wiemy z fizyki, że szybkość przechodzenia różnych gazów przez jednolite błony koloidalne, np. przez błony kauczukowe, zasadniczo się różni od szybkości przechodzenia ich przez przegrody porowate. Przez te ostatnie przechodzą różne gazy w stosunku odwrotnym do pierwiastków kwadratowych z ich gęstości, przez pierwsze proporcjonalnie do wielkości $\frac{C}{\sqrt{d}}$, gdzie C jest spólczynnikiem rozpuszczalności gazu w błonie, a d jego gęstością. Na pierwszy

plan wysuwa się tu zatem nie gęstość danego gazu, a jego rozpuszczalność w błonie. Dlatego to, jak bardzo łatwo się przekonać, wodór przechodzi przez ściankę z porowatej gliny znacznie prędzej niż powietrze lub bezwodnik węglowy, natomiast przez cienką błonę kauczukową, lub przez pęcherz namoczony w wodzie, bezwodnik węglowy, choć cięższy, przechodzi, z powodu większej swej rozpuszczalności w takiej koloidalnej błonie, znacznie prędzej niż powietrze.

Otóż odpowiednimi doświadczeniami łatwo można się przekonać, że także przez błony komórek roślinnych w ich naturalnym stanie, t. j. w stanie przesiąkniętym wodą, bezwodnik węglowy łatwiej przechodzi niż wodór, wodór łatwiej niż tlen, tlen łatwiej niż azot, t. zn. że przechodzenie gazów mniej tu zależy od ich gęstości a daleko więcej od rozpuszczalności w błonach. Jako błony do takich doświadczeń używano najczęściej skórki liści różnych roślin, zwłaszcza ściągniętej ze strony liścia pozbawionej szparek. Jeżeli skórka jest ze szparkami, to te ostatnie można zatkać przez posmarowanie skórki żelatyną. Wyobraźmy sobie, że taką skórkę odpowiednio umontowaną umieściliśmy między dwoma cylindrami szklanymi, z których jeden napełniony jest wodorem, drugi bezwodnikiem węglowym. Na początku doświadczenia gazy w obu tych cylindrach, rozdzielonych badaną błoną, znajdowały się pod ciśnieniem jednej atmosfery, co uwidocznia założony w przyrządzie manometr. Gdy cały przyrząd zostawimy w spokoju, rozpoczyna się przenikanie wzajemne obu gazów przez skórkę, która je rozdziela, a wtenczas, o ile szybkość przenikania ich przez rozdzielającą cylindry skórkę jest niejednakowa, ciśnienie w jednym cylindrze się zwiększa w drugim zmniejsza, co rozpoznajemy po stanie manometru. Otóż doświadczenie pokazuje, że w tym cylindrze, który wypełniony jest bezwodnikiem węglowym, ciśnienie się zmniejsza, w tym który jest wypełniony wodorem zwiększa, co dowodzi, że skórka rozdzielająca te gazy łatwiej przepuszcza bezwodnik węglowy do wodoru, niż ten ostatni do bezwodnika węglowego; czyli, że błona komórek roślinnych łatwiej przepuszcza bezwodnik węglowy niż wodór. W podobny sposób można się przekonać, że jeszcze większa różnica w szybkości przenikania przez błonę roślinną istnieje między bezwodnikiem węglowym a tlenem, a największa między bezwodnikiem węglowym a azotem.

Absolutną szybkość przenikania różnych gazów przez błonę



roślinną, w danym przypadku przez skórę, można było wymierzyć w ten sposób, że do cylindra, wypełnionego danym gazem (np. wodorem, tlenem, azotem), który miał się przez błonę mieszać z bezwodnikiem węglowym drugiego cylindra, stawiano małe naczynko z wodzianem potasowym, wskutek czego bezwodnik węglowy wnikał do niego był natychmiast pochłaniany, tak, że ubytku tego gazu z cylindra nie kompensowało i manometr z nim złączony okazywał niższą ciśnień, odpowiadającą dokładnie ilości tego gazu jaki z cylindra przenikał przez błonę. Jeżeli objętość cylindra i powierzchnia błony, przez którą odbywało się przenikanie gazu były dokładnie wymierzone, to ze stanu manometru można było zupełnie dokładnie obliczyć, wiele gazu w ciągu jednostki czasu przenikało przez jednostkę powierzchni błony. Zapomocą takich doświadczeń znalazł np. Mangin¹⁾, że szybkość przechodzenia bezwodnika węglowego, wodoru, tlenu i azotu przez skórę bluszczu miały się do siebie jak 1:0.36:0.18:0.09, że zatem bezwodnik węglowy mimo swej wielkiej gęstości przenikał przez błonę roślinną prawie trzy razy prędzej niż wodór, przeszło pięć razy prędzej niż tlen, a jedynaście razy prędzej niż azot.

Co do absolutnej szybkości przenikania gazów przez błonę, to doświadczenia wykazały, że jest ona dla tego samego gazu bardzo różna, zależnie od natury błony. Tak np. Mangin znalazł metodami wyżej wskazanymi, że w ciągu jednej godziny przechodziło bezwodnika węglowego przez 1 cm² powierzchni skórki:

z górnej powierzchni liścia ostrokrzewu (<i>Ilex aquifolium</i>)	0.005 cm ³
z dolnej powierzchni „ „ „	0.009 „
z górnej powierzchni liścia jabłoni	0.053 „
z dolnej „ „ „	0.305 „
z liścia rdestnicy (<i>Potamogeton perfoliatus</i>)	1.234 „
z „ podwodnego strzałki wodnej (<i>Sagittaria sagittifolia</i>)	2.241 „

Te olbrzymie różnice w przenikliwości skórki różnych roślin dla gazów zależą przedewszystkiem, jak wykazuje obserwacja mikroskopowa, od stopnia rozwinięcia kutikuli na skórcie.

U roślin wodnych naskórek jest bardzo słabo rozwinięty a bło-

¹⁾ Mangin »Recherches sur la penetration et la sortie des gaz dans les plantes«. Annales des Sciences agronomiques françaises et étrangères. 1888.

ny są łatwo przenikliwe dla wody a także i dla gazów; im silniejszy jest rozwój naskórka, t. j. im grubsze są zewnętrzne błony skórki i im bardziej ich zewnętrzne warstwy są skutikularyzowane t. j. przesiąknięte woskami i łożami, tem trudniej są przenikliwe tak dla wody, jak i dla gazów. To też silnie skutikularyzowana skórka liścia ostrokrzewu (*Ilex*) jest przeszło 400 razy trudniej przenikliwa dla bezwodnika węglowego, niż skórka podwodnego liścia strzałki wodnej (*Sagittaria*). Że nader mała przenikliwość skórki ostrokrzewu dla bezwodnika węglowego pochodzi z jego napojenia woskami i łożami, udowodnił Mangin jeszcze przez to, że gdy tę skórkę traktował przed jej użyciem do doświadczenia alkoholem i benzyną, co ją pozabawiało wosków i łożów, to jej przenikliwość dla kwasu węglowego prawie stokrotnie się zwiększała.

Z tych danych wolno nam wnosić, że błony komórkowe złożone z czystej celulozy są dla gazów łatwo przenikliwe; błony skutikularyzowane i jak doświadczenia wykazują, także skorowaciałe, bardzo trudno. Przenikliwość dla gazów błon komórkowych, złożonych z czystego błonnika, jest ściśle związana z ich stanem dwufazowym t. j. z zawartością w nich wody, bo jak wykazali Wiesner i Litzman zmniejsza się bardzo, gdy błony wysychają, jednakże mało to wchodzi w rachubę, gdyż w grę wchodzi tu tylko komórki żyjące, które z natury rzeczy są wodą przesiąknięte.

5. Konieczność wewnętrznej atmosfery dla pobierania gazów.

Wiemy, że łodygi i liście roślin lądowych są pokryte skórka o zewnętrznych ściankach z mniej lub więcej silnie rozwiniętym naskórkiem, natomiast korzenie wszystkich roślin, oraz łodygi i liście roślin wodnych, mają skórę o ściankach złożonych prawie z czystej celulozy, która jest dla gazów łatwo przenikliwa. Atoli jakkolwiek by była przenikliwość błon skórki dla gazów, to pobieranie ich przez samą tylko skórę, jako jedyną tkankę bezpośrednio stykającą się z otaczającą atmosferą, nie mogłoby roślinie wystarczyć. W tym przypadku pobieranie gazów musiałoby się odbywać tak samo, jak np. stopniowe wysycanie się powietrzem wody wygotowanej, umieszczonej w naczyniu w zetknięciu z powietrzem. To wysycanie następuje oczywiście w ten sposób, że gazy rozpuszczają się w powierz-

chownej warstwie wody w stosunku do ich współczynników rozpuszczalności, a stykając się potem z warstwami jeszcze wcale nie zawierającymi gazów, do nich dyfundują i stopniowo dochodzą aż do warstw położonych na samym dnie naczynia; oczywiście to pociąga za sobą ubożenie w gazy warstwy powierzchniowej, nowe rozpuszczanie się w niej gazów, ich dyfuzję do warstw głębszych i t. d. aż póki cała masa wody nie wysyci się gazami i nie dojdzie do równowagi z ich cząstkowym ciśnieniem w atmosferze. Tak samo zupełnie gazy, które przedostały się przez błonę skórki i rozpuściły w jej protoplazmie i soku komórkowym, mogą stąd przenikać do warstw komórek coraz to głębiej leżących i stopniowo je nasycać, dążąc do równowagi z cząstkowym ciśnieniem tych gazów w atmosferze. Ale zarówno w owym naczyniu z wodą, jak i w tkankach roślinnych wyrównanie owej równowagi przez dyfuzję wymaga długiego czasu, gdyż dyfuzja gazów od jednej warstwy do drugiej odbywa się stosunkowo bardzo powoli i dlatego ilość gazów, jakaby w ten sposób mogła się przez skórkę dostać do komórek w głębi położonych, byłaby zbyt małą i nie wystarczyłaby ani w części do pokrycia ich zapotrzebowania dla procesów życiowych. To dotyczy zarówno tlenu, niezbędnego dla oddychania każdej żyjącej komórki, jak bezwodnika węglowego, służącego za materiał do tworzenia materji organicznej; tego ostatniego tembardziej, że jego ilość w powietrzu jest bardzo mała, a liście w których przeróbka się odbywa, pokryte są skórką o ściankach zewnętrznych mocno skutikularyzowanych i dlatego dla gazów mało przepuszczalnych.

Te dwa powody t. j. powolność dyfuzji gazów i trudna dla nich przepuszczalność skutikularyzowanych błon komórkowych skórki, czynią koniecznymi inne jeszcze urządzenia w budowie roślin dla doprowadzenia gazów do komórek, które ich potrzebują. Jak już mówiliśmy w rozdziale o badaniu wpływu tkanek na czynności życiowe (T. I, str. 50), te urządzenia polegają na rozwinięciu całego systemu przestworów międzykomórkowych w wewnętrznych tkankach rośliny. Przestwory te przez szparki i soczewki komunikują się z powietrzem zewnętrznej atmosfery. W ten sposób komórki położone w głębi organów roślinnych nie są zdane wyłącznie na skąpe doprowadzanie im przez powolną dyfuzję gazów zaabsorbowanych z powietrza zewnętrznego przez komórki skórki, ale mogą je jeszcze same pobie-

rać z powietrza krążącego w przestworach międzykomórkowych, z którymi się stykają bezpośrednio przynajmniej na pewnej niewielkiej części powierzchni swych ścianek. Że takie bezpośrednie doprowadzanie gazów do komórek, leżących w głębi tkanek, jest nawet tam potrzebne, gdzie błony skórki nie są skutikularyzowane i są łatwo dla gazów przenikliwe, widzimy stąd, że takie przestwory międzykomórkowe znajdują się nietylko w tkankach łądyg i liści, ale także w korze i rdzeniu korzeni, choć tu skórka łatwo wodę i gazy przepuszcza. Ponieważ w skórcie korzenia szparek niema wcale, niema też i bezpośredniej komunikacji między gazami, znajdującymi się w ich przestworach międzykomórkowych a powietrzem zewnętrznej atmosfery, wobec tego trzeba przyjąć, że gazy nagromadzone w tych przestworach musiały się tu dostać przez skórę. Krążenie zatem gazów w korzeniach musimy sobie wyobrazić w ten sposób, że komórki skórki korzeniowej w zwykły sposób, przez absorpcję, rozpuszczają w sobie gazy z powietrza, znajdującego się między cząsteczkami ziemi, a także częściowo biorą te gazy już w stanie rozpuszczonym w wodzie, a potem, także w myśl praw absorpcji gazów, wydzielają część ich do stykających się z nimi przestworów międzykomórkowych kory korzeniowej, część zaś oddają bezpośrednio przez dyfuzję komórkom tej kory. W ten sposób komórki głębiej położone kory korzeniowej łatwiej otrzymują potrzebny do ich oddychania tlen, aniżeli by to było możliwe w nieobecności przestworów międzykomórkowych, kiedyby ten tlen mógł im być doprowadzany od skórki wyłącznie drogą osmozy, od komórki do komórki.

To samo co o pobieraniu tlenu, da się też powiedzieć o wydzielaniu bezwodnika węglowego, będącego produktem oddychania.

Zupełnie podobnie jak z pobieraniem gazów przez korzenie roślinne, ma się także rzecz z pobieraniem ich przez łądygi i liście roślin wodnych, różnica jest tylko ta, że te narządy nie stykają się wcale z powietrzem gazowym, wobec czego gazy mogą tu być pobierane przez komórki skórki jedynie przez dyfuzję osmotyczną z otaczającej wody, w której są zawsze rozpuszczone. Zasługuje na uwagę, że przestwory międzykomórkowe są tu o wiele silniej rozwinięte aniżeli w korzeniach, co pozostaje w ścisłym związku z ich przeznaczeniem.

6. Krążenie gazów u roślin wodnych podczas pobierania bezwodnika węglowego.

Jak wiemy, najważniejszą funkcją życiową zielonych pędów rośliny jest tworzenie materji organicznej z bezwodnika węglowego i wody, pobieranych z otoczenia, z odczepieniem od nich tlenu. Mówiliśmy już dawniej, że z każdej cząsteczki bezwodnika węglowego i wody odczepia się jedna cząsteczka tlenu. Ponieważ bezwodnik węglowy jest przeszło trzydzieści razy łatwiej rozpuszczalny w wodzie niż tlen, przeto jego dyfuzja osmotyczna przebiega o wiele szybciej niż dyfuzja osmotyczna tlenu. Jeżeli tedy roślina wodna pogrążona w wodzie, zawierającej dość bezwodnika węglowego, jest wystawiona na światło, przyczem bezwodnik węglowy, dopływający do zielonych komórek przez osmozę, jest szybko przerabiany z odczepianiem od niego równej mu liczby drobin tlenu, to treść zielonych komórek rychło się tym wolno dyfundującym tlenem przesyca, a wtedy musi następować częściowe wydzielanie się jego w stanie gazowym, tak samo, jak następuje wydzielanie baniek bezwodnika węglowego z wylanej z syfonu do szklanki wody sodowej, albo z fermentującego piwa. Otóż silne rozwinięcie przestworów międzykomórkowych w tkankach roślin wodnych znakomicie ułatwia to wydzielanie się tlenu z zielonych komórek, bo ten tlen, którym komórki zielone są na świetle przesycone, szybko się wydziela w stanie gazowym do przestworów międzykomórkowych, do których te komórki przytykają. Ponieważ te przestwory nie mają takiego naturalnego ujścia na zewnątrz, jakim w częściach nadziemnych są szparki, to następstwem tego wydzielania się do nich gazowego tlenu musi być zwiększenie się w nich ogólnego ciśnienia gazów, które doprowadza do tego, że z miejsc, na których skórka jest przypadkowo uszkodzona, lub umyślnie nakłóta, te gazy z rośliny wystawionej na światło wydobywają się strumieniem pęcherzyków przez wodę na zewnątrz. To zjawisko dowodzi, że w przestworach międzykomórkowych rośliny wodnej, wystawionej na światło, ciśnienie gazów jest znacznie większe od atmosferycznego. Te gazy, wydzielające się z naświetlonych roślin wodnych, możemy łatwo zebrać nad wodą i przez zanurzenie w nich tlejącego łuczywka przekonać się, że są one bardzo bogate w tlen. Czy jednak bywają one kiedy czystym tlenem? Nie; ile razy bowiem takie gazy analizowano, znajdo-

wano w nich zawsze obok tlenu także azot, a jeżeli woda, w której roślina się znajdowała, zawierała dużo bezwodnika węglowego, to i bezwodnik węglowy. Jest to rzecz zupełnie naturalna i z praw absorpcji i dyfuzji gazów dająca się z góry przewidzieć¹⁾. Bo uważmy tylko, że w każdej wodzie stykającej się z powietrzem muszą się znajdować rozpuszczone wszystkie trzy jego gazy t. j. tlen, azot i bezwodnik węglowy i wszystkie też przez osmotyczną dyfuzję dostawać się muszą do skórki i dalej do zielonych komórek. Potem nastąpić musi dążenie do ustalenia równowagi między gazami rozpuszczonymi w komórkach, a cząstkowym ciśnieniem każdego z nich w przestworach międzykomórkowych, przytykających do tych komórek. Gdy wskutek przeróbki bezwodnika węglowego w zielonych komórkach, przesycają się one tlenem, wtedy wydzielają go one do przestworów międzykomórkowych, to powoduje zwiększenie ciśnienia gazów w tych przestworach i wypchnięcie pewnej ich ilości do otaczającej wody w postaci strumienia baniek. Z temi gazami wypchnięta też będzie część azotu, wskutek czego równowaga między jego cząstkowym ciśnieniem w przestworach, a ilością rozpuszczoną w otaczającej wodzie, zostanie naruszona, tak że nowa ilość azotu rozpuszczonego w tej wodzie będzie musiała dyfundować do tych przestworów, a gdy wskutek dopływu tlenu, pochodzącego z rozkładu bezwodnika węglowego, znów pewna ilość gazu zostaje wypchnięta, to następstwem tego będzie nowa dyfuzja i t. d. tak że z konieczności, w myśl praw absorpcji i dyfuzji gazów, do gazów zbierających się w przestworach międzykomórkowych i z nich wypychanych, ciągle domieszywać się będzie azot dyfundujący do nich z wody.

Czy do tych gazów bezwodnik węglowy także się domiesza, to będzie zależało z jednej strony od jego ilości w wodzie, z drugiej od szybkości, z jaką on będzie rozkładany w zielonych komórkach. Gdy dopływ bezwodnika węglowego do zielonych komórek będzie przeważał nad szybkością jego rozkładu, to część jego będzie z tych komórek dyfundowała do przestworów międzykomórkowych i z nich wraz z innymi gazami będzie w postaci pęcherzyków wydalana, jeżeli zaś dopływający do zielonych komórek bezwodnik węglowy będzie w ca-

¹⁾ Por. E. Godlewski, o metodzie oznaczania szybkości przyswajania za pomocą obliczania pęcherzyków gazowych, Rozpr. Akad. Umiej. T. I, 1874. Str. 210-246.

łości i szybko rozkładany, to gazy, wydzielające się w postaci pęcherzyków, wcale go nie będą zawierały. Z góry także da się na mocy praw dyfuzji przewidzieć, że stosunek azotu do tlenu w gazach, wydzielanych przez naświetlone rośliny, nie zawsze będzie jednakowy. Bo przyjmując, że ilość azotu rozpuszczonego w wodzie, w której umieszczona jest roślina na świetle, jest stałą, to jasną jest rzeczą, że jeżeli w silnym świetle ta sama ilość bezwodnika węglowego będzie rozłożona w ciągu krótszego czasu, niż w świetle słabszym, to w dążeniu do wyrównania równowagi, w pierwszym przypadku mniej azotu zdoła się przez dyfuzję domieszać do wytworzonego tlenu niż w drugim i dlatego spodziewać się można, że im powolniejszym jest rozkład bezwodnika węglowego, tem wydzielany przez ten rozkład tlen pomieszany będzie z większą ilością azotu.

Oczywiście, że takie teoretyczne dedukcje mogą i powinny być sprawdzane bezpośrednio doświadczeniem. Zrobił to np. Kniep w bardzo cennej, przed kilkunastu laty ogłoszonej pracy¹⁾ analizując gazy wydzielane przez moczarkę w silniejszym lub słabszym świetle. Analizy wykonywał za pomocą aparatu Krogha, w którym wystarcza do analizy 3—6 m/m³ gazu. Te analizy dały np. następujące rezultaty.

Światło silne, 20 pęcherzyków	wydziela się w ciągu 5.2"
	gaz zawierał 54.4% tlenu,
„ nieco słabsze, 20 pęcherz.	wydziela się w ciągu 7.0"
	gaz zawierał 49.5% tlenu,
„ znacznie słabsze, 20 pęcherz.	wydziela się w ciągu 14.7"
	gaz zawierał 36.6% tlenu,
„ jeszcze słabsze, 20 pęcherz.	wydziela się w ciągu 93.2"
	gaz zawierał 27.9% tlenu.

Widzimy więc, że zgodnie z przewidywaniem, im słabsze było światło i co zatem idzie, im powolniejszy rozkład kwasu węglowego, tem gazy wydzielane przez roślinę zawierały mniej tlenu.

Mówiliśmy już dawniej, że w badaniu wpływu czynników zewnętrznych na przeróbkę kwasu węglowego na materję organiczną u wodnych roślin, posiłkujemy się liczeniem pęcherzyków, wydzielających się z przekroju rośliny, przyjmując ich

¹⁾ Kniep: »Uber Gasaustausch der Wasserpflanzen« Jahrb. für wissenschaftliche Botanik. T. 56. 1915. Str. 460.

liczbę za miarę szybkości rozkładu kwasu węglowego. Z powyższych rozważań i analiz widzimy, że ta metoda nie jest ścisłą, bo liczba pęcherzyków nie jest dokładnie proporcjonalną do ilości wydzielanego przez roślinę tlenu i tembardziej za wielką, im wolniej się odbywa to wydzielanie pęcherzyków. Wogóle powiedzieć trzeba, że przy stosowaniu tej, tak bardzo dogodnej, łatwej i często używanej metody w badaniu asymilacji, trzeba zachować wielką ostrożność i mieć trwale w pamięci prawa absorpcji i dyfuzji gazów w płynach, które to prawa rządzą wydzielaniem gazu przez wodne rośliny. Bacząc na te prawa możemy np. zgóry powiedzieć, że metoda liczenia pęcherzyków mało się nadaje do badania wpływu temperatury na asymilację kwasu węglowego. Mniejsze znaczenie ma tu okoliczność, że ze względu na znaczny współczynnik termicznej rozszerzalności gazów, na tę samą ilość wytworzonego tlenu, będzie się tem więcej wydzielało pęcherzyków, im wyższą jest temperatura, bo to możnaby skorygować przez dzielenie każdorazowej liczby pęcherzyków przez $1 + 0.00366 t$, ale ważniejszymi i trudniejszymi do oceny i poprawienia byłyby błędy pochodzące z wpływu temperatury na absorpcję i dyfuzję gazów. Każde podwyższenie temperatury, zmniejszając rozpuszczalność gazów w wodzie i soku komórkowym, powodowałoby wypychanie ich do przestworów międzykomórkowych, nie mające nic wspólnego z rozkładem kwasu węglowego, i byłoby źródłem błędu, którego wielkość trudną by była do oceny.

Z praw dyfuzji gazów wynika także, że brak wydzielania pęcherzyków, w pewnych warunkach, z wodnej rośliny nie przesądza bynajmniej o tem, że rozkład kwasu węglowego nie odbywa się w niej wcale, mówi on tylko tyle, że rozkład ten nie jest dość wielki, aby tworzący się przytem tlen mógł wydzielać się z rośliny przez samą dyfuzję, bo pamiętać musimy, że do przestworów międzykomórkowych wydziela się tylko ten nadmiar tlenu, który się wytwarza w komórkach zielonych, a z powodu małej stosunkowo jego rozpuszczalności w wodzie, a tem samem małej szybkości dyfuzji osmotycznej, nie może nadażyć wydostać się przez osmozę do otaczającej wody. Oczywiście, że im otaczająca woda mniej jest tlenem nasycona, im niższą też jest jej temperatura, tem dyfuzja osmotyczna szybciej następuje, tem mniejszym jest też nadmiar, który dostaje się do przestworów a stamtąd wydziela w postaci pęcherzyków. Także i to osmotyczne dyfundowanie tlenu do otaczającej wody

daje się nie tylko teoretycznie wydedukować, ale i doświadczać nie udowodnić, przez miareczkowanie tlenu metodą Winklera w wodzie niezupełnie powietrzem nasyconej przed i po trzymaniu jej w słabym świetle z rośliną wodną. Przybytek tlenu dowodzi, że go roślina w wodzie drogą osmotyczną dostarczała.

Z drugiej strony wydzielanie pęcherzyków gazowych z rośliny w pewnych warunkach niekoniecznie dowodzi odbywającego się w niej równocześnie rozkładu kwasu węglowego. Jeżeli woda, w której roślina jest wystawiona na światło, nie jest do zbytku nasycona gazami, to po zaciemnieniu rośliny choćby tylko przez zasłonięcie jej od strony światła czarnym papierem, wydzielanie pęcherzyków natychmiastowo ustaje. Inaczej gdy woda jest mocno wysycona gazami; w tym przypadku nawet po zupełnym zaciemnieniu rośliny dotąd na światło wystawionej, pęcherzyki gazu jeszcze się z niej czas jakiś wydobywają, tylko w zwolnionem tempie. Nie można wątpić, że po zaciemnieniu rośliny rozkład kwasu węglowego już się w niej nie odbywa, a wydzielanie pęcherzyków trzeba przypisać jedynie dalszemu trwaniu procesów dyfuzyjnych między gazami rozpuszczonemi w wodzie, a znajdującemi się w przestworach międzykomórkowych. Te ostatnie, w chwili zaciemnienia rośliny, składały się w znacznej części z tlenu, dlatego po zaciemnieniu przenikają do nich rozpuszczone w wodzie azot i bezwodnik węglowy, a zwiększając ogólne ciśnienie gazów w przestworach międzykomórkowych, wypychają je w postaci pęcherzyków na zewnątrz. Wydzielanie pęcherzyków w ciemności trwać tu może oczywiście tylko tak długo, póki cząstkowe ciśnienie gazów w przestworach międzykomórkowych nie zbliży się na tyle do równowagi z gazami rozpuszczonemi w wodzie, że ostateczne jej wyrównanie będzie się już mogło dokonać przez dyfuzję osmotyczną. To zwiększanie się ciśnienia gazów w przestworach międzykomórkowych w ciemności, następuje oczywiście jedynie pod wpływem procesów dyfuzyjnych, ale warunki do niego stworzyły procesy chemiczne, mianowicie rozkład kwasu węglowego, jaki miał miejsce wtedy jeszcze, gdy roślina była na światło wystawiona.

7. Krążenie gazów niezależne od asymilacji, a uzależnione jedynie od procesów dyfuzyjnych.

Po za zjawiskami opisanemi, znamy przykłady znacznego zwiększenia się ciśnienia gazów w przestworach międzykomórkowych i wydzielania pęcherzyków przez wodę zupełnie niez-

leżne od jakichbądź procesów chemicznych, a będące następstwem procesów dyfuzyjnych, wywołanych przez energję zjawisk o naturze czysto fizycznej. Najciekawszy taki przykład spotykamy w liściach lotosu (*Nelumbium nucifera*). Liście tej rośliny, podobnie jak i innych grzybieniowatych, są osadzone na długich ogonkach, tylko ich blaszki nie są płaskie w całości, ale pośrodku mają czarkowate wgłębienia. W tem wgłębieniu zbiera się nieraz woda z opadów atmosferycznych. Jeżeli w dzień słoneczny przypatrywać się wodzie zebranej w tych wgłębieniach, choćby umyślnie nalanej, to widzieć można, jak z dna tego wgłębienia wydobywa się czasem taka masa pęcherzyków gazowych, że niemal się wydaje jakby woda się gotowała. Te gazy dają się bez trudu zbierać nad wodą, nawet w znacznej ilości. Ponieważ wydzielają się one przedewszystkiem wtenczas, kiedy liść jest wystawiony na silną operację słońca, mogłoby się здаwać, że pochodzą, tak jak u roślin podwodnych, z rozkładu kwasu węglowego. Gdyby tak być miało to musiałyby one być bogatsze w tlen niż powietrze atmosferyczne. Tymczasem Ohno¹⁾, który takie gazy analizował, znalazł, że skład ich jest zupełnie identyczny ze składem powietrza atmosferycznego, co dowodzi, że ich wydzielanie niema nic wspólnego z asymilacją kwasu węglowego, ale jest następstwem procesów dyfuzyjnych czysto fizycznych, zwiększających ciśnienie gazów w przestworach międzykomórkowych liścia, zaczem przemawia także bardzo wielka ilość tych gazów jaka może przez taki liść przepływać. Nawet na odciętych i ogonkiem wstawionych do wody liściach można to zjawisko obserwować²⁾. Jeżeli ogonek odciętego liścia umocować szczelnie w rurce *U* napełnionej do połowy wodą i blaszkę wystawić na światło, to w drugim ramieniu tej rurki woda podniesie się na kilka centymetrów³⁾, co znowu świadczy o powstawaniu dodatniego ciśnienia w przestworach międzykomórkowych liścia, wystawionego na słońce. Skoro to zjawisko niema nic wspólnego z asymilacją, to można przypuścić, że słońce działa tu nie jako czynnik świetlny, ale jako rozgrzewający; jeżeli tak, to promienie słońca powinny by się dać zastąpić jakimś ciemnym źródłem ciepła promie-

¹ Ohno. »Über lebhafte Gasausscheidung aus den Blättern von *Nelumbo nucifera*« Zeitschrift für Botanik. Tom 2, 1910. Str. 641-664.

²⁾ l. c. S. 652.

³⁾ l. c. S. 649.

nistego. Doświadczenie potwierdza w zupełności to przypuszczenie. Oh n o umieścił obcięty liść lotosu w czarce krystalizacyjnej z wodą i do wgłębienia blaszki liściowej nalał nieco wody. Pęcherzyki na razie nie wydzielają się wcale, ale rychło zaczęły występować, jeżeli umieszczono w odległości 3,5 cm. ponad liściem, naczynie blaszane z wodą o temperaturze 60°C^1).

Tu zatem ciepło promieniujące od tego naczynia wywoływało wydzielanie się pęcherzyków, a więc zwiększanie się ciśnienia gazów w przestworach liścia. To zwiększanie się ciśnienia nie było spowodowane samem rozszerzaniem się tego powietrza pod wpływem jego rozgrzania, bo wówczas wydzielanie pęcherzyków byłoby tylko chwilowe, tymczasem trwało ono bardzo długo. Gdzież więc leży jego przyczyna? Jasne światło na to pytanie rzuca fakt, że gdy nad liściem umieszczono lejek, albo klosz, zwłaszcza wyłożony wilgotną bibułą, to bardzo rychło ciśnienie w przestworkach międzykomórkowych wyrównywało się z zewnętrznym i wydzielanie pęcherzyków z dna wgłębienia liściowego, przez wodę w niem się znajdującą ustawało. Natomiast ciśnienie w przestworach wzrasta nietylko przez ogrzanie liścia, ale i przez to wszystko co zwiększa parowanie, a więc przez ruch powietrza ponad liściem, wstrząsanie nim i t. p. Powyżej zatem omawiane procesy dyfuzyjne, zwiększające ciśnienie w przestworach międzykomórkowych liści i ogonków liściowych lotosu, są w jaknajściślejszej zależności od parowania jego liści, ustają z zahamowaniem parowania, zwiększają się z jego zwiększeniem. Jakże się to da mechanicznie objaśnić? Oh n o daje objaśnienie nietylko zupełnie poprawne, ale dające się udowodnić doświadczalnie, przez naśladowanie tego, co się dzieje w liściu lotosu na bardzo prostym, martwym przyrządzie. Objaśnienia Oh n o jest następujące: Jeżeli temperatura liścia i zewnętrznego powietrza jest jednakowa, a wilgotność powietrza zbliżona do nasycenia, tak że parowania prawie niema, wtedy, jeżeli niema zmian w składzie gazów wskutek procesów chemicznych, przychodzi rychło na podstawie dyfuzji przez szparki do wyrównania składu i ciśnienia gazów w przestworach międzykomórkowych i powietrzu zewnętrznym. To ciśnienie tu i tam składa się: z cząstkowego ciśnienia powietrza a raczej zawartych w niem tlenu i azotu (CO_2 jako znajdujący się w bardzo małej ilości pomijamy) i z prężności pary wodnej, Jeżeli ciśnienie powietrza w przestworach oznaczymy przez P' ,

¹⁾ l. c S. 652.

w powietrzu zewnętrznym przez P , prężność pary wodnej w przestworach przez W' , w powietrzu zewnętrznym przez W , to po ustaleniu równowagi będzie $P' = P$, $W' = W$ i ogólne ciśnienie $P' + W' = P + W$. Ale jeżeli powietrze zewnętrzne nie będzie parą wodną nasycone, to ponieważ powietrze w przestworach międzykomórkowych wskutek parowania komórek wśród liścia rychło wysyci się parą wodną, to będzie $W' > W$, a choć P' będzie dalej $= P$ to $P' + W'$ będzie większe od $P + W$. O ile ta przewyżka będzie nieznaczna, to będzie się wyrównywała przez dyfuzję pary wodnej z przestworów przez szparki zewnętrzne, ale o ile przewyżka będzie znaczniejszą, bądź to wskutek znacznej suchości powietrza zewnętrznego, t.j. zmniejszenia się W , bądź wskutek zwiększenia się prężności pary wodnej w tkankach t.j. zwiększenia W' , a następnie rozgrzania się liścia od słońca, lub choćby ciemnego ciepła promienistego, to ogólne ciśnienie $P' + W'$ stanie się o tyle większe od $P + W$, że nastąpi masowe wydalenie wilgotnego powietrza z przestworów międzykomórkowych przez szparki górnej powierzchni blaszki liściowej. Gdy część tych szparek będzie pod wodą (np. jeżeli do środkowego wgłębienia liścia nalejemy wody), to powietrze będzie się ze szparek wydzielało w postaci pęcherzyków. Ale przez wydalenie w ten sposób części powietrza z przestworów międzykomórkowych cząstkowe jego ciśnienie stanie się w nich teraz mniejsze niż w powietrzu zewnętrznym, czego następstwem będzie dyfundowanie tych gazów z zewnątrz do przestworów międzykomórkowych. Gdy parowanie nagranych liści trwa ciągle w stanie wzmożonym, to $P' + W'$ przeważa nieustannie nad $P + W$ i powodować musi stale wypychanie masowe powietrza przez szparki, a temsamem w szparkach nakrytych wodą ciągle trwanie wydzielania pęcherzyków. W ten sposób, o ile trwają warunki silnego parowania, ma miejsce nieustanny przepływ powietrza zewnętrznego przez szparki do przestworów międzykomórkowych, jako następstwo zmniejszonego w nich cząstkowego ciśnienia tlenu i azotu i wypływ całego wilgotnego powietrza przez szparki, jako następstwo wzmożonego ogólnego ciśnienia gazów w przestworach wskutek znacznej przewyżki W' nad W . Jeżeli przez nakrycie liścia lejkiem, czy wilgotnym kloszem, powiększy się W i wielkość $W' - W$ zmniejszy się wskutek tego, tak, że ogólne ciśnienie $P' + W'$ nie będzie już tak bardzo przeważać nad $P + W$, aby następowało masowe wypychanie gazów, to pęche-

rzyki przestaną się wydzielać. Że takie objaśnienie tego niezmiernie ciekawego zjawiska, jakie obserwowano u lotosu, jest w najwyższym stopniu prawdopodobne, dowodem to, że w bardzo prosty sposób możemy to zjawisko sztucznie naśladować. Weźmy małą komórkę z porowatej gliny, (jakie są używane do ogniw galwanicznych) mającą 25—30 cm³ objętości, nakładźmy do niej kulek z bibuły zmaczanych w wodzie, zatkajmy korkiem kauczukowym, w którego otworze tkwi szklana rurka przewodnią do odprowadzania gazów, i zakrzywiony koniec tejże zanurzymy w wodzie. Jeżeli teraz tak zestawioną komórkę glinianą będziemy ogrzewali palnikiem Bunzena, to oczywiście rozszerzające się w niej powietrze wydobywać się będzie z rurki przewodniej przez wodę, a gazy te będziemy mogli nad wodą zbierać. Gdyby przez ogrzewanie komórki wypędzano się tylko powietrze, które się w niej na początku znajdowało, to z komórki o objętości 25—30 cm³ moglibyśmy zebrać nad wodą co najwyżej dwadzieścia kilka cm³, tymczasem widzimy, że wydzielanie gazów z rurki przewodniej trwa dalej bez przerwy, nawet wtedy, gdyśmy już zebrali 100 i więcej cm³, oczywiście zatem powietrze wraz z parą wodną, wypychane przez ogrzewanie komórki glinianej ponad wodę, musiało być ciągle zastępowane świeżym, przenikającym z atmosfery przez porowate ściany komórki. Z chwilą, gdy bibuła umieszczona w komórce glinianej już zupełnie wyschnie, parowanie wody, a z niem także i napływ powietrza zewnętrznego do komórki glinianej, ustaje i gazy przestają się wydzielać z rurki przewodniej.

Takie same procesy dyfuzyjne jak w liściach lotosu znajdowano także w liściach innych roślin grzybieniowatych. Ursprung¹⁾ obserwował je np. choć mniej wydatnie u grzybienii i nenufara żółtego (*Nymphaea* i u *Nuphar*) i przekonał się, że i tu tak samo jak u lotosu są one ściśle związane z transpiracją liści. Nie można wątpić, że te zjawiska mają też fizjologiczne znaczenie, gdyż zwiększenie ciśnienia, jakie one wywołują w powietrzu przestworów międzykomórkowych, ułatwia doprowadzenie powietrza zaczerpniętego przez szparki liści z atmosfery nie tylko do ogonków liściowych, ale i do kłaczy i korzeni pogrążonych w szlamie dna wód, jakie te rośliny zamieszkują.

Jeżeli u roślin wodnych ciśnienie gazów w przestworach międzykomórkowych bywa w ciągu dnia często wyższe od at-

¹⁾ Ursprung. »Zur Kenntnis der Gasdiffusion in den Pflanzen«. Flora, T 104. 1913.

mosferycznego i doprowadza do wydzielania się gazów w postaci pęcherzyków, szczególnie w następstwie rozkładu kwasu węglowego, to odwrotnie znowu zdarza się, że w nocy schodzi poniżej ciśnienia atmosferycznego, gdy tlen się zużywa i bezwodnik węglowy wytwarza się jako produkt oddychania. Znowu nietrudno jest zdać sobie sprawę z przyczyn tego zjawiska, pamiętając zawsze, że bezwodnik węglowy, jako znacznie łatwiej rozpuszczalny, szybciej w wodzie dyfunduje niż tlen. Do procesu oddychania zużywa się obok tlenu, dyfundującego bezpośrednio z wody do komórki, także tlen znajdujący się w przestworach międzykomórkowych tych roślin. Ponieważ bezwodnik węglowy tworzy się podczas oddychania kosztem tego tlenu, a dyfunduje do wody daleko szybciej niż tlen napływa z wody do przestworów, przeto zupełnie zrozumiała jest rzeczą, że podczas tego oddychania powietrze w przestworach międzykomórkowych nie tylko staje się w tlen uboższe, ale i ogólne jego ciśnienie schodzi nieraz znacznie poniżej ciśnienia atmosferycznego.

Widzimy z tego, co wyżej powiedziano, że wszystko, co wiemy o pobieraniu i wydzielaniu gazów przez rośliny wodne, całą wymianę gazów między rośliną a otoczeniem daje się zrozumieć na podstawie praw absorpcji i dyfuzji gazów przez płyny i systemy koloidalne. Stosunki liczbowe są oczywiście w różnych warunkach i wobec różnej budowy i natury tkanek roślinnych rozmaite i jest rzeczą obserwacji i doświadczenia zbadać je szczegółowo w każdym osobnym przypadku, ale zrozumienia przyczynowości tych liczbowych stosunków szukać zawsze musimy w czysto fizycznych prawach, jakim podlegają gazy, tak same w sobie, jak i w odniesieniu do innych ciał, z którymi znajdują się w zetknięciu.

8. Mechanizm wymiany gazów przez szparki w częściach nadziemnych roślin.

O wymianie gazów między organami nadziemnymi a atmosferą zewnętrzną, mówiliśmy, że trudna przepuszczalność skutikularyzowanych błon skórki i korka czyni tem istotniejszym znaczenie przestworów międzykomórkowych w głębszych warstwach tkanek. Tutaj komórki mają ścianki złożone przeważnie z czystej celulozy, więc z materiału łatwo przenikliwego dla gazów. Cała trudność redukuje się do tego, aby

wymiana między gazami tych przestworów międzykomórkowych, a zewnętrzną atmosferą, odbywała się dość szybko, tak, żeby dopływ gazów, potrzebnych komórkom, nastarczył ich zapotrzebowaniu. Wymiana gazów między tą wewnętrzną atmosferą a zewnętrzną odbywa się jak wiemy przez szparki i w tomie I rozdz. II, o badaniu związku między budową tkanek roślinnych a czynnościami życia (str. 107-166) omówiliśmy już bliżej metody, z pomocą których można wykazać, że różnice w ciśnieniu między gazami nagromadzonymi w przestworach międzykomórkowych a atmosferą zewnętrzną, łatwo się przez te szparki wyrównują. Pozostaje do wyjaśnienia, jak się to dzieje, że te drobne otworki, jakimi są szparki, wystarczają do doprowadzenia z powietrza potrzebnej do produkcji materji organicznej ilości bezwodnika węglowego, mimo że atmosfera zawiera nie więcej, jak 3 na 10.000 objętości tego gazu. Zobaczmy jak wielkie ilości bezwodnika węglowego są w liściach przerabiane? Sachs przez oznaczenie suchej masy pewnej określonej powierzchni liścia przed i po wystawieniu go przez jakiś czas na słońce, oblicza, że przybytek na wadze suchej masy w ciągu godziny wynosi 1,65 grama na 1 m² liścia, czyli na 1 jego cm² wypada 0,165 mg. Przyjmując, że wyprodukowana materja organiczna ma skład C₆H₁₀O₅ wypada, że do wytworzenia 0,165 mgr. tejże, musiało być przez 1 cm² liścia przerobione 0,269 mgr. czyli 0,137 cm³ bezwodnika węglowego w ciągu godziny. Brown i Escombe podają, że liść *Catalpa bignonioides* może w korzystnych warunkach przerobić 0,07 cm³ bezwodnika węglowego na godzinę. Z drugiej strony, ci sami autorowie oznaczyli, że stężony roztwór wodorotlenku sodowego wystawiony swobodnie na zetknięcie z powietrzem atmosferycznym, pochłania z niego, na każdy 1 cm² powierzchni, 0,12 — 0,18 cm³ bezwodnika węglowego na godzinę, a więc prawie tyle co liść słonecznika, a dwa razy tyle, co liść *Catalpy*. Prawda, że liść styka się z powietrzem obu swemi powierzchniami t. j. górną i dolną, więc powierzchnia zetknięcia, obliczona na 1 cm², jest dwa razy tak wielka, jak dla roztworu wodorotlenku sodowego; ale co do *Catalpy*, to ta ma szparki tylko po stronie dolnej, a ponieważ skądinąd przekonaliśmy się, że dyfuzja CO₂ przez kutikulę i komórki skórki prawie nie wchodzi w rachubę i komórki zielone ograniczone są prawie wyłącznie do tego bezwodnika węglowego, który dopływa do nich przez szparki, więc trzeba przyjąć, że owe 0,07 cm³ bezwodnika węglowego, przerabia-

nego w ciągu godziny przez liść *Catalpy*, dopłynęły z powietrza atmosferycznego do przestworów międzykomórkowych śródliścia przez szparki. Na powierzchni 1 m^2 znaleźli autorowie u *Catalpy* 145 szparek, więc na 1 cm^2 przypada ich 14.500, powierzchnia otworu szparki podczas maksymalnego rozwarcia wynosi, jak wymierzili nasi autorowie $0,0000618 \text{ m}^2$, więc powierzchnia wszystkich 145 otworów szparkowych na przestrzeni 1 m^2 wynosi $0,008961 \text{ m}^2$, więc na powierzchnię 1 cm^2 $0,8961 \text{ m}^2$, t. zn. 0,896% czyli niespełna 1% powierzchni liścia. Skoro tedy przez te otworki szparkowe stanowiące, niespełna 1% powierzchni liścia, przepływa do wnętrza liścia połowa tej ilości bezwodnika węglowego z powietrza, jaka dopływa do równej powierzchni stężonego ługu sodowego, wystawionego na pełny dostęp powietrza, to znaczy, że przepływ bezwodnika węglowego przez każdą z tych szparek jest zgorą 50 razy szybszy, jak jego dopływ do absorbującego go ługu, gdy się ten całą powierzchnią styka z wolną atmosferą. Następuje się pytanie, czy to jest skutkiem jakichś specjalnych własności szparek roślinnych i wogóle ustroju liścia, czy też jest poprostu następstwem ogólnych fizycznych praw, odnoszących się do przepływu gazów przez drobne otworki w przegrodzie, rozdzielającej gazy między sobą.

Brown i Escombe¹⁾ przedsięwzięli cały szereg doświadczeń czysto fizycznych, które tę sprawę zupełnie wyjaśniają i dowodzą, że prawa fizyczne dyfuzji gazów zupełnie wystarczają do zrozumienia dostatecznego dopływu bezwodnika węglowego do przestworów międzykomórkowych przez szparki. Jeżeli wąski cylinder, do którego na dno daliśmy roztworu wodorotlenku potasowego, lub sodowego, wystawimy na powietrze w miejscu zupełnie spokojnym, to bezwodnik węglowy warstwy powietrza w cylindrze, stykającej się bezpośrednio z tym roztworem, będzie przezeń pochłaniany, wskutek czego powstaje spadek cząstkowego ciśnienia bezwodnika węglowego w różnych warstwach powietrza cylindra, począwszy od jego brzegu do dna, a w następstwie tego, podług praw dyfuzji gazów, nastąpi stały przepływ bezwodnika węglowego z powietrza zewnętrznego przez cylinder do jego dna. Ilość Q bezwodnika węglowego, jaka w ten sposób przepływa przez cylinder i jest

¹⁾ Brown and Escombe: »Static Diffusion of Gases and Liquids in relation to the assimilation of Carbon and Translocation in plants«. Philosophical Transactions of the Royal Society. London 1900.

pochłaniana przez powierzchnię absorbującą wodorotlenku na jego dnie, będzie proporcjonalną do czasu t , przez który trwa doświadczenie, do przekroju poprzecznego cylindra A , do różnicy ciśnień cząstkowych bezwodnika węglowego w powietrzu zewnętrznym i tuż przy dnie cylindra $p-p'$ i do współczynnika dyfuzyjnego K bezwodnika węglowego w powietrzu, a odwrotnie proporcjonalną do długości cylindra L ,

$$Q = \frac{A (p-p') t K}{L}$$

Przyuszczając, że pochłanianie bezwodnika węglowego przez wodorotlenek potasowy jest dostatecznie energiczne, aby można było powietrze, do niego przytykające, uważać za wolne od bezwodnika węglowego, t. j. aby $p'=0$, ilość bezwodnika węglowego pochłoniętego będzie:

$$Q = \frac{K A p t}{L}$$

Brown i Escombe przeprowadzali liczne doświadczenia, w których oznaczali ową ilość Q bezwodnika węglowego, pochłanianą z powietrza przez wodorotlenek sodowy, umieszczony na dnie cylindra i obliczali z tego ów współczynnik dyfuzyjny K podług wzoru

$$K = \frac{Q L}{A p t}$$

Aby pewniej utrzymać nad powierzchnią absorbującą wodorotlenku sodowego ciśnienie cząstkowe bezwodnika węglowego $p=0$ przystosowywali do cylindra naczynko o dnie znacznie szerszem, którego szyjka stosunkowo krótka, miała przekrój taki sam jak cylinder i była z nim szczelnie złączona.

Z szeregu oznaczeń przy użyciu cylindrów różnej długości, w położeniu pionowym lub poziomym, obliczali wartości dla K i znajdowali je między 0,133 i 0,185, średnio 0,157. Wartość ta zgadza się bardzo przybliżenie z wartościami, znajdowanymi innymi metodami przez różnych fizyków dla tego współczynnika dyfuzyjnego bezwodnika węglowego w powietrzu. Ale w dalszych doświadczeniach Brown i Escombe przekonali się, że jeżeli otwór cylindra przykryć szczelnie cienką płytką, w pośrodku której znajduje się większy, lub mniejszy otworek, przez który bezwodnik węglowy jedynie może przepływać z zewnętrznego powietrza do cylindra, to ilość bezwodnika węglowego przepływającego w danym czasie przez ten otworek i pochłanianego przez ług sodowy, nie będzie proporcjonalną do powierzchni

przekroju otworka, ale tylko do jego średnicy, t. zn., że im mniejszym jest otworek w owej płytce, tem większa ilość bezwodnika węglowego przepływa przez jednostkę jego powierzchni. Prawdliwość tę widać np. z następującej tabliczki, zestawionej z doświadczeń autorów:

Średnica otworka w płytce, pokrywającej cylinder, w m/m	Powierzchnia otworka w cm^2	W ciągu 1* godziny przepływało CO_2 ogółem	W ciągu 1 godziny przepływało CO_2 na 1 cm^2 powierzchni otworka
2.0	0.031	0.0261	0.825
3.2	0.080	0.0399	0.484
6.0	0.28	0.0625	0.281
12.0	1.13	0.1018	0.089
23.0	4.15	0.238	0.059

Porównanie liczb kolumny 1 i 3 wskazuje wyraźnie przybliżoną proporcjonalność ilości przepływającego bezwodnika węglowego do średnicy otworka, natomiast z porównania liczb kolumn 2 i 4 widzimy, jak bardzo szybkość przepływu tego bezwodnika węglowego przez jednostkę powierzchni otworka zwiększa się ze zmniejszaniem się jego średnicy. Ten fakt, choć napozór niespodziewany, jest przecież łatwo zrozumiałym, bo szybkość przepływu zależy oczywiście od różnicy cząstkowego ciśnienia bezwodnika węglowego w warstwach powietrza ponad sobą leżących; otóż ta różnica w warstwach leżących bezpośrednio nad przedziurawioną płytką i pod nią musi być tem większą, im mniejszym jest otworek, przez który bezwodnik węglowy przedostaje się pod płytkę, bo nad płytką napływa bezwodnik węglowy ze wszystkich stron zewnętrznego powietrza, pod nią zaś dopływa tylko przez ów otworek, i jest natychmiast usuwany przez absorbującą powierzchnię wodzianu sodowego. Następstwem tego musi być nagły spadek cząstkowego ciśnienia w miejscu, na którym warstwy powietrza rozgrodzone są płytką, spadek, tem naglejszy, im mniej bezwodnika węglowego przedostaje się na drugą stronę płytki, a więc im mniejszym jest otworek przez który on się jedynie może przedostawać. Z tem zwiększaniem się spadku ciśnienia bezwodnika węglowego, umiejscowionem przy przegrodzie, musi iść w parze zwiększenie się szybkości jego przepływu przez jednostkę powierzchni otworka w przegrodzie. Ponieważ skórka liścia jest podobną przegrodą, rozdzielającą powietrze zewnętrzne od przestworów międzykomórkowych śródliścia, przegrodą podziurawioną bardzo

drobnymi otworkami, któremi są szparki, więc nas obchodzić będzie szczególnie, jak się odbywa przepływ gazów przez nieprzenikliwą dla nich przegrodę, która ma w sobie nie jeden, ale pewną większą, lub mniejszą, ilość otworków pewnej określonej wielkości. Otóż i pod tym względem wzmiankowani przez nas fizjologowie wykonywali osobno także czysto fizyczne doświadczenia.

Cylindry szklane mające każdy około $3\frac{1}{2}$ cm średnicy z boczną rurką dopływową od dołu dla doprowadzenia roztworu wodzianu sodowego i odpływową w spodzie dla jego odpuszczania, były u góry szczelnie nakryte cienką płytką z celluloidu, w której porobiono otworki o średnicy wynoszącej dokładnie 0,38 m/m w ilości 100, 25, 11, 6 i 2,8 na 1 cm^2 tak, że ogólna powierzchnia tych otworków stanowiła 11,3%, 2,8%, 1,25%, 0,7% i 0,3% całego przekroju cylindra. Po doprowadzeniu wodzianu sodowego w tych cylindrach do pewnej, wszędzie tej samej, wysokości, pozostawiono je w spokojnym miejscu przez przeciąg 2 dni, poczem oznaczano w ługu sodowym tych cylindrów ilość bezwodnika węglowego przezeń pochłoniętego i obliczano stąd, wiele tego gazu przepływało w ciągu godziny z powietrza zewnętrznego, przez otworki, do powierzchni absorbującej ługu sodowego. Otóż przepływ bezwodnika węglowego wynosił:

Przez płytkę o 100 otworkach na 1 cm^2 , oddalonych od siebie								
						o 1 m/m	0,361	cm^3
„ „ „ 25	„	„	„	„	„	2	0,148	„
„ „ „ 11	„	„	„	„	„	3	0,131	„
„ „ „ 6	„	„	„	„	„	4	0,110	„
„ „ „ 3	„	„	„	„	„	6	0,068	„
W cylindrze otwartym, nie nakrytym płytką . . .							0,346	„

Widzimy tu ten bardzo ciekawy rezultat, że gdy na przestrzeni 1 cm^2 znajdowało się 100 otworków, oddalonych od siebie, każdy o 1 m/m, t. j. o odległość mniej więcej trzy razy tak wielką jak średnica otworka, to przepływ bezwodnika węglowego z powietrza zewnętrznego do powierzchni absorbującej ługu był taki sam, jak wtedy gdy cylinder był zupełnie otwarty, choć ogólna powierzchnia otworków stanowiła tylko 11% przekroju cylindra. Nawet wtedy, gdy na przestrzeni 1 cm^2 było tylko 11 otworków, oddalonych od siebie o 3 m/m t. j. o odległość 8 razy większą niż średnica otworka i gdy ogólna powierzchnia wszystkich otworków stanowiła mało co więcej jak 1%

przekroju cylindra, ilość przepływającego przez przegrodę bezwodnika węglowego wynosiła blisko 40% tego, co dopływało przez cylinder zupełnie otwarty.

Mówiliśmy, że na 1 cm² dolnej powierzchni liścia *Catalpa bignonioides* znajduje się podług obliczeń *Browna i Escombe'a* 14.500 szparek, których średnica w stanie największego rozwarcia wynosi około 0.01 mm, a więc jest jeszcze z góra 30 razy mniejsza, niż w powyżej przytoczonym doświadczeniu autorów, zatem oczekiwać trzeba, że szybkość przepływu przez nie bezwodnika węglowego z powietrza musi być jeszcze o wiele większa niż we wspomnianem doświadczeniu. Jakkolwiek tedy powierzchnia otworów wszystkich szparek, razem wziętych, stanowi tu tylko około 0.9% powierzchni liścia, to wątpić nie można, że dopływ bezwodnika węglowego przez te szparki do przestworów międzykomórkowych następuje równie szybko, jak gdyby dostęp powietrza do tych przestworów był zupełnie swobodny. Tak więc pokrycie skórki liścia kutikulą, prawie nieprzenikliwą dla gazów, nie stanowi przeszkody dla zaopatrywania zielonych komórek w bezwodnik węglowy z atmosfery, a układ i rozmiary szparek roślinnych musi się uważać jako doskonałe przystosowanie się budowy liści do możliwości pobierania bezwodnika węglowego z atmosfery, bardzo w ten gaz ubogiej, podług praw dyfuzji gazów. Trudność w zaopatrywaniu zielonych komórek w dostateczną ilość bezwodnika węglowego z powietrza, w myśl tego, cośmy omówili, nie leży w nie dość szybkim dopływie bezwodnika węglowego do przestworów międzykomórkowych przez szparki, ale raczej w niedość szybkim jego przenikaniu przez błonki samych zielonych komórek, bo jak już widzieliśmy, to przenikanie odbywa się na mocy rozpuszczania się tego gazu w samychże błonach, to zaś rozpuszczanie zależy, jak wiemy, od współczynnika rozpuszczalności i od cząstkowego ciśnienia danego gazu. Jeżeli więc doświadczenie wykazuje nam, że zwiększanie ilości bezwodnika węglowego w powietrzu, ponad ilość normalną, zwiększa jego rozkład przez liście, to nie dlatego, aby z ilości normalnej mogło do przestworów międzykomórkowych dopłynąć go tyle tylko, wiele go liście w zwykłych warunkach rozkładają, ale dlatego, że w tych normalnych warunkach, z powodu zbyt niskiego cząstkowego ciśnienia bezwodnika węglowego w powietrzu, nie rozpuszcza go się w błonach komórkowych i nie przechodzi do wnętrza komórek tyle, wiele

ROZDZIAŁ II.

MECHANIZM POBIERANIA I KRAŻENIA WODY.

A) Pobieranie wody przez pęcznienie.

1. Pęcznienie koloidów a pęcznienie nasion i tkanek.

Tak samo jak co do mechanizmu pobierania gazów, tak i co do pobierania wody, musimy badania nasze oprzeć na rozpatrzeniu własności materiału, z którego zbudowane są tkanki roślinne. Zaznaczyliśmy już we wstępie do tego rozdziału, że elementy tkankowe mają budowę systemów koloidalnych, złożonych z cząstek fazy stałej i z wody jako fazy płynnej. Ale stosunek obu tych faz bywa bardzo różny i dlatego w rozmaitych elementach tkankowych spotykamy się ze wszystkimi stanami skupienia, od zupełnie stałych i twardych, aż prawie do płynnych. Weźmy przedewszystkiem pod uwagę te twory roślinne, w których wszystkie tkanki mają zupełnie stałą konsystencję. Takimi są np. nasiona. Nasiona dojrzałe i trzymane dłuższy czas na wolnym powietrzu nie mają więcej jak 8—15% wody, a trzymane w powietrzu zupełnie suchem, np. w exikatorze nad chlorkiem wapniowym, tracą jeszcze dalej wodę i dochodzą do tego, że potem zawierają nie więcej jak 3—4% wody. Jeżeli oznaczymy dokładnie objętość¹⁾ i wagę takiego nasienia np. grochu i zanurzymy je w wodzie, albo położymy na mokrej bibule, to będzie ono stopniowo zwiększać

¹⁾ Objętość możemy dokładnie oznaczyć przez zanurzenie całego nasienia w naczynku cylindrycznym, napełnionym rtęcią, takim jakie się np. używa do kalibrowania eudjometrów i przez zważenie rtęci, wypchniętej przez to nasienie.

tak objętość, jak i wagę a to przez pochłanianie coraz większej ilości wody, będzie jak mówimy kosztem tej wody pęczniało i to aż do pewnej granicy, po osiągnięciu której już na razie wody dalej pobierać nie będzie. Jeżeli teraz to nasionko wyjmemy z wody i wystawimy na powietrze, to znowu będzie stopniowo wodę tracić i zmniejszać tak swoją wagę, jak i objętość, póki w końcu nie wróci do tej samej objętości i wagi, jaką miało przed włożeniem do wody. W razie ponownego zetknięcia z wodą znów pęcznieje i zachowuje się jak poprzednio. Tak samo niektóre porosty, glony (np. *Nostoc*) lub grzyby, (np. *Tremella*) przedstawiające się jak galarety, mogą wyschnąć tak, że dają się zetrzeć na proszek, a wprowadzone w zetknięcie z wodą pochłaniają ją, pęczniają i mogą żyć i rozwijać się dalej. Otóż w tych wszystkich przypadkach pobieranie wody odpowiada w zupełności pęcznieniu tak zw. koloidów liofilnych, czyli emulsoidów. Pęcznienie odbywa się tu tak samo, jak np. pęcznienie agaru lub żelatyny, które wysuszone i włożone do wody, pobierają ją, przybierając na wadze i na objętości, a napęczniałe i umieszczone w suchym powietrzu znów wodę tracą, kurczą się i wysychają. Przybieranie wody przez pęcznienie, tak dobrze u nasion, lub innych stałych tworów roślinnych, jak i u martwych koloidów, jak agaru lub żelatyny, może następować nie tylko w zetknięciu z płynną wodą, ale i z parą wodną, a więc np. w powietrzu przybliżeniu¹⁾ nasycionem parą. Wtedy jednak pęcznienie nie idzie tak daleko, bo nasionko, czy kawałek agaru, napęczniałe do maksimum w wilgotnym powietrzu, włożone do wody, pęcznią ponownie, pobierając jeszcze znaczną jej ilość, a napęczniałe w wodzie i przeniesione do wilgotnego powietrza tracą znaczną ilość wody i dochodzą do tego stopnia napęcznienia, jaki przybierały w wilgotnym powietrzu. Podobieństwo pobierania wody przez nasiona wpro-

¹⁾ Mówimy przybliżenie, a nie całkowicie nasycioną, bo doświadczenie w powietrzu całkowicie nasycionem parą wodną, np. pod małym kloszem, zamkniętym od dołu wodą, o tyle nie byłoby miarodajne, że przy obniżaniu się, choćby nieznacznym, temperatury, następowałoby tworzenie się rosy, która mogłaby też osiadać na pęczniejącym materiale i powodować jego pęcznienie już nie jako para, ale jako płynna woda. Środkiem przeciw tworzeniu się rosy byłaby absolutnie stała temperatura, ale że utrzymanie takowej jest niezmiernie trudne, więc wskazaniem jest utrzymanie w otoczeniu ciała pęczniejącego prężności pary wodnej nieco niższej od całkowitego nasycenia. Możemy to osiągnąć zamykając klosz od dołu nie wodą, ale np. 10% kwasem siarkowym i starając się swoją drogą o uniknięcie znaczniejszych wahań temperatury.

wadzone w zetknięciu z wodą, z pobieraniem jej przez suchy agar lub żelatynę, idzie jeszcze dalej. W jednym i drugim przypadku woda pobierania podczas pęcznienia ulega zagęszczeniu. To zagęszczenie największe jest w samym początku pęcznienia, później coraz mniejsze. W jednym i drugim przypadku następstwem tego zagęszczenia wody jest podniesienie się temperatury, więc uwolnienie się pewnej ilości ciepła. To też już dawno obserwowano, że temperatura nasion, wprowadzonych w zetknięcie z wodą, podnosi się ponad temperaturę otoczenia wpierv jeszcze, nim nasiona zaczną wydatnie oddychać¹⁾. Tak samo ma się rzecz podczas pęcznienia martwych ciał koloidalnych, jak żelatyny, agaru lub skrobi.

Tu bardzo wydatnie okazuje się, że im suchszym jest na początku materiał, tem znaczniejsze jest podniesienie się temperatury podczas pęcznienia. Tak np. Rodewald²⁾ znalazł, że na 1 gram skrobi uwalniało się podczas pęcznienia, ciepła w kalorjach:

gdy skrobia zawierała początkowo	3.2%	wody	21%	kalorji
„ „ „ „	8.2%	„	12.4%	„
„ „ „ „	13%	„	7.3%	„
„ „ „ „	19.5%	„	2.9%	„

Wiedemann i Liedeking³⁾ obserwowali podniesienie się temperatury przy pęcznieniu żelatyny, lub gumy do 1.9°C, a Hardy, przy agarze, nawet do 6°C.

Dalsze podobieństwo pomiędzy pęcznieniem nasion i martwych koloidów znajdujemy w tem, że tak jedno jak drugie może przewycięzać bardzo znaczne opory. Rodewald podaje, że pęcznienie skrobi zdolne jest przewyciężyć ciśnienie z górą 2.500 atmosfer. Niewielka ilość pęcznijącego grochu może podnieść ciężar kilkudziesięciu kilogramów.

Tak więc widzimy zupełne podobieństwo, można nawet ponieważ powiedzieć, identyczność, między zjawiskami pobierania wody przez nasiona w okresie ich pęcznienia, a pobieraniem wody przez wyschnięte koloidy liofilne, takie jak agar, żela-

¹⁾ Wiesner »Experimentaluntersuchungen über die Keimung der Samen« Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften in Wien, 1871.

²⁾ Rodewald »Untersuchungen über die Quellung der Stärke. Leipzig und Kiel 1896«.

³⁾ W. Ostwald »Grundriss der Kolloidchemie«. Dresden 1909. Str. 371.

tyna lub skrobja. Już z tego można wnosić, że materiał, a raczej materiały, z których zbudowane są tkanki nasion, muszą mieć pod pewnemi względami strukturę podobną jak stwardniałe koloidy liofilne.

Jakże sobie wyobrazić tę strukturę?

2. Hipotezy o budowie koloidów liofilnych.

Koloidy liofilne, czyli emulsoidy, różnią się od liofobów czyli suspensoidów tem, że w ostatnich cząstki fazy stałej, o mniejszej lub większej dyspersji, są poprostu rozproszone w ośrodku dyspersyjnym, będącym fazą płynną; w koloidach liofilnych natomiast, cząstki zdyspersowane wchłaniają w siebie znaczną ilość ośrodka dyspersyjnego, tak, że same stają się poniekąd cząstkami płynnymi, które tak, jak we właściwych emulsjach, są rozproszone w reszcie ośrodka dyspersyjnego. Jeżeli koncentracja roztworu koloidalnego dojdzie do pewnej granicy, a potem nastąpi oziębienie, to następuje nagle zwiększenie się lepkości systemu koloidalnego i przejście płynnego roztworu w stan galarety. To galaretowacenie polega na oddzieleniu się pewnej części ośrodka dyspersyjnego od cząstek nim przesiąkniętych i łączeniu się tych ostatnich w większe ziarna, nitki, siatki i ścianki, między którymi pozostaje płyn o bardzo mocno w nim zmniejszonej już ilości cząstek fazy stałej. Tak więc galaretowacenie roztworu koloidalnego polega na nagłym zmniejszeniu stopnia dyspersji pewnej części fazy stałej i pewnem odmięszaniu się jej od ośrodka dyspersyjnego, który to ostatni może być nawet od rozdrobnionej galarety w znacznej ilości odciągnięty zapomocą pompki powietrznej.

Starano się wielokrotnie zbadać bliżej strukturę takich galaret koloidalnych. Podług Bütschlego mają one budowę gąbczastą, albo nawet, przy większem stężeniu, jakby woszczynową. Oka tego utworu gąbczastego czy woszczynowego wypełnione są głównie pierwotnym ośrodkiem dyspersyjnym, a więc np. wodą, ścianki zaś pochodzą ze zlania się z sobą cząstek fazy zdyspersowanej, po oddzieleniu się od nich znacznej części ośrodka dyspersyjnego, którym były przesiąknięte. Atoli i teraz, po utworzeniu się galarety, to odmięszanie się fazy stałej i płynnej, nie jest bynajmniej zupełne. Owe ścianki przesiąknięte są zawsze pewną, choć mniejszą niż w roztworze koloi-

dalnym, ilością fazy płynnej, z drugiej strony w cieczy owych oczek znajduje się, prócz pierwotnego ośrodka dyspersyjnego także pewna ilość przesiąkniętych nim cząsteczek fazy stałej, to znaczy, że ciecz jest roztworem koloidalnym tylko znacznie bardziej rozcieńczonym od pierwotnego, przed jego zgąlarowaniem. Tak więc galareta koloidalna emulsoidów jest jakby złożona z dwu faz (ścianek i oczek) z których każda znowu ze swej strony jest emulsoidem.

Jeżeli taka galareta koloidalna powoli wysycha, to traci zarówno ową ciecz zamkniętą w okach woszczyny, jak i ciecz którą przesiąknięte są jej ścianki. Następstwem takiego wysychania jest coraz większe zacieśnianie owych oczek i kurczenie się samych ścianek, aż dochodzi do tego, że owe oczka dochodzą do znikomo małych rozmiarów, przyczem jednak ogólna struktura całego systemu może być zachowana. Jeżeli teraz taka zeschnięta galareta o gąbczastej i woszczynowej budowie zostaje wprowadzona w zetknięcie choćby z powietrzem nasyconem parą wodną, a tembardziej z wodą płynną, to nastąpią zjawiska odwrotne tym, które doprowadziły do utworzenia z galarety takiego twardego zaschniętego utworu; woda wtedy wsiąka znowu w owe oczka woszczyny i wnika do samych jej ścianek, cząstki tych ścianek rozsuwają się tak, że ścianki we wszystkich kierunkach zwiększają swoje wymiary, oczka zwiększają się, słowem następują zjawiska pęcznienia, tworzenie się z utworu stałego, jednofazowego, galarety, więc systemu koloidalnego dwufazowego, przyczem narazie owa stała masa o woszczynowej strukturze jest ośrodkiem dyspersyjnym, a woda fazą zdispersowaną. W dalszym przebiegu pęcznienia woda zaczyna coraz więcej przeważać i ona staje się teraz ośrodkiem dyspersyjnym a owe cząstki stałe fazą zdispersowaną. Tak więc galarety koloidalne mogą, jak stąd widzimy, powstawać w dwojaki sposób, t. j. przez stężenie roztworów koloidalnych, albo przez pęcznienie stałych ciał natury koloidalnej. Bütschli jest zdania, że wszystkie pęczliwe ciała mają podobą gąbczasto-woszczynową budowę, znajdował on ją w skrobi, w kryształkach inuliny, w materjach białkowatych. Czy takie uogólnienie obserwacji, poczynionych na pewnych obiektach, jest uzasadnione trudno powiedzieć; jest rzeczą zupełnie możliwą, że są koloidy, których struktura schematowi Bütschlego nie odpowiada, a nie może ulegać wątpliwości, że w szczegółach, zależnie od materiału pęczli-

wego i innych czynników, ta struktura u różnych ciał koloidalnych bywa różna. Różnice we własnościach pęcznienia różnych koloidów ujawniają się między innymi w granicach, w jakich się ich pęcznienie odbywa. Wspomnieliśmy już, że agar może pochłonać więcej wody niż żelatyna, w innych przypadkach np. u drewna, celulozy, pęczliwość jest jeszcze znacznie mniejsza, w innych znowu o wiele większa, albo nawet nieograniczona, gdyż np. u gumy arabskiej doprowadza aż do utworzenia roztworu koloidalnego dowolnego stężenia.

3. Przepuszczalne różnice w strukturze części składowych nasion i ich pęczliwości.

Jeżeli już między pęcznieniem martwych ciał koloidalnych zachodzą tak znaczne różnice i każą przyjmować w pewnym względzie różną ich strukturę, to tem większych różnic możemy się spodziewać w delikatniejszej strukturze składników tkanek roślinnych, więc np. w różnych materiałach, z których zbudowane są tkanki nasienia. Tu należą błony komórkowe, ziarna skrobi, aleurony, reszta stwardniałej protoplazmy i t. d. Nie możemy wątpić, że jakkolwiek wszystkie te elementy złożone są z materiałów koloidalnych, to jednak nietylko natura chemiczna, ale i delikatniejsza budowa fizyczna nie są u nich jednakowe. Mamy mnóstwo badań nad szczegółami budowy rozmaitych elementów tkanek rośliny, któremi się tu jednak zajmować nie będziemy — wskazówki co do metodyki i zakresu tych badań znajdzie czytelnik w części botanicznej poradnika dla samouków, w rozdziale traktującym o cytologii tkanek roślinnych, tutaj zaznaczymy tylko, że poza tem co się da bezpośrednio zobaczyć pod mikroskopem, zwłaszcza przy pomocy barwień, może chodzić jeszcze o rozpoznanie natury i budowy cząstek najdrobniejszych już i pod mikroskopem niedostrzegalnych, z których się te systemy składają. Co do natury, ułożenia i zachowania się tych cząsteczek, ważne i gruntownie uzasadnione hipotezy przedstawił swojego czasu Nägeli, głównie w swoich badaniach nad budową, powstawaniem i wzrostem ziarenek skrobi i błon komórkowych. Na podstawie zachowania się tych utworów w świetle spolaryzowanym Nägeli przyjmuje, że składają się one z bardzo drobnych, krystalicznych, anizotropowych cząsteczek, z których każda

jest otoczona cieniuchną osłonką wody. W wielu przypadkach te cząstki, które Nä g e l i nazywa micellami są ułożone w pewnym stałym kierunku. Pęczliwość utworów złożonych z takich micelli polega na możliwości wnikania między nie wody zwiększającej grubość ich wodnych osłonek. Te micelle nie są bynajmniej chemicznymi drobinami, ale ich agregatami, nie są nawet wszystkie jednej wielkości, ale w tym samym utworze mogą się znajdować mniejsze i większe, a także i co do swojej chemicznej natury różne. Nawet nie jest wykluczone (a w protoplazmie nawet jest prawdopodobne), że w skład jednej takiej micelli wchodzi drobiny różnych ciał chemicznych. Te hipotetyczne micelle mogą się ze swej strony łączyć w większe agregaty, te dalej w nitki, siatki, ścianki i t. p. tak, że ta hipoteza micelarna nie stoi w sprzeczności z teorią budowy gąbczastowoszczynowej B ü t s c h l e g o, dopuszcza jednak możliwość istnienia pęczniającego ciała także bez tej struktury. W każdym razie z pomocą micelarnej hipotezy jeszcze łatwiej możemy zrozumieć ogromną różnorodność szczegółowych własności ciał koloidalnych, nie naruszając tego, co im jest wspólne. Bo łatwo sobie wyobrazić, że różna natura owych micelli, różna ich forma, różna wielkość i sposób zgrupowania w agregaty wyższego rzędu, może spowodować daleko idące różnice w zachowaniu się danego koloidalnego ciała, a tembardziej danego koloidalnego tworzu w tkance roślinnej. Nas w tej chwili obchodzą głównie różnice pęczliwości różnych materiałów, z których zbudowane są tkanki nasienia, a w ślad za tem idąca różna pęczliwość samychże nasion. Nawet elementy zbliżonej natury mogą mieć bardzo niejednakową pęczliwość. I tak, ziarna aleuronu w nasionach niektórych roślin mają pewną część substancji białkowej, z której się składają, sformowaną w kryształ, stanowiący w niej t. zw. krystaloid. Otóż owe krystaloidy, tak samo, jak reszta ziarna aleuronu, która go otacza, złożone są z materji białkowej, mają pęczliwość bardzo ograniczoną i pęczniąją stosunkowo nieznacznie, podczas gdy reszta masy aleuronu pęcznieje w wodzie nieograniczenie, aż prawie do utworzenia koloidalnego roztworu. To też całe ziarno aleuronu np. grochu lub fasoli widzieć można w jego niezmiętej wielkości i formie tylko wtedy, jeżeli skrawki rozpatrywać będziemy w oliwie albo glicerynie, gdyż w wodzie z powodu wielkiej pęczliwości ich substancji, rozpuszczają się rychło, pozostawiając tylko mało co napęczniały

krystaloid, stanowiący prawie jednorodną masę plazmatyczną, otaczającą ziarenka skrobi. Te ostatnie w zwykłej temperaturze pęcznieją w wodzie stosunkowo bardzo nieznacznie. Równie słabo pęcznieją także błony komórkowe miększu liścieni.

4. Znaczenie łupinki w pęcznieniu nasion.

Ważną rolę w pobieraniu wody przez nasiona odgrywa z natury rzeczy łupinka nasienna, najprzód już z tego powodu, że musi przez siebie przepuścić wodę, aby ją mogły pobrać inne części nasienia, a potem także i dlatego, że musi się mocno rozciągać, skoro nasienie, przez nią otoczone, nieraz zwiększa bardzo znacznie swoją objętość. Co do przepuszczalności łupiny nasiennej dla wody, to niezawsze jest ona jednakową i niezawsze łatwą. Znamy wiele przypadków, w których nasionko może tygodniami, miesiącami, lub nawet latami leżeć w wilgotnej ziemi lub w wodzie, niepęczniejąc wcale. Takie przypadki zdarzają się bardzo często u roślin groszkowych, np. u żółtego łubinu, koniczyny, lucerny, dzikiej akacji (*Robinia*), a także u innych nasion np. kianiaki, szczawiku, komosy, karkolu i t. p. To trudne pęcznienie spotykamy naturalnie nie u wszystkich indywiduów, ale tylko u niektórych, stanowiących t. zw. nasiona twarde. W próbach kiełkowania kilka, a choćby kilkanaście dni trwających, takie nasiona nie kiełkują, i to nie dlatego, aby były nieżywe i do kiełkowania wogóle niezdatne, ale z tego powodu, że ich łupinka nie przepuszcza wody do istotnych części nasienia t. j. do zarodka i bielma. Że tak jest, widzimy stąd, że dość jest zarysować albo nakłóć łupinkę, aby ziarno niebawem napęczniało i skielkowało. Że i poza nasionami twardymi przepuszczalność łupinki nasiennej, u różnych indywiduów tego samego gatunku, nie jest jednakowa, o tem łatwo się przekonać wrzuciwszy pewną ilość nasion do wody: widać wtedy jak po pewnym czasie jedne z nich już zupełnie napęczniały, inne dopiero pęcznieć zaczynają, a jeszcze inne nie okazują narazie żadnej zmiany. Jak daleko iść mogą takie różnice, tego przykładem jest, że w jednym doświadczeniu Nobbego z 400 nasionami akacji napęczniało w ciągu pierwszych 10 dni tylko 71 nasion, w ciągu dalszych 19 dni—29, w ciągu dalszych 120 dni—20, w ciągu dalszych 100 dni—8, w ciągu dalszych 20 dni—15, w ciągu całego następnego

roku—4, w ciągu trzeciego roku—3, a reszta 232 pozostała jeszcze i nadal nie napęczniała. Twardość niektórych ziarn nie jest bez znaczenia biologicznego i pewnego pożytku dla utrzymania gatunku, bo umożliwia przetrwanie ziarn w wilgotnej ziemi nawet przez kilka lat bez straty zdolności kiełkowania. Co do rozciągania się łupinki nasiennej podczas pęcznienia, to możnaby sobie pomyśleć, że ono jest czysto bierne, t. j. następuje pod wpływem pęcznienia bielma i zarodka, albo, że sama łupina jest także pęczliwa. Jaką jest pęczliwość łupiny samej w sobie, to można oznaczyć przez zdjęcie jej choćby z kawałka nasienia, zważenie, położenie na wilgotnej bibule, i ponowne zważenie po pewnym czasie. W ten sposób możemy się przekonać, że w wielu przypadkach łupina jest nawet bardzo pęczliwa. Nieraz się zdarza, że w zetknięciu z wodą, pęcznienie łupiny wyprzedza znacznie pęcznienie bielma i zarodka. Gdy np. wrzucimy do wody, lub położymy na mokrej bibule, ziarno grochu lub fasoli, to nim ono napęcznieje widzimy pierwszej pomarszczenie się i pofałdowanie łupiny, wskazujące na znaczne zwiększenie się jej powierzchni przez pęcznienie. Te fałdy znikają potem i powierzchnia staje się znowu gładka, gdy pęczniący zarodek owe fałdy rozciągnie i wyrówna.

Łupina nasienna ma dość skomplikowaną i nieraz dla danego gatunku, rodzaju czy rodziny charakterystyczną budowę, którą się tu zajmować nie będziemy, ale jedynie zaznaczymy to, że łupina złożona jest z rozmaitych warstw komórek, które różnią się między sobą nie tylko szczegółami anatomicznej budowy, ale i materiałem, z którego są złożone, wskutek czego także pęczliwość ich może być bardzo nierówna i często umiejscowiona specjalnie w niektórych warstwach. To umiejscowienie pęczliwości w łupinkach, można rozpoznać przez porównanie wyglądu i wymiarów poprzecznego skrawka z łupiny nasion suchych i napęczniałych. Tak np. widzimy, że u nasion roślin groszkowych szczególnie silną pęczliwością odznaczają się wewnętrzne warstwy łupinki. W suchym stanie są one tak ściśnięte i skurczone, że nieraz nawet nie widać w nich komórkowej budowy, występuje ona wyraźnie dopiero po napęcznieniu. Jak wielką bywa tu niekiedy pęczliwość widzimy stąd, że np. u koniczyny grubość tej warstwy po napęcznieniu w stosunku do suchej średnio 30 krotnie się zwiększa. Inne warstwy łupinki nasion koniczyny stosunkowo mało pęcznieją

i są raczej w znacznej mierze biernie rozciągane przez pęcznienie owych warstw wewnętrznych. Do tych warstw wewnętrznych dostaje się woda nie tylko przez pęczniejące warstwy zewnętrzne, ale obok tego także przez otworek w łupince, będący pozostałością okienka. Gdy wody tędy nie dopuścić, ziarno pęcznieje bardzo trudno i z wielkim opóźnieniem. Odwrotnie rzecz się ma znowu u niektórych innych nasion, np. u nasion lnu, pigwy, szałwi, lnianki i t. p. Tu szczególną pęczliwością odznacza się właśnie najzewewnętrzniejsza warstwa komórek łupinki. Ścianki jej komórek odznaczają się szczególnie silnymi warstwami tworzącymi zgrubienia, tak, że nieraz światło komórki jest bardzo małe, a w zetknięciu z wodą warstwy zgrubienia pęczniają nadzwyczaj silnie, przeistaczając się w śluz, który przenika nazewnątrz przez pierwotną błonkę i otacza całe nasienie, tworząc dlań nawet pewien zapas wody na przypadek chwilowego jej braku, przyczyniając się obok tego do umocowania nasienia w stykającym się z nim podłożu. Jeżeli różne części tego samego nasienia mają pęczliwość bardzo różną, to zrozumiałem jest także, że nasiona rozmaitych roślin po dojściu do maksimum napęcznienia zawierają, w stosunku do suchych, bardzo niejednakową ilość wody. I tak, waga ziarna napęczniałego, w stosunku do suchego, zwiększa się:

u pszenicy, jęczmienia, owsa, żyta, tataraki o około	50%
„ kukurydzy	40%
„ grochu, fasoli, bobu	100%
„ koniczyny białej i czerwonej.	120%
„ pigwy, wskutek stworzenia śluzu	400%

5. Wpływ czynników zewnętrznych na pęcznienie.

Jak na pęcznienie martwych emulsoidów, tak i na pęcznienie części składowych tkanek roślinnych mogą wpływać rozmaite zewnętrzne czynniki i znów doświadczeniu przypada zadanie zbadania tych różnych zależności. Znany jest powszechnie ogromny wpływ temperatury na pęcznienie np. żelatyny, agaru, skrobi i t. p. Ziarnka skrobi ogrzewane w wodzie, pęczniają coraz silniej, aż do zatracenia pierwotnej budowy i przejścia przeważnie w roztwór koloidalny, t. zn. w kłajster lub kleik skrobiowy, z pozostawieniem tylko drobnych kłaczk-

ków, pochodzących z odmiennie zbudowanych i inny nawet charakter mających, osłonek ziarenek skrobi. Ta temperatura rozplływania się ziarenek skrobi w kłajster jest dla skrobi z nasion rozmaitych roślin różna i waha się między 50°C (żyto) a z górą 80°C (żołądź), co wskazuje na różnicę w ich budowie a może i w składzie chemicznym.

Wpływ temperatury na pęcznienie ujawnia się także w zależności szybkości pęcznienia różnych nasion od temperatury, w której stykają się z wodą.

Także znanym jest dobrze wpływ obecności różnych obcych materij na pęcznienie pewnych ciał koloidalnych. Szczególniej powszechne i uderzające jest pod tym względem działanie wodzianów alkalicznych, zwłaszcza potasowego i sodowego. Wywołują one bardzo silne pęcznienie skrobi, pęcznienie największej ilości materij białkowatych, więc także większej części utworów protoplazmatycznych, aż do koloidalnego ich rozplływania się; między innymi także rozplywanie się krystaloidów białka, które w wodzie czystej nieznacznie tylko pęcznieją. Podobnie działa także wodzian chloralu, chlorek cynkowy i t. p.; stężony kwas siarkowy, roztwór miedzi w amoniaku, wywołują pęcznienie a nawet rozpuszczanie błon komórkowych, o ile te są złożone przeważnie z celulozy. W każdym z tych przypadków nasuwa się jeszcze pytanie, jaki jest mechanizm wpływów takich czynników zewnętrznych, czy też pewnych ciał, na przebieg pęcznienia; czy działają one na całą substancję pęczniającego ciała? czy niekiedy może tylko na odmiennie nieco zbudowane jego zewnętrzne warstwy, rozluźniając je i ułatwiając przez to dostęp wody do warstw i cząsteczek ciał koloidalnych w głębi położonych? Pytania takie, nieraz bardzo trudne do rozstrzygnięcia, osobnych wymagają badań.

6. Odwracalność lub nieodwracalność zjawisk galaretowacenia i pęcznienia.

Widzimy, że tworzenie się galarety, a w dalszym ciągu i stałego koloidalnego ciała przez zagęszczanie koloidalnego roztworu emulsoidu, jest z reguły zjawiskiem odwracalnem, bo owe stałe ciało koloidalne może przez pęcznienie znowu przechodzić w galaretę i dalej ponownie w roztwór koloidalny i to samo zjawisko może się wielokrotnie powtarzać. Jednakże ta odwracalność nie dotyczy każdej galarety lub koagulatu koloi-

dalnego. I tak już galareta krzemionkowa powstała z zagęszczenia koloidalnego roztworu kwasu krzemowego, a następnie wysuszona, wytworzy stałe ciało, które już nie przejdzie w galaretę przez ponowne zetknięcie się z wodą. Także suspensoidy typu złota, raz w ten czy inny sposób wytracone z roztworu koloidalnego, nie odtwarzają go więcej przez zetknięcie z ośrodkiem dyspersyjnym, są zatem koloidami nieodwracalnemi. Także zmiany w stanie dyspersyjnym niektórych emulsoidów, o ile następują pod wpływem pewnych czynników, wywołujących w nich głębsze zmiany, stają się nie odwracalnemi, podczas, gdy bez tych zmian są odwracalnemi, np. materje białkowe, skoagulowane z roztworu koloidalnego przez mocniejsze ogrzanie, albo strącone z roztworu koloidalnego zapomocą soli metali ciężkich, już nie przechodzą w roztwór koloidalny w zetknięciu z wodą; taka ich koagulacja jest nieodwracalna; natomiast skoagulowane przez t. zw. wysolenie, t. j. przez dodanie do ich roztworu znaczniejszych ilości soli kuchennej, siarczanu amonowego lub magnezowego, po odmyciu tych soli rozpuszczają się w wodzie ponownie, więc ich koagulacja przez wysolenie jest odwracalna. Atoli dające się anatomicznie wyróżnić części składowe tkanek roślinnych, z natury rzeczy mogą zachować odwracalność zjawisk pęcznienia tylko w pewnych granicach. Jest np. rzeczą prawie nie do pomyślenia, aby jakaś uorganizowana część składowa komórki roślinnej napęczniała aż do utworzenia roztworu koloidalnego, a potem z odciągnięciem wody w pełni wróciła do pierwotnej postaci i budowy. To też, gdy skrobia napęcznieje w temperaturze około 60° C aż do utworzenia kleiku, gdy napęcznieje prawie do rozplłynięcia się pod wpływem wodzianu potasowego albo chlorku wapniowego, to po utracie wody nie odtwarza już ziarenek w pierwotnej ich charakterystycznej formie i budowie. Tak samo straci pierwotną budowę błona komórkowa, gdy pod wpływem stężonego kwasu siarkowego, albo roztworu miedzi w amoniaku, napęcznieje poza pewne granice. Z drugiej strony, można z tkanki wyciągnąć nawet w skład jej wchodzące pewne ciała koloidalne bez zmienienia ich zasadniczych własności, jakie miały jako część składowa tkanki; tylko nie można ich napowrót zrobić częścią składową tejże. Więc np. albuminy i witeliny, wyciągnięte z nasienia zachowują własności zasadnicze, jakie miały w tkance niektóre krystaloidy, które wyciągnięte dają się nawet na zewnątrz wykryształizować ponownie; enzymy dają się wyciągnąć,

stracić w postaci proszku, który, rozpuszczony w wodzie na koloidalny roztwór, zachowuje swoje hydrolizujące działanie na pewne ciała, takie samo, jakie wykonywały w roślinie; ale wszystko to będzie tylko częściową, a nie zupełną odwracalnością zjawisk pęcznienia, bo nie odtworzy pierwotnej budowy systemów koloidalnych, w jakich te ciała występowały w tkance roślinnej. Pęcznienie i wysychanie tkanek roślinnych z pełnym zachowaniem odwracalności tych zjawisk, może się odbywać tylko w pewnych, dość ciasnych, granicach, które w różnych przypadkach są bardzo różne. Wzmiankowaliśmy już, że wiele porostów może wyschnąć tak, że dają się w tym stanie zetrzeć na proszek, a jednak mimo tego wyschnięcia zachować pełną odwracalność, bo po nowem napęcznieniu w zetknięciu z wodą może się taki porost dalej rozwijać. Nasiona wielu roślin dają się wysuszyć, tak że nie zawierają więcej jak 3—4% wody, a po zetknięciu z wodą pęcznią i kiełkują. Takiemu pęcznieniu i wyschnięciu mogą ulec kilkakrotnie bez szkody dla zdolności kiełkowania, zwłaszcza gdy w stanie napęczniałym pozostają tylko czas krótki, a zatem mamy tutaj zjawiska pełnej odwracalności pęcznienia. Atoli gdy proces kiełkowania po napęcznieniu już się rozpocznie, to ponowne wyschnięcie nie jest już bez szkody, a powtórzone kilkakrotnie nieodwołalnie powoduje śmierć zarodka. Im dalej kiełkujące nasionko posunęło się w rozwoju, tem rychlej przez wyschnięcie zamiera. Te części zarodka, które najdalej w rozwoju się posunęły, najwięcej przybrały wody, najprędzej też giną przez wyschnięcie, granica pełnej odwracalności wysychania jest u nich najniższa i zostaje przekroczona przy najmniejszej utracie wody. Ale to dalsze przybieranie wody podczas rozwoju rośliny z nasienia nie polega już na samym tylko pęcznieniu jego koloidalnych składników, ale przeważnie na innych zjawiskach, które z kolei musimy tu bliżej rozpatrzyć.

B) Pobieranie wody przez osmozę.

1. Powstawanie fazy płynnej w komórkach.

Mówiliśmy, że podczas tworzenia się galarety z roztworów emulsoidów następuje pewne odmieszanie się fazy stałej i płynnej systemu koloidalnego, płynna zbiera się w postaci kropeł w okach sieci, nitek czy ścianek, w które ścięła się reszta

emulsoidu. Taką samą strukturę przyjmujemy w galarecie powstałej przez pęcznienie stałego koloidu. Im większa jest pęczliwość danego koloidu, tem dalej postąpić może owo odmieszanie się fazy stałej i płynnej. Jeżeli weźmiemy pod uwagę pęcznienie nasienia, to z części składowej jego tkanek największą pęczliwością odznacza się protoplazma, tu zatem ów proces odmieszania postępuje najdalej. Drobne kropelki w oczkach gąbczastego utworu, jakim jest protoplazma, zlewają się z sobą w miarę postępującego pęcznienia w większe, tak, że powoli stają się one już pod mikroskopem widzialne, a protoplazma przybiera postać piankowatą. Ponieważ w ziarnie nawet przed jego napęcznieniem, prócz materiałów koloidalnych, z których jego tkanki są głównie złożone, znajduje się także nieco ciał istotnie w wodzie rozpuszczalnych, jak soli mineralnych, czasem cukru, pewnych azotowych związków organicznych, więc te ciała muszą się stopniowo rozpuszczać w wodzie wsiąkającej do ziarn podczas pęcznienia. Ten roztwór, po dalej idącym odmieszaniu się fazy płynnej w protoplazmie, będzie się oczywiście znajdował głównie w owych okach gąbczastej masy protoplazmatycznej. Wobec tego odmieszania, faza płynna protoplazmy będzie stanowiła nietylko rozcieńczony roztwór koloidalny, ale także częściowo roztwór molarny pewnych ciał. Z tą chwilą do pęczliwości koloidalnej przybywa nowy czynnik: pobieranie wody przez tkankę roślinną, t. j. t. zw. osmoza. Czemże ona jest?

2. Osmoza; Ciśnienie osmotyczne, wartość osmotyczna.

Oddawna wiadomo, że roztwór jakiegobądź rozpuszczalnego ciała w zetknięciu z wodą ma dążność do mieszania się z nią, do wzajemnej z nią wymiany, która trwa tak długo, dopóki stężenie tego roztworu i wody, z którą się styka, zupełnie się ze sobą nie wyrównają. Można się o tem przekonać, wlewając ostrożnie na spód cylindrycznego naczynia, np. do szklanki, nieco wody, a na wierzch alkoholu, albo na spód roztworu cukru lub jakiejś soli, a na wierzch wody, ale tak aby się te płyny z sobą nie pomieszały¹⁾. Zostawiając te płyny na czas

¹⁾ Można to skutecznie wlewając najprzód płyn lżejszy, a więc w pierwszym przypadku alkohol, w drugim wodę i wpuszczając potem pod płyn cięższy przez pipetę, zanurzoną do samego dna, w pierwszym przypadku wodę, w drugim roztwór cukru, czy jakiejś soli.

dłuższy, jeden nad drugim. będziemy się mogli przekonać, że powoli, w miejscu, w którym się one ze sobą stykają, będą się wzajemnie przenikały i proces ten, odbywający się zresztą bardzo wolno, trwać będzie tak długo, póki cały płyn nie przybierze takiego samego stężenia.

Jeżeli takie dwa płyny oddzielimy od siebie jakąś przegrodą, mogącą wchłaniać w siebie wodę i pęcznicę, np. pęcherzem, albo papierem pergaminowym, to mieszanie się owych płynów nastąpi także i przez tę przegrodę, to jest woda będzie przez nią przenikała do roztworu cukru, a roztwór cukru do wody, znowu tak długo, dopóki stężenie po obu stronach przegrody w zupełności się nie wyrówna. Ale w tym wypadku będzie zależało od własności przegrody, czy oba płyny będą przez nią przenikały z jednakową szybkością, czy też jeden będzie przenikał prędzej niż drugi. Jeżeli za przegrodę, oddzielającą roztwór cukru od wody, użyjemy np. pęcherza, to rychło zauważymy, że po stronie, gdzie daliśmy roztwór cukru, będzie płynu przybywało, co wskazuje, że woda przechodzi przez pęcherz prędzej, niż roztwór cukru.

To szybsze przechodzenie wody przez pęcherz i zwiększanie się objętości roztworu cukru nastąpi także i wtedy, gdy temu będzie przeciwdziałał pewien opór, który musi być pokonany. By się o tem przekonać, weźmy jakiś niewielki pęcherz, napełnijmy go roztworem cukru, ujście jego połączmy szczelnie szklaną rurką około 1 metra długości mającą i zanurzymy pęcherz do głębokości około $\frac{3}{4}$ w wodzie. Po pewnym czasie zauważymy, że pęcherz mocniej się wydmie i wszystkie jego fałdy się wyrównają, a płyn będzie się podnosił w rurce, umocowanej w pęcherzu, w końcu wypełni ją całkowicie i zacznie się przez jej brzeg przelewać. Zamiast całego pęcherza możemy użyć niewielkiego, około 300 cm³ objętości mającego, klosza szklanego z tubusem, owiązanego od dołu pęcherzem. Tak zaopatrzony klosz napełnijmy roztworem cukru, a tubus zatkajmy korkiem kauczukowym, w którym tkwi rurka szklana na jaki 1 m wysoka. Gdy teraz ten klosz umocujemy nad wodą, tak aby jego pęcherzowe dno było zanurzone na kilka milimetrów w wodzie, to po pewnym czasie płyn w kloszu, zwiększając swą objętość, zacznie się w rurce podnosić i w końcu dojdzie do jej szczytu. Nawet gdybyśmy zamiast prostej rurki umocowali w otworze korka dwuramienny rtęciowy manometr, to i wtedy objętość płynu będzie się w kloszu zwiększała i podnosiła rtęć

w zewnętrznym ramieniu rurki manometrycznej, wskazując na pewne hydrostatyczne ciśnienie płynu na ściany klosza. Gdybyśmy teraz usunęli z pod dna pęcherzowego klosza wodę, i dali w jej miejsce roztwór cukru o stężeniu większym, niż wewnątrz klosza, to nie tylko poziom rtęci w obu ramionach manometru zacznie się wyrównywać i w końcu zupełnie wyrówna, ale po dłuższym czasie zacznie się podnosić w ramieniu wewnętrznym, t. j. wskaże na wytworzenie się wewnątrz klosza ciśnienia ujemnego. Tak samo gdybyśmy pęcherz z roztworem cukru, już napęczniały w wodzie, wstawili do roztworu cukru o większym stężeniu, pęcherz straci swoje napięcie, a nawet się pofałduje.

Te proste doświadczenia wykazują, jak pod wpływem dążenia do wyrównania koncentracji po obu stronach przegrody, rozdzielającej dwa płyny, powstaje wewnątrz naczynia dodatnie lub ujemne hydrostatyczne ciśnienie. Tak wywołane ciśnienie nazywamy ciśnieniem osmotycznym, a zdolność pewnego roztworu do wywołania takiego ciśnienia jego wartością osmotyczną. Wielkość osmotycznego ciśnienia, jakie może powstać w naczyniu, wypełnionym roztworem pewnego ciała i odgrodzonym od innego roztworu przegrodą przepuszczalną dla wody zależy:

- 1) od różnicy wartości osmotycznej roztworu po obu stronach przegrody, a więc płynu wewnętrznego i zewnętrznego.
- 2) od różnicy przepuszczalności w przegrodzie dla wody i cząstek w niej rozpuszczonych.

3. Zależność ciśnienia osmotycznego od własności przegrody rozdzielającej płyny; przegrody współprzepuszczalne.

Nawet największe różnice wartości osmotycznej roztworu po obu stronach przegrody nie wywołują osmotycznego ciśnienia, jeżeli ta przegroda przepuszcza z równą łatwością cząstki rozpuszczone w wodzie, jak i samą wodę. Im trudniej natomiast te cząstki rozpuszczone przechodzą przez przegrodę, tem roztwór zamknięty nią w naczyniu silniej będzie wciągał wodę, stykającą się z tą przegrodą i tem większe ciśnienie osmotyczne w nim wywoła. Największego ciśnienia osmotycznego, spowodowanego przez dany roztwór, moglibyśmy się spodziewać wtedy, gdyby przegroda, oddzielająca go od wody, była dla

cząstek ciała w niem rozpuszczonych zupełnie nieprzepuszczalna, a przepuszczała samą tylko wodę. Przegrady o takich własnościach nazywamy *wpółprzepuszczalnemi*. Możemy sobie pomyśleć całą skalę przepuszczalności różnych przegród dla różnych cząstek rozpuszczonych w wodzie, od zupełnej przepuszczalności, przy której ciśnienie drogą osmozy wcale nie może powstać, aż do zupełnej nieprzepuszczalności, nazwanej powyżej *wpółprzepuszczalnością*, przy której dochodzi ono do maksimum.

Stosując to cośmy dopiero powiedzieli o zjawiskach osmotycznych i ciśnieniu osmotycznym, do pobierania wody z otoczenia przez tkanki roślinne drogą osmozy, możemy zgóry powiedzieć, że takie pobieranie możliwe jest pod dwoma warunkami:

1) że w komórkach danej tkanki znajduje się roztwór jakichś ciał, którego wartość osmotyczna jest większa, niż środowiska, z którego woda ma być pobierana,

2) że te części tkanki, które oddzielają roztwór od otoczenia, z którego woda ma być pobierana, są dla wody łatwiej przepuszczalne, niż dla cząstek, znajdujących się w tym roztworze, a najkorzystniejszym będzie, gdy cząstek wcale nie przepuszczają.

Zobaczymy, o ile te warunki są w tkankach roślinnych spełnione.

4. Komórka roślinna jako aparat osmotyczny.

Zauważyliśmy powyżej, że już w nasionach, będących w spoczynku, prócz ciał koloidalnych znajdują się także i takie, które z wodą tworzą roztwory molarne i przypuściliśmy, że one już podczas pęcznienia rozpuszczają się we wnikażącej do nasion wodzie, a gdy w dalszym przebiegu pęcznienia protoplazma przybiera piankowatą postać, gromadzą się w okach tej pianki. Skoro rozpocznie się już kiełkowanie, to ów proces odmieszania się fazy płynnej i stałej, a raczej półpłynnej w protoplazmie staje się coraz wyraźniejszy, zwłaszcza w komórkach zarodka, które zaczynają się rozrastać. W tkankach wierzchołkowych korzonka i łodyżki, t. j. tam, gdzie się komórki silnie dzielą, ten proces mniej jest w oczy bijący, ale opodał, w komórkach nieco starszych, widzimy, jak oka materji gąbczastej w protoplazmie, przedtem bardzo drobne, zlewają się w większe, wypełnione płynem i wyraźnie odgraniczone

od ziarnistej masy protoplazmy, tworząc t. zw. wodniczki, czyli wakuole, wypełnione cieczą, zwaną sokiem komórkowym. Im, z biegiem wzrostu, komórki stają się większymi, tem większą objętość zajmuje w nich ów sok komórkowy, bo owe wodniczki zwiększając się zlewają się z sobą w coraz większe, aż w końcu może dojść do tego, że wszystkie wodniczki złączą się z sobą w jeden wielki zbiornik cieczy, niemal że całkowicie wypełniającej wnętrze komórki a protoplazma bywa w takim przypadku zredukowana do dość cienkiej warstwy, wyściełającej wewnętrzną powierzchnię błony komórkowej i odgraniczającej tę ostatnią od soku komórkowego. Że płyn, znajdujący się w wodniczkach, nie jest czystą wodą, ale roztworem częściowo zapewne koloidalnym, a przedewszystkiem molarnym, o tem można się przekonać przez wyciśnięcie z tkanek roślinnych owego soku, przefiltrowanie go i zanalizowanie. Możemy w takim wyciśniętym soku znaleźć najrozmaitsze związki, tak organiczne, jak i mineralne, więc np. różne cukry, amidy, aminokwasy, sole kwasów organicznych i mineralnych i t. p. Wiemy np. że sok komórkowy, wyciśnięty z miazgi roztartego korzenia buraka, zawierać może kilka, nawet kilkanaście % cukru trzcinowego. Oczywiście taki roztwór wypełniał wodniczki w komórkach tego korzenia. Skoro tak, to mamy w tych komórkach zupełne podobieństwo z pęcherzem wypełnionym roztworem cukru, tylko zamiast ścian pęcherza mamy tu błonę komórkową wysłaną odewewnątrz warstwą protoplazmy. Ponieważ tak protoplazma, jak i błona komórkowa są zbudowane z materij koloidalnych, pęczliwych w wodzie, więc gdy taka komórka wejdzie w zetknięcie z wodą, to tak samo, jak w owym pęcherzu, nastąpić musi dążenie do wyrównania koncentracji między roztworem cukru, zawartym w komórce, a wodą, z którą się ona styka. Czy to wyrównanie koncentracji połączone będzie z przybywaniem wody do wnętrza komórki i zwiększaniem w niej hydrostatycznego ciśnienia, jak to ma miejsce w owym pęcherzu, czy nie, to już zupełnie będzie zależało od przepuszczalności dla cząstek cukru przegrody, oddzielającej sok komórkowy od wody t. j. od przepuszczalności dla nich błony komórkowej wysłanej protoplazmą. Jak się pod tym względem mają rzeczy łatwo się przekonać, wrzucając kawałek takiego buraka po opłukaniu do wody i pozostawiając w niej kilkanaście minut, lub choćby całą godzinę. Jeżeliby błony i protoplazma, zamykająca roztwór cukru w komórkach,

były dla cukru łatwo przepuszczalne, to czas ten wystarczyłby dla wyciągnięcia z niej przynajmniej znaczniejszej jego ilości, tak, że w wodzie, do którejśmy kawałek buraka włożyli, łatwo się potem cukier odnalazł¹⁾.

Tymczasem albo nie znajdujemy go wcale, albo zaledwo ślady. Z tego wniosek, że błony wysłane protoplazmą nie przepuszczają cukru, znajdującego się w soku komórkowym, na zewnątrz do wody, a więc zachowują się pod tym względem jeszcze oporniej, niż błona pęcherza, przez którą cukier przecież przechodzi, choć wolniej niż woda. Że woda przenika przez błonę i wysielającą ją protoplazmę do soku komórkowego, o tem możemy się przekonać, jeżeli kawałek buraka, przed włożeniem do wody, zważymy, a po wyjęciu go po pewnym czasie osuszmy po wierzchu bibułą i zważymy ponownie. Przybytek na wadze wskaże nam, że pewna ilość wody została przezeń wchłonięta. A zatem błona komórkowa, wysłana protoplazmą, pomyślana jako przegroda, oddzielająca roztwór cukru od wody, ma własności wółprzepuszczalne, t. j. przepuszcza przez siebie wodę, ale nie przepuszcza cząstek cukru t. zn. ma takie właśnie własności, jakie są potrzebne do wywołania możliwie największego ciśnienia osmotycznego przez roztwór cukru, jaki się znajduje w soku komórkowym. Ale czemuż ta przegroda zawdzięcza tę swoją wółprzepuszczalność? błonie komórkowej, czy protoplazmie? Jeżeli kawałek buraka przed włożeniem go do wody zamrozimy, albo ogrzejemy w parze wodnej ponad 80°C, albo wystawimy przez parę godzin na działanie par eteru, jednym słowem wystawimy na działanie czynników zabójczych na protoplazmę komórek wpływających, a potem dopiero włożymy do wody, to przekonamy się, że już po jakimś kwadransie moczenia znajdziemy w wodzie bardzo wydatną reakcję na cukier, co dowodzi, że on teraz jest już zupełnie łatwo wyciągany z komórek buraka przez wodę. Błony komórkowe przez takie traktowanie nie ulegają znacznej widocznej zmianie, natomiast w protoplazmie zachodzą zmiany głęboko sięgające i już nieodwracalne, z których najważniejszą rolę odgrywa koagulacja materij białkowatych.

Otóż tym zmianom w protoplazmie trzeba przypisać, że cu-

¹⁾ Cukier możemy wykryć gotując chwilę jego roztwór z kwasem solnym, lub siarkowym, dla zamienienia na glikozę, zobojętniając roztwór sodą i gotując potem z tak zw. płynem F e h l i n g a. Wydzielenie czerwonego tlenku miedziawego świadczy o obecności cukru.

kier łatwo już daje się z komórek wodą wypłukać. Jeżeli tedy w żyjącej komórce błony, wysłane protoplazmą, tworzą dla roztworu cukru, zawartego w soku komórkowym, przegrodę współprzepuszczalną, t. j. jeżeli przepuszczają wodę, ale nie przepuszczają cząstek cukru, to zawdzięczają to nie błonie, ale żyjącej protoplazmie. Z chwilą, gdy protoplazma zostaje zabita, przepuszcza ona cząstki cukru równie łatwo jak wodę.

Ale analiza soku, wyciśniętego z jakichbyś tkanek rośliny, wykazuje w nim, poza cukrem, obecność rozmaitych innych ciał rozpuszczalnych, a tych, z całych nienaruszonych, żyjących komórek, woda także prawie nie wypłukuje, a przynajmniej wypłukuje je w ilościach bardzo nieznacznych, w stosunku do tego, co może wypłukać, gdy tkanki w jaki bądź sposób zabijemy; znaczy to, że owa zupełna, a przynajmniej częściowa współprzepuszczalność żyjącej protoplazmy komórek¹⁾, odnosi się nie tylko do cukru, ale i do innych organicznych, czy mineralnych związków, jakie są rozpuszczone w soku komórkowym tkanek roślinnych. Jeżeli tak jest, to każdy z tych związków musi być w możności wywoływać, podobnie jak cukier, pobieranie wody do wnętrza komórki i wywoływanie w niej hydrostatycznego, osmotycznego ciśnienia, czyli turgoru. Należy zbadać, jaką jest wielkość tego ciśnienia i zależność od ilości i jakości ciał rozpuszczonych w soku komórkowym.

5. Wielkość turgoru i jakość ciał, które go wywołują w rosnących latoroślach.

Jak tę wielkość oznaczyć?

Jeżeli osmotyczne pobieranie wody wywołuje istotnie pewne hydrostatyczne ciśnienie soku komórkowego na ściany komórek, wyłożone protoplazmą, to o ile te ściany nie są zupełnie niepodatne, ale obdarzone pewną rozciągliwością i sprężystością, to muszą one być przez owo ciśnienie rozciągnięte ponad te wymiary, jakie by miały, gdyby temu rozciąganiu nie ulegały. Zobaczmy, czy coś podobnego zdarza się z rośliną? Weźmy jakąś rosnącą latorośl i poznamy na niej tuszem kreski w odstępach dokładnie wymierzonych np. co 20 mm jedna od drugiej, a to począwszy od wierzchołka, na dół ku

¹⁾ Pod częściową współprzepuszczalnością rozumiemy taką, gdzie przegroda przepuszcza wprawdzie nieco cząstek ciała, będącego w roztworze, ale jest dla niego znacznie mniej przepuszczalna niż dla wody.

podstawie. Zetnijmy teraz tę latorośl i pozwólmy jej zwiędnąć, a potem zmierzmy ponownie odstęp między owemi kreskami. Okaze się, że na pewnej przestrzeni od wierzchołka, tam, gdzie latorośl jeszcze rośnie, odstęp między kreskami po zwiędnięciu zmniejszyły się, tak, że zamiast 20 mm wynosić teraz będą tuż przy wierzchołku np. 16 mm, a dalej od wierzchołka 18¹/₂, 19, 19¹/₂, aż w pewnej od wierzchołka odległości wynoszą teraz jak przed zwiędnięciem 20 mm. To doświadczenie poucza nas, że latorośl w miejscach rosnących, w stanie świeżym, niezwiędniętym, była istotnie rozciągnięta ponad długość, jakaby miała, gdyby tej siły rozciągającej nie było. Że tą siłą rozciągającą było istotnie hydrostatyczne ciśnienie, na to wskazuje już okoliczność, że skurczenie się latorośli nastąpiło jako następstwo zwiędnięcia, a wszelkie pod tym względem wątpliwości usuwa to, że, gdy nadwiędniętą latorośl zanurzymy w wodzie, to wraz z jej powrotem do stanu pierwotnej jędrności, odstęp między kreskami powiększą się znowu do pierwotnej długości 20 mm jedna kreska od drugiej.

To proste doświadczenie nietylko udowadnia nam istnienie hydrostatycznego ciśnienia w komórkach latorośli, ale może nawet posłużyć do przybliżonego ocenienia jego wielkości. Istotnie, jeżeli umocujemy zwiędniętą latorośl w pionowym odwróconem położeniu, zawiesimy na jej zwróconym ku dołowi wierzchołku szalkę i tę ostatnią będziemy tak długo obciążać ziarnkami śrutu, aż odstęp między kreskami wróca do pierwotnej długości 20 mm, a potem oznaczymy ciężar śrutu, który był do takiego rozciągnięcia potrzebny, to w ten sposób znajdziemy przybliżoną miarę hydrostatycznego ciśnienia, jakie przed zwiędnięciem panowało przeciętnie w komórkach latorośli. Jeżeli ponad to oznaczymy wielkość poprzecznego przekroju latorośli na przestrzeni, na której najmocniej się skurczyła i obliczymy z tego, jaki ciężar śrutu wypadł na 1 cm² przekroju, to ciężar, wyrażony w kilogramach, da nam wielkość panującego w komórkach ciśnienia hydrostatycznego, czyli tak zw. turgoru, w atmosferach. Weźmy przykład. Latorośl, użyta do doświadczenia, miała łądygę cylindryczną, grubą na 2 mm, stąd przekrój oblicza się na 3.14 mm². Dla rozciągnięcia skurczonej łądyżki do pierwotnej długości trzeba było obciążyć ją 100 gramami. Stąd obliczymy ciężar potrzebny do rozciągnięcia łądygi o przekroju 1 cm²:

$$3.14 \text{ mm}^2 : 100 \text{ gr} = 100 \text{ mm}^2 : x \text{ gr}$$

$$x = 3.184 \text{ gr} = 3.184 \text{ kg na } 1 \text{ cm}^2 = 3.1 \text{ atmosf.}$$

Więc średnie ciśnienie hydrostatyczne, czyli średni turgor panujący w komórkach tej rosnącej latorośli, oblicza się w przybliżeniu na około 3 atmosfery, to zn., że komórki latorośli brały wodę z siłą, która przewyższała opór około trzech atmosfer. A czy taka siła wystarczałaby do pobrania jeszcze większej ilości wody i przewyciężenia jeszcze większego oporu? To zależy od tego, czy przedtem, nim latorośl oznaczono kreskami, miała ona do dyspozycji tyle wody, aby mogła w całości wyzyskać tę siłę pobierania jej, czy nie. W pierwszym przypadku turgor doszedłby do maksimum, odpowiadającemu sile osmotycznej soku komórkowego, w drugim byłby od niego niższy. Otóż w naturalnych warunkach, gdy roślina ciągle wyparowuje znaczne ilości wody, turgor zazwyczaj nie jest w maksimum; można się o tem przekonać, wycinając np. z rosnącej latorośli kawałek dokładnie odmierzonyj długości (np. 100 mm) i wkładając go do wody, aby umożliwić komórkom maksymalne pobranie wody. Jeżeli po jakiejś godzinie zmierzmy ponownie długość wyciętego kawałka, to znajdziemy, że się on wydłużył i zamiast 100 mm, ma teraz np. 102 mm długości, co dowodzi, że przed włożeniem do wody jego komórki nie wyczerpały jeszcze całej swej siły pobierania wody i były zdolne do dalszego jeszcze jej pobierania i przewyciężenia oporu jeszcze większego niż ten, który już przewyciężyły, pobierając w nietkniętej roślinie wodę dopływającą z korzeni. Chcąc w sposób powyżej podany oznaczyć całkowitą siłę, jaką rozporządzają komórki, pobierające wodę, trzeba by nakładaniem ciężarków rozciągnąć nadwiedniętą latorośl nie do tej długości, jaką ona miała przed zwiędnięciem, ale do tej, jakąby przybrała, będąc w maksimum turgoru. Taki maksymalny turgor mają komórki w roślinie wtedy, gdy ona wskutek silnie wilgotnego powietrza bardzo słabo paruje, a korzenie obficie wodę doprowadzają. Takie nasycenie wodą zdradza się u wielu roślin pojawianiem się na liściach kropelek wody, wydzielanych z hydatorodów. Gdybyśmy wtenczas właśnie naznaczyli na latorośli dwie kreski w ściśle odmierzonyj odległości, a po jej ścięciu i zwiędnięciu rozciągali ją ciężarkami do pierwotnej długości, to w tym przypadku moglibyśmy z ich wagi obliczyć przybliżenie wielkość całej osmotycznej siły ich komórek.

O tem, że turgor w komórkach odpowiada zwykle tylko części ich siły osmotycznej, a nie jej całości, możemy się

jeszcze przekonać w sposób bardzo prosty. Jeżeli koniec wyciętego kawałka łądygi rosnącej rozszczepimy dwoma głęboko sięgającymi prostopadłymi do siebie nacięciami podłużnymi, to utworzone 4 wycinki nie pozostaną proste, ale wygną się mniej lub więcej silnie nazewnątrz, tak, że od strony skórki będą wklęsłe, od strony rdzenia wypukłe. Z tego musimy wnosić, że w tkankach rosnącej latorośli panuje pewne napięcie, tak, że rdzeń rozciąga niejako tkanki zewnętrzne, te zaś są przezeń rozciągnięte. Siłą rozciągającą jest turgor komórek rdzenia i on to powoduje wygięcie wycinków rozszczepionej części łądygi. Jeżeli teraz tę rozciętą łądygę włożymy do wody, to już po krótkim czasie krzywizny wycinków bardzo znacznie się zwiększą, oczywiście wskutek tego, że komórki rdzenia, nasycając się wodą pobieraną dzięki sile osmotycznej, zwiększą swój turgor, rozciągną się bardziej i spowodują bierne zgięcie rozciąganych przez nie tkanek zewnętrznych. Z tego wszystkiego wniosek, że w nietkniętej roślinie komórki nie były jeszcze w maksimum turgoru, do jakiego są zdolne, bo nie miały sposobności pobrać tyle wody, aby swą siłą osmotyczną nasycić.

6. Wielkość turgoru w częściach rośliny, które swój wzrost już ukończyły. Badania plazmolityczne.

W rosnącej latorośli rozciągnięcie turgorowe daje się w powyżej opisanym sposobie wykazać tylko w tej części łądygi, która jeszcze rośnie, t. j. w której oznaczone kreski, jeszcze przez wzrost łądygi między niemi od siebie się oddalają. Dalej ku nasadzie łądygi, gdzie wzrost już się zakończył, a odstępy między porobionymi kreskami już i po upływie kilku dni się nie zwiększają, zostają one bez zmiany także i po zwiędnięciu gałązki, i pomiary nie wykazują nam tu żadnego skrócenia, więc nie były tu przez turgor rozciągnięte. Czy z tego należy wnosić, że w tych miejscach parcia hydrostatycznego soku na ściany już niema, że turgor jest właściwością tylko komórek rosnących? Bynajmniej. Z tego, że te starsze, już nie rosnące komórki nie ulegają rozciągnięciu przez turgor, wolno tylko wnosić, że turgor ich nie wystarcza do wywołania widocznego rozciągnięcia, ale nie, że turgoru niema wcale. Można by przypuścić, że on jest równie wielkim jak tam, gdzie rozciągnięcie

jest bardzo silne, a tylko błony komórkowe przez zgrubienie lub stwardnienie straciły swoją rozciągliwość. Otóż fizjologa obchodzi — i to bardzo — pytanie, czy w tych komórkach nie ulegających już rozciąganiu, turgor istnieje czy nie? Jeżeli istnieje, jak jest wielki? z jaką siłą takie komórki mogą wodę pobierać? wszak i starsze nie rosnące części korzenia nie kurczą się już przez zwiednięcie, a jednak niepodobna przypuścić, aby one wody osmotycznie nie pobierały, aby w nich nie było turgoru. Boć przecie one to właśnie pobierają wodę dla całej rośliny. Więc trzeba szukać innych jeszcze sposobów do oceny siły osmotycznego pobierania wody, tem więcej, że z owego kurczenia się latorośli mogliśmy oznaczyć tylko przybliżoną przeciętną siłę pobierania wody przez ich komórki, a jest pożądané, ażeby wielkość tej siły można było oznaczyć u każdej komórki roślinnej osobno, bez względu na to czy ona jeszcze rośnie i rozciąga się przez turgor, czy nie. Jakże to osiągnąć?

Przypomnijmy sobie, że pęcherz, napełniony roztworem cukru, który przez zanurzenie w wodzie doszedł do silnego napięcia i rozciągnięcia wskutek pobierania wody, traci to napięcie, a nawet fałduje się i kurczy, jeżeli go wstawimy do roztworu cukru o stężeniu większem, niż to, jakie ma roztwór wewnątrz pęcherza, bo działanie osmotyczne tego zewnętrznego roztworu nie tylko zrównoważyło, ale przewyższyło działanie roztworu wewnętrznego. Gdybyśmy stężenia cukru wewnątrz pęcherza nie znali, to zanurzając go w roztwory cukru coraz to innego, ale znanego stężenia, moglibyśmy w końcu znaleźć takie, które nie wywołuje ani mocniejszego jego naprężenia, ani też kurczenia; roztwór takiego stężenia byłby w równowadze osmotycznej z roztworem wewnętrznym i mógłby nam służyć za miarę jego osmotycznej siły pobierania wody. Skoro wewnątrz i zewnątrz jest roztwór cukru, to naturalnie taka równowaga nastąpiłaby wtedy, gdy wewnątrz i zewnątrz pęcherza roztwór miałby jednakie stężenie. Ale choćby wewnątrz pęcherza znajdował się nie roztwór cukru, ale jakiegoś innego ciała, któreby przez ściany pęcherza równie trudno przechodziło jak cukier, to i tak, zanurzając go do roztworu cukru różnego stężenia, moglibyśmy dojść do takiego, któreby zrównoważyło jego osmotyczne działanie i tem samem służyło za miarę jego osmotycznej wartości. Pomyślmy sobie teraz zamiast pęcherza z roztworem cukru komórkę roślinną z błoną, protoplazmą i sokiem

komórkowym, zawierającym rozpuszczone w nim jakiegobądź ciała osmotycznie działające, dla których protoplazma jest, jak już wiemy, prawie zupełnie nieprzepuszczalna. Jeżeli taka komórka umieszczona będzie w roztworze cukru, którego wartość osmotyczna jest większa, niż wartość osmotyczna soku komórkowego, to powinna się skurczyć i pofałdować, tak samo jak ów pęcherz z roztworem cukru włożony do bardziej stężonego roztworu. Ale sztywność błony dopuszcza tylko do nieznacznego skurczenia się komórek rosnących, a wcale nie dopuszcza skurczenia komórek, które wzrost już skończyły, natomiast protoplazma ma kurczliwość bardzo daleko idącą i skoro woda z soku komórkowego zacznie być odciągana przez zewnętrzny roztwór cukru, protoplazma będzie się tak jak ów pęcherz kurczyć i odstawać od błony. Im większa jest przewaga wartości osmotycznej owego zewnętrznego roztworu cukru nad wartością osmotyczną soku komórkowego, tem mocniej się ona skurczy; bo kurczyć się będzie tak długo, dopóki z soku komórkowego nie zostanie odciągnięte tyle wody, że jego wartość osmotyczna wyrówna się z wartością osmotyczną zewnętrznego roztworu cukru. Jeżeli więc np. wartość osmotyczna zewnętrznego roztworu cukru byłaby dwa razy większą niż soku komórkowego, to protoplazma kurczyłaby się tak długo, dopóki objętość soku komórkowego nie zmniejszyłaby się do połowy, bo wtedy właśnie jego stężenie, a więc i wartość osmotyczna, dwukrotnie się zwiększy i dojdzie do równowagi z wartością osmotyczną roztworu cukru, odciągającego mu wodę. Ta koncentracja roztworu cukru, która wywołuje pierwszy ślad kurczenia się protoplazmy, ujawniający się zaledwo dostrzegalnym odstawaniem jej od błony, odpowiada przybliżeniu wartości osmotycznej soku danej komórki i jest od niej cokolwiek tylko większa. To odstawanie protoplazmy od błony przez odciąganie jej wody, nazywamy plazmolizą i w oznaczeniu stężenia roztworu cukru, potrzebnego do wywołania pierwszych śladów tej plazmolizy, mamy dogodny sposób mierzenia wartości osmotycznej, a więc siły pobierania wody każdej komórki z osobna. Aby takich pomiarów dokonać, trzeba szereg skrawków z tkanki, o którą idzie, pokłaść do roztworów cukru o stopniowo wzrastających, dokładnie określonych, stężeniach, pozostawić je w nich przez pewien czas, wystarczający do wyrównania się osmotycznej wartości między nimi a roztworami, np. jakieś półgodziny, a potem badać je pod mikroskopem,

w kropli tych samych roztworów. Jeżeli znajdziemy, że u skrawków, trzymany w roztworach 2%, 4%, 5%, protoplazma we wszystkich komórkach ściśle przylega do błony, a u skrawków w roztworze 6% wszędzie już od błony odstaje, t. j., że rozpoczęła się już we wszystkich komórkach wyraźna plazmoliza, to wyprowadzimy stąd wniosek, że wartość osmotyczna soku komórek tej tkanki leży w granicach wartości osmotycznej roztworu cukru trzcinowego o stężeniu między 5 a 6%. Gdybyśmy teraz takie skrawki umieścili w roztworach cukru o stężeniach 5,1, 5,2, 5,3% aż do 6%, to znowu w ten sam sposób zacieśnilibyśmy jeszcze te znalezione granice i znaleźli dajmy na to, że wartość osmotyczna badanych komórek odpowiada np. wartości osmotycznej roztworu cukru o stężeniu między 5,5% a 5,6%. W ten sposób możemy ocenić z wielkim przybliżeniem wartość osmotyczną a więc siłę pobierania wody każdej komórki, jednak nie każdej z równą łatwością i dokładnością. Im łatwiej możemy w danej komórce zauważyć pierwsze ślady plazmolizy, tem dokładniej możemy ocenić jej wartość osmotyczną, stąd szczególnie dobrze nadają się do takich obserwacji takie komórki, które mają sok zabarwiony, bo wtedy najmniejsze odstawanie protoplazmy od błony łatwo jest dostrzegalne, gdyż płyn bezbarwny, wnikający między błonę a protoplazmę, otaczającą zabarwiony sok, odgranicza je od siebie wyraźnie. Dlatego ulubionym objektem do doświadczeń plazmolitycznych jest np. skórka z dolnej powierzchni liści *Tradescantia discolor*, z powodu obfite nagromadzonego w jej komórkach czerwonego antocjanu.

7. Wartość osmotyczna różnych komórek.

Robiąc takie plazmolityczne doświadczenia z komórkami rozmaitych tkanek u różnych roślin, znajdziemy, że ich wartość osmotyczna bywa bardzo rozmaita, u jednych np. już 5%-owy roztwór cukru wywołuje pierwsze ślady plazmolizy, w innych przypadkach trzeba do tego 10%, 20%, 30% lub nawet jeszcze więcej stężonego roztworu cukru. Nawet na tym samym skrawku tej samej tkanki nie wszystkie komórki mają jednakową osmotyczną wartość, tak, że gdy np. w roztworze 5% w niektórych komórkach danej tkanki dostrzegamy już ślady plazmolizy, to w innych protoplazma ściśle jeszcze przylega do ścianek, a zaczyna od nich odstawać dopiero np. w roztworze 5,1% albo 5,2%-owym.

8. Wartość osmotyczna soku komórkowego w turgorze i plazmolizie.

W sposób powyżej opisany możemy oznaczyć, z pewną dokładnością, wartość osmotyczną tylko takich komórek, które mają ścianki tak sztywne, że turgor ich już nie rozciąga, albo przynajmniej rozciąga je tylko w minimalnej mierze. Jeżeli natomiast, jak to ma miejsce np. w młodych, rosnących jeszcze komórkach, ścianki są rozciągliwe i objętość komórki badanej w stanie turgoru jest wydatnie większa, niż po jego usunięciu, to wartość osmotyczna, znaleziona przez obserwowanie pierwszego śladu plazmolizy będzie większa niż była w komórce rozciągniętej jeszcze przez turgor; bo jasną jest rzeczą, że w tej ostatniej koncentracja soku komórkowego była o tyle mniejszą, o ile większą była objętość komórki, gdyż ta sama ilość ciał rozpuszczonych mieściła się w większej objętości. Jeżeli tedy np. komórka w stanie turgoru ma objętość o 10% większą niż po jego usunięciu, to koncentracja soku komórkowego, a tem samem i wartość osmotyczna, była w stanie turgoru o 10% mniejsza niż wtedy, gdy stracił on tyle wody, że turgor ustał i pojawiły się pierwsze ślady plazmolizy. O ile zatem potrafimy oznaczyć stosunek objętości komórki, w stanie splazmolizowanym do jej objętości w stanie turgoru, to oczywiście nic prostszego, jak znalezioną drogą plazmolizy wartość osmotyczną przeliczyć na wartość osmotyczną komórki w stanie turgoru, bo trzeba tylko znalezioną wartość pomnożyć przez ten stosunek. Jeżeli przez O oznaczymy wartość osmotyczną, znalezioną przez plazmolizę, a przez O_t wartość osmotyczną komórki w turgorze, przez V objętość komórki po usunięciu rozciągnięcia turgorowego, a przez V_t objętość w stanie turgoru, to

$$O_t = O \cdot \frac{V}{V_t} .$$

Oczywiście tylko O jest wielkością, mogącą charakteryzować wartość osmotyczną komórki, bo przy danej ilości i jakości ciał rozpuszczonych w jej soku jest stałą, natomiast O_t zależy od V_t , a więc z jednej strony od rozciągliwości błon komórki, z drugiej od stopnia nasycenia zdolności osmotycznego pobierania wody, więc od stosunku doprowadzania wody, do parowania. Gdy błony komórki tracą rozciągliwość, to V_t równe jest V , i wtedy O_t równe O , t. j., wartość osmotyczna, znaleziona drogą plazmolizy stosuje się także i do komórki, będącej

w pełnym turgorze. Im błony komórkowe są więcej rozciągliwe, tembardziej V_t jest większe od V a temsamem $O_t < O$. Różnica między O_t i O jest oczywiście tem większa, im turgor komórki bardziej zbliża się do maksymalnego.

Ale wielkość O , t. j. wartość osmotyczna komórki u progu jej plazmolizy, możemy, jak wskazał na to Höfler¹⁾, oznaczyć w inny jeszcze sposób, niż ten, któryśmy dotąd omawiali i to nieraz nawet dokładniej. Jeżeli skrawek tkanki umieścimy w roztworze cukru o stężeniu większem niż potrzebne do wywołania pierwszego śladu plazmolizy, wówczas plazmoliza pójdzie dalej: protoplazma zacznie w różnych miejscach od błony odstawać, przyjmować nawet formy nieregularne wskutek swej przyczepności do błony, ale w końcu, gdy zewnętrzny płyn odciągnie już w komórce tyle wody, że wartość osmotyczna soku komórkowego dojdzie z nim do równowagi, to powoli protoplazma z zawartym w niej sokiem komórkowym, wskutek wspólnego wszystkim płynom napięcia powierzchniowego, zaokrągla się, przybierając formę kuli, elipsoidu lub cylindra, zakończonych wypukłemi meniskami, więc geometrycznej bryły, której objętość może być przez odpowiednie pomiary mikrometryczne dokładnie oznaczona. Do tej objętości zredukowany jest zatem sok komórkowy łącznie z protoplazmą w chwili, gdy jego wartość osmotyczna wskutek odciągnięcia mu wody, stanie się równą wartości osmotycznej roztworu cukru, do któregośmy skrawek włożyli.

Jest rzeczą jasną, że wartość osmotyczna jest tyle razy większą, od wartości osmotycznej tegoż soku u progu plazmolizy, kiedy jeszcze protoplazma całkiem przylegała do błony, ile razy objętość tej ściągniętej protoplazmy z sokiem jest mniejszą od objętości całej komórki.

Jeżeli objętość komórki u progu plazmolizy oznaczymy przez V , objętość protoplazmy i soku po splazmolizowaniu przez V_p , wartość osmotyczną roztworu cukru, użytego do splazmolizowania przez O_p a szukaną wartość osmotyczną soku komórkowego u progu plazmolizy przez O , to z tego, co powiedzieliśmy, wynika, że $O V = O_p V_p$, więc $O = O_p \frac{V_p}{V}$.

Gdybyśmy teraz ten sam skrawek wkładali kolejno do roz-

¹⁾ Karl Höfler. »Die plasmolitisches-volumetrische Methode und ihre Anwendung zur Messung des osmotischen Wertes lebender Pflanzenzellen«. Berichte der deutschen botanischen Gesellschaft, Band 35, 1918. S. 706.

tworów cukru o coraz większym stężeniu, zostawiając go w każdym z nich dość długo, aby równowaga między roztworem a sokiem komórkowym się ustaliła, to objętość protoplazmy z sokiem coraz bardziejby się zmniejszała, tak, że gdy wartości osmotyczne tych roztworów będą $O < O_{p_1} < O_{p_2} < O_{p_3}$, to objętości będą $V > V_{p_1} > V_{p_2} > V_{p_3}$ i t. d., a iloczyny z tych objętości przez wartości osmotyczne roztworów będą sobie równe: $OV = O_{p_1}V_{p_1} = O_{p_2}V_{p_2} = O_{p_3}V_{p_3}$ i t. d., a szukana wartość osmotyczna u progu plazmolizy będzie

$$O = \frac{O_{p_1} V_{p_1}}{V} = \frac{O_{p_2} V_{p_2}}{V} = \frac{O_{p_3} V_{p_3}}{V} \text{ i t. d.}$$

A więc wartość osmotyczną komórki u progu plazmolizy możemy obliczyć, plazmolizując ją roztworem cukru dowolnego stężenia i oznaczając stopień plazmolizy, t. j. stosunek objętości splazmolizowanego protoplastu z sokiem komórkowym, do objętości komórki. Jąkielkolwiek jest stężenie roztworu cukru, użytego do plazmolizowania, obliczona z niego wartość osmotyczna komórki u progu plazmolizy powinna wypaść ta sama.

Pomiary Höflera dokonane na komórkach *Tradescantia gujanensis*, splazmolizowanych roztworami cukru różnej koncentracji, zupełnie ten wniosek potwierdzają.

Oto ich rezultaty:

Koncentracja roztworu cukru plazmolizującego w %	Stosunek objętości protoplastu w stanie plazmolizy do objętości komórki	Koncentracja cukru równoważąca wartość osmotycz. komór. u progu plasm. $O = O_p \frac{V_p}{V}$
O_{P_1} 10.26%	$\frac{V_{P_1}}{V} = 0.585$	$O = 6.002$
O_{P_2} 11.97%	$\frac{V_{P_2}}{V} = 0.494$	$O = 5.913$
O_{P_3} 15.39%	$\frac{V_{P_3}}{V} = 0.382$	$O = 5.879$
O_{P_4} 20.52%	$\frac{V_{P_4}}{V} = 0.287$	$O = 5.889$

Jak widzimy, wartość osmotyczna komórek u progu plazmolizy wypada zawsze przybliżenie ta sama, bez względu na to,

jaką była koncentracja cukru użyta do plasmolizowania. Ale trzeba tu zrobić jedno zastrzeżenie: iloczyny OV , O_{p_1} , V_{p_1} , O_{p_2} , V_{p_2} , O_{p_3} , V_{p_3} i t. d. będą sobie równe tylko o tyle, o ile protoplazma i sok komórkowy oddają wodę zewnętrznemu hipertonicznemu płynowi jednakowo, zatem jednako też zmniejszają swoją objętość, o ileby natomiast protoplazma oddawała mniej wody lub nie oddawała jej wcale i tem samym objętości swej nie zmniejszała, tak, że zmniejszałyby się wyłącznie objętość soku komórkowego w wodniczce, to naturalnie ten iloczyn, a tem samym cała wartość znaleziona dla O byłaby od prawdziwej tem większą, im więcej jest w komórce protoplazmy w stosunku do soku komórkowego. Ponieważ nie może ulegać wątpliwości, że protoplazma na tę samą objętość traci mniej wody, niż sok komórkowy, przeto owe pomiary objętości skurczonego protoplastu mogą wtedy tylko dawać zupełnie pełną miarę wartości osmotycznej soku komórkowego, gdy objętość samej protoplazmy jest w stosunku do soku komórkowego dość mała, aby ją można było w rachunku zaniedbać.

Tak więc, z pomocą doświadczeń plazmolitycznych, możemy z mniejszą lub większą dokładnością oznaczyć wartość osmotyczną, a więc siłę pobierania wody jakiegokolwiek komórki roślinnej, wyrażoną w wartości osmotycznej roztworu cukru, potrzebnego do jej zrównoważenia. Aby jednak ocenić absolutną wielkość owej siły, pobierającej wodę, t. j. oporu, jakiby zdolna była przewyciężyć, trzeba by znać wielkość tej siły u owego roztworu cukru, który ją równoważy.

9. Absolutna wielkość siły pobierania wody przez roztwory cukru, wyrażona w atmosferach. Doświadczenia Pfeffera.

Już w powyższych obliczeniach przyjmowaliśmy milcząco, że wartość osmotyczna roztworu cukru jest proporcjonalna do jego koncentracji. Dzisiaj wiemy, że tak jest istotnie, ale swego czasu, gdy fizjologowie zaczęli się temi sprawami zajmować, jeszcze to nie było udowodnione, ponadto, choćby z góry przyjąć tę proporcjonalność jako rzecz rozumiejącą się ponieważ samą z siebie, trzeba było wymierzyć w pewnych mechanicznych jednostkach, np. centymetrach kolumny rtęci w manometrze, albo w atmosferach, wielkość siły osmotycznej roztworu

cukru jakiegoś określonego stężenia, t. j. wymierzyć wielkość oporu, jaki w pobieraniu wody ten roztwór jest w stanie przezwyciężyć. Takie zadanie, dla objaśnienia turgoru w komórkach rośliny, postawił sobie swego czasu Pfeffer, a że ówczesna fizyka nie dawała jeszcze nań odpowiedzi, podjął sam czysto fizyczne doświadczenia nad dokonaniem takich pomiarów, które skutecznie przeprowadzone, stały się podwaliną dzisiejszej chemji fizycznej.

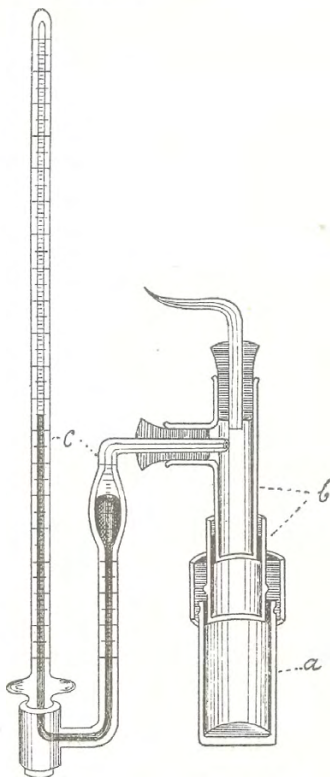
Zasada doświadczeń była bardzo prosta, bo chodziło tylko o wykonanie manometrycznych pomiarów hydrostatycznego ciśnienia, wywołanego przez roztwór cukru określonego stężenia i sprawdzenia potem, o ile to ciśnienie jest proporcjonalne do stężenia. Cała trudność polegała na tem, aby mieć do dyspozycji przegrodę istotnie wóółprzepuszczalną, a obok tego taką, aby bez zniszczenia mogła wytrzymać ciśnienie, którego manometryczny pomiar miałby być wykonany. Taką przegrodą, jak widzieliśmy, są poniekąd ścianki komórek łącznie z wysięlającą je protoplazmą, ale nie jest nią ani pęcherz, ani papier pergaminowy, ani żadna naturalna błona zwierzęca, jakaby się można było posłużyć do zbudowania aparatu osmotycznego, albowiem każda taka błona przepuszcza, choć trudniej niż wodę, także ciała w niej rozpuszczone, np. też i cząsteczki cukru i dlatego ciśnienie powstające w przestrzeni odgraniczonej od wody taką błoną, nie może osiągnąć tej maksymalnej wielkości, jakaby roztwór cukru danego stężenia był jeszcze w stanie wywołać.

Błony sztuczne istotnie wóółprzepuszczalne, przynajmniej dla niektórych roztworów, udało się poraz pierwszy otrzymać w roku 1865 Traubemu, przez zetknięcie na znaczniejszej przestrzeni dwóch płynów, które dają z sobą koloidalny osad. Jeżeli np. wprowadził ze sobą w zetknięcie roztwory kleju i garbnika, albo siarczanu miedziowego i żelazosinku potasowego, to na granicy między niemi tworzyły się błony, które nie przepuszczały żadnego z tych płynów i nie pozwalały im mięszać się ze sobą, choć łatwo przepuszczały wodę. Jeżeli np. rurkę otwartą, z roztworem stężonym siarczanu, lub azotanu miedziowego, zatkaną u góry palcem, zanurzyć w roztwór żelazosinku potasowego, to na granicy owych płynów utworzy się brunatna błonka żelazosinku miedziowego. O ile roztwór żelazosinku potasowego będzie więcej rozcieńczony, to przez tę błonkę będzie z niego do siarczanu miedziowego wnikała wo-

da, tylko oczywiście w rurce nie wytworzy się znaczniejsze ciśnienie, bo błonka jest zbyt delikatna, aby mogła takie ciśnienie wytrzymać; jednakże, jeżeliby ją oprzeć na jakiejś mocnej, a dla płynów przenikliwej przegrodzie, np. na porowatej wypalanej glinie, to możnaby w ten sposób otrzymać wółprzepuszczalną przegrodę o wytrzymałości dostatecznie wielkiej, aby mogła służyć do manometrycznych pomiarów osmotycznego ciśnienia o znacznem napięciu.

Taką jest właśnie zasada, na której Pfeffer w swojej klasycznej pracy nad ciśnieniem osmotycznym¹⁾ zbudował przyrząd do jego mierzenia.

Tym przyrządem badał głównie wielkość osmotycznego ciśnienia, jakie wywołują może roztwór cukru rozmaitego stężenia. Można powiedzieć, że ten przyrząd zbudowany był zupełnie na podobieństwo komórki roślinnej. Rysunek jego widzimy na ryc. 1. Za ściankę, odpowiadającą błonie komórkowej, służyła komórka z porowatej gliny (a. ryc. 1), taka, jaką się używa do baterij galwanicznych, mająca około 75 cm³ objętości. W tej komórce uszczelniona była zapomocą laku rurka szklana (b), z boczną dla założenia manometru (c). Zapomocą odpowiedniej manipulacji, polegającej na wymyciu komórki alkalicznymi i kwasami, nastrzyknięciu pod pompą jej ścianek wodą, zanurzeniu na czas dłuższy w roztworze siarczanu miedziowego, wypłukaniu tegoż i napełnieniu z kolei

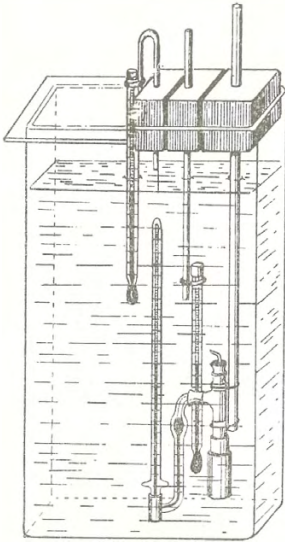


Ryc. 1. Przyrząd osmotyczny Pfeffera.

żelazosinkiem potasowym, doprowadzano do wysłania wewnętrznej ścianki tej glinianej komórki błoną żelazosinku miedziowego. Ta błona odgrywała tu taką samą rolę, jak protoplazma w komórce roślinnej, t. j., była wółprzepuszczalna, przepuszczała przez siebie bez trudności wodę, ale nie przepuszczała cząsteczek rozpuszczonego w niej cukru. Gdy zatem do tak

¹⁾ W. Pfeffer »Osmotische Untersuchungen« Leipzig, 1877.

spreparowanej, sztucznej komórki, dać było roztwór cukru znanego stężenia i trzymać ją w wodzie, to powoli można było obserwować na manometrze wzrost ciśnienia, aż do tej granicy, która stanowiła miarę ciśnienia osmotycznego, jakie ten roztwór cukru był w stanie wywołać¹⁾.



Ryc. 2. Urządzenie doświadczenia z przyrządem osmotycznym, w/g Pfeffera.

Urządzenie doświadczenia przedstawia ryc. 2, według Pfeffera: W dużym naczyniu, wypełnionem wodą, zanurzony jest przyrząd osmotyczny, opisany powyżej, odrysowany na ryc. 1, którego komórka i rurki ponad nią (a i b z ryc. 1), wypełnione są badanym roztworem (cukru lub t.p.), aż do zetknięcia się z rtęcią w manometrze. Roztwór ten wciąga, poprzez porowatą ścianę komórki a i poprzez błonę wółprzepuszczalną, wodę z naczynia zewnętrznego (ryc. 2) a powstałe stąd ciśnienie odczytuje się na manometrze, który również całkowicie zanurzony jest w wodzie. Temperaturę wody wskazują dwa, uwidocznione na rysunku termometry.

Ogromną wyższość takich błon sztucznych z żelazosinku miedziowego, nad dawniej używanymi do doświadczeń osmotycznych błonami z pęcherza, lub papieru pergaminowego, widać z nastę-

pujących liczb, które podają ciśnienia manometryczne, obserwowane przez Pfeffera dla 6% roztworu różnych ciał, w przestrzeni zamkniętej temi błonami:

¹⁾ O ile prostą jest zasada konstruowania takiej sztucznej komórki o wółprzepuszczalnej błonie, o tyle niełatwe jest takie poprawne jej praktyczne wykonanie, aby mogła służyć do dokładnych pomiarów; zwłaszcza wtedy, gdy roztwory są bardziej skoncentrowane, a więc, gdy idzie o ciśnienia znaczniejsze, które łatwo powodują przerwanie błony, jeżeli ona jest wadliwie założona. Szczególniej dużo zależy na tem, żeby ścianki były jak najdokładniej nastrzyknięte wodą i nie zawierały wcale powietrza. W klasycznej cytowanej powyżej pracy Pfeffera wszystkie szczegóły postępowania i ostrożności jakie należy zachować w konstruowaniu tej sztucznej komórki są dokładnie opisane.

Odsyłając czytelnika do tego opisu, nadmieniamy jeszcze tylko, że dla uniknięcia tego, aby mimo wszelkich ostrożności podczas doświadczenia z dokonywaniem pomiarów, nie utworzyła się przecież w błonie jakaś szczelinka, którąby ciało rozpuszczone wewnątrz komórki mogło z niej na zewnątrz dyfundować, Pfeffer dodawał zawsze do wody zewnętrznej nieco (nie więcej

Wielkość ciśnienia w cm rtęci przy użyciu za błonę:

	Papieru pergaminowego	Pęcherza	Błony żelazo- sunku miedziowego.
6% guma arabska	17,9	13,2	25,8
6% klej	21,3	15,4	23,7
6% cukier trzcinowy	29,0	14,5	287,7
6% saletra	20,4	8,9	700,0

Widzimy, że o ile idzie o koloidy, różnice w ciśnieniu, osiągniętem z pomocą różnych błon, są stosunkowo niewielkie, ale gdy chodzi o krystaloidy, to ciśnienia, osiągnięte z błonami z żelazosunku miedziowego są dziesięciokrotnie lub nawet kilkadziesiątkrotnie większe niż przy użyciu pęcherza lub papieru pergaminowego. Przyczyna leży w tem, że pęcherz czy papier pergaminowy prawie nie przepuszczają przez siebie ciał koloidalnych takich, jak guma lub klej, ale przepuszczają stosunkowo łatwo cząstki krystaloidów takich, jak cukier lub saletra. Dlatego to, używając takich błon, osiąga się prawie, że maksymalne ciśnienie, jakie wywołać są w stanie roztwory ciał koloidalnych, ale tylko małą cząstką ciśnienia, jakie może wytworzyć roztwór ciała, należącego do krystaloidów, a więc takiego, jak saletra lub cukier. Błona z żelazosunku miedziowego, jest w równym stopniu nieprzepuszczalną dla cukru, jak i dla gumy lub kleju, stąd dopuszcza do powstania w przestrzeni, którą zamyka, pełnego ciśnienia osmotycznego, odpowiadającego zdolności osmotycznej tego roztworu, a które, jak widzimy, jest z górą dziesięciokrotnie większe, niż to, które wywołać może roztwór gumy lub kleju takiego samego stężenia.

Z pomocą takich komórek wymierzał Pfeffer dokładnie

jak 0,1%) siarczanu miedziowego, a do środka równoważną ilość żelazosunku potasowego, tak, aby w razie jakichś nieszczelności, zetknięcie się przez nią obu tych membranogenów znów uzupełniło błonę.

Po Pfefferze wprowadzono w zestawieniu takiej komórki osmotycznej różne ulepszenia, które pozwalają pewniej używać jej nawet do wyższych ciśnień. Na podstawie spostrzeżeń w pracowni chemji rolniczej Uniwersytetu Jagiellońskiego, mogę polecić przepis, podany bardzo dokładnie przez Königa (Landwirtschaftliche Versuchszationen Band, 68, 1908, 58), a także w jego podręczniku »Die Untersuchung landwirtschaftlich und gewerblich wichtiger Stoffe«, IV Aufl. Berlin 1911, str. 80. Do skonstruowania komórki używa się tu t. zw. świecy Chamberlanda, jaką się posługujemy do filtrowania, a główne ulepszenie polega na przepojeniu jej ścian żelatyną.

maksymalną granicę ciśnień osmotycznych roztworów cukru rozmaitego stężenia, a tem samem mógł sprawdzić, o ile te granice, a więc wartości osmotyczne roztworów cukru były proporcjonalne do ich stężenia. Przytoczmy przykład:

Stężenie roztworu cukru ¹⁾	Ciśnienie w cm rtęci	Ciśnienie w atmosf.	Ciśnienie podzielone przez stężenie:	
			w cm. rtęci	w atmosf.
1%	52,1 cm.	0,686	52,1	0,686
2%	101,6 „	1,337	50,8	0,668
4%	208,2 „	2,739	52,0	0,685
6%	307,5 „	4,045	51,2	0,674

Widzimy z tych liczb, a przede wszystkim z bardzo przybliżonej stałości stosunku ciśnienia do stężenia roztworu, że zdolność osmotyczna roztworów cukru jest proporcjonalna do ich stężenia, tak, że na każdy procent cukru przypada ciśnienie około 51,5 cm rtęci = 0,674 atmosfer, czyli okrągło około 0,7 atmosfer.

Już na podstawie tych danych możemy przybliżenie określić w atmosferach maximum turgoru, jaki jakabądź komórka jest w stanie osiągnąć przez działanie osmotyczne swego soku komórkowego; należy tylko procentową koncentrację roztworu cukru, potrzebną do zrównoważenia wartości osmotycznej soku komórkowego u przodu plazmolizy, pomnożyć przez 0,7.

10. Udział różnych ciał, zawartych w soku komórkowym w wytwarzaniu turgoru. Wartość osmotyczna różnych związków rozpuszczalnych w wodzie.

Nie wystarczy nam umieć ocenić wielkość wartości osmotycznej soku komórkowego i turgoru, wywołanego przez ciśnienie osmotyczne, muszą nas jeszcze interesować pytania, jakie czynniki go wywołują, jak każdy ze składników rozpuszczonych w soku komórkowym wpływa na tę wartość osmotyczną i o ile całkowita ta wartość równa jest lub nie, sumie wartości osmotycznych każdego z tych składników z osobna? Ponieważ w soku komórek roślinnych znajdują się rozpuszczone najrozmaitsze

¹⁾ Pod stężeniem rozumiemy tu ilość gramów cukru rozpuszczonej w 100 cm³ roztworu. ²⁾ Obserwacje przeciętne z 5 oznaczeń.

ciała, tak organiczne jak i mineralne, więc nastęrczało się pytanie, jaką jest wartość osmotyczna każdego z nich i czy także jest proporcjonalna do jego koncentracji. To też Pfeffer w doświadczeniach ze swoją sztuczną komórką, nie ograniczył się do samych roztworów cukru, ale podobne pomiary osmotycznego ciśnienia robił także z gumą arabską, dekstryną, z klejem, saletrą i siarczanem potasowym. Doświadczenia te odrazu wykazały, że roztwory tego samego stężenia procentowego różnych ciał wywołują w owej sztucznej komórce ciśnienia bardzo różne. I tak, używając jednoprocentowych roztworów tych różnych ciał, znalazł Pfeffer następujące ciśnienia:

1%	roztwór cukru	dał ciśnienie	52,1	cm	rtęci
1%	„ dekstryny „ „		16,6	„	„
1%	„ saletry „ „		175,8	„	„
1%	„ siarczanu potasowego		192,3	„	„

Z tego widzimy, że maksymalny turgor komórki nie może zależeć jedynie od ogólnego, procentowego stężenia jej soku komórkowego, ale w najwyższej mierze zależy także od jakości ciał, w nim rozpuszczonych. Wobec tego, tem więcej trzeba było poznać zdolność osmotyczną każdego z nich.

Wartość osmotyczna każdego z roztworów cukru okazała się proporcjonalną do ich stężenia. Pytanie, czy stosuje się to także do ciśnień osmotycznych, wywołanych przez inne ciała?

W tym kierunku wykonał Pfeffer doświadczenia z saletrą, napełniając swoje komórki roztworem 1%, 2% i 4% tej soli. Największe ciśnienie, do jakiego doszło w komórce wynosiło:

W komórce, do której dano			Stosunek		
1%	roztworu saletry	130,4 cm rtęci	1,715	atmosf.	1
2%	„ „	218,5 „ „	2,875	„	1,675
3%	„ „	436,8 „ „	5,736	„	3,335

Więc wzrost ciśnienia był tu znacznie słabszy, niżby wymagała proporcjonalność do stężenia roztworu. Ale tak też być musiało, gdyż okazało się, że błona żelazosinku miedziowego nie była dla cząstek saletry całkowicie nieprzepuszczalną, tak, jak była nią dla cząstek cukru. Istotnie, podczas, gdy badanie ciężaru gatunkowego roztworu cukru w komórce, po skończonem doświadczeniu, nie wykazało w nim żadnej zmiany, to natomiast wykazało znaczne zmniejszenie ciężaru gatunkowego roztworów

saletry. Roztwór 1% na początku doświadczenia zeszedł do 0,8%, roztwór 2% do 1,43%, a roztwór 4% do 3,3% na końcu doświadczenia. Stąd wynika, że z pomocą owej sztucznej komórki, nie da się dokładnie oznaczyć wartości osmotycznej saletry, to samo stosuje się także do siarczanu potasowego, tyle tylko wykazało się napewno, że każda z tych soli w równym procentowym stężeniu ma większą wartość osmotyczną, niż cukier trzcinowy.

11. Doświadczenia plazmolityczne de Vriesa nad wartością osmotyczną różnych ciał.

Roztwory izotoniczne.

Rezultaty doświadczeń Pfeffera nie wystarczały fizjologom, trzeba było jeszcze dokładnie oznaczyć wartość osmotyczną różnych ciał, spotykanych w soku komórkowym o pewnym określonym stężeniu. Ponieważ nie udało się otrzymać sztucznej błony, któraby była w tym stopniu nieprzepuszczalną dla tych różnych ciał, jak błona z żelazosinku miedziowego dla cukru, trzeba się było uciec do innego sposobu. Zrobił to de Vries¹⁾ w r. 1884, więc w 7 lat po omówionej wyżej pracy Pfeffera. Oparł się on na wółprzepuszczalnych własnościach samej komórki roślinnej, a właściwie jej protoplazmy; metoda jego była niezmiernie prosta, polegała bowiem na oznaczeniu tej koncentracji roztworów rozmaitych ciał, która wystarczała do wywołania pierwszych śladów plazmolizy u danego obiektu. O ile u tego obiektu wartość osmotyczna soku komórkowego, u progu plazmolizy była jednakowa, to wszystkie te roztwory różnych ciał, które wywoływały u niego pierwszy ślad plazmolizy, miały taką samą wartość osmotyczną, pod warunkiem, że protoplazma była względem nich wszystkich istotnie wółprzepuszczalna, t. j., że przepuszczając wodę, nie przepuszczała w ciągu czasu, przez który trwało doświadczenie, cząstek ciała w niej rozpuszczonego.

Oczywiście, że do doświadczeń musiały być dobrane takie tkanki, których komórki miały przybliżenie jednaką wartość osmotyczną, a obok tego łatwo pozwalały dostrzec pierwsze ślady plazmolizy. Do tego nadają się szczególnie dobrze takie komórki, których sok jest zabarwiony, dlatego de Vries uży-

1) De Vries: »Analyse der Turgorkraft«, Jahrb. für wissensch. Botanik, 1884.

wał głównie skórki z dolnej strony liści *Tradescantia discolor*, albo ostrzyszu (*Curcuma rubicaulis*) lub wreszcie kosmków z ogonków liściowych begonii (*Begonia manicata*).

W przeciwieństwie do Pfeffera, który do swoich pomiarów ciśnienia osmotycznego w sztucznych komórkach, używał roztworów pewnego stężenia procentowego, de Vries przyrządzał do swoich doświadczeń roztwory, o określonym stężeniu cząsteczko-gramowym, więc za punkt wyjścia brał płyny, które zawierały w jednym litrze tyle gramów danego ciała, wiele wynosi jego waga cząsteczkowa i dopiero takie płyny odpowiednio rozcieńczał. W ten sposób porównywał ze sobą działanie plazmolizujące płynów, które zawierały w litrze nie 10, 20, 30, 40 i t. d. gramów, ale 0,1, 0,2, 0,3 i t. d. cząsteczek gramowych danego ciała. Otóż okazało się zaraz w pierwszych doświadczeniach, że dla całego szeregu ciał, stężenie cząsteczko-gramowe, wywołujące pierwsze ślady plazmolizy w pewnych danych komórkach, było jednakowe. Jeżeli więc pierwsze ślady plazmolizy w komórkach skórki *Tradescantia* wywoływał roztwór 0,2 cząsteczko-gramowy cukru trzcinowego, to zupełnie taki sam skutek wywoływał 0,2 cząsteczko-gramowy roztwór cukru gronowego, owocowego, kwasu cytrynowego lub jabłkowego, wszystkie zatem te 0,2-cząsteczkogramowe roztwory wymienionych ciał mają jednakową wartość osmotyczną, czyli, jak się de Vries wyrażał, są izotoniczne. Ponieważ roztwory jednakowego stężenia cząsteczko-gramowego, mają w tej samej objętości, tę samą ilość cząsteczek, przeto z powyższego wynika, że o wartości osmotycznej roztworów stanowi nie jednakowa ich koncentracja procentowa, ale jednakowa liczba cząsteczek, zawartych w danej objętości roztworu, a jest rzeczą obojętną, czy to są cząsteczki cukru trzcinowego, czy gronowego, czy kwasu cytrynowego, winnego i t. p. Z tego wynika dalej, samo przez się, że o ile idzie o wartości osmotyczne roztworów, równego procentowego stężenia różnych ciał, to te będą odwrotnie proporcjonalne do ich wag cząsteczkowych, bo oczywiście, im większe są cząsteczki, tem mniej ich być musi w tej samej objętości równego stężenia. Więc np. 1% roztwór cukru gronowego ma blisko dwa razy tyle cząsteczek w tej samej objętości, jak 1% roztwór cukru trzcinowego, więc też i wartość osmotyczna pierwszego jest blisko dwa razy większa niż drugiego.

12. Spółczynniki izotoniczne.

Doświadczenia plazmolityczne de Vriesa z roztworami innych jeszcze ciał wykazały, że ta równa wartość osmotyczna roztworu jednakowego stężenia cząsteczko-gramowego nie stosuje się do wszystkich ciał, że w szczególności roztwory cząsteczko-gramowe różnych soli, mają wartość osmotyczną znacznie większą, niż takie roztwory cukru. Okazało się np., że koncentracja cząsteczko-gramowa roztworu saletry, wystarczająca do wywołania pierwszych śladów plazmolizy, była mniej więcej o $\frac{1}{3}$ mniejsza, niż koncentracja cząsteczko-gramowa cukru. Zupełnie tak samo działały roztwory cząsteczko-gramowe saletry sodowej, amonowej, chlorku potasowego, sodowego lub amonowego, szczawianu lub fosforanu jednopotasowego i wogóle soli kwasów jednozasadowych z metalami jednowartościowymi, oraz soli kwasów dwu- lub trzyzasadowych, z jednym atomem metali jednowartościowych, tak, że o ile wszystkie te sole w stosunku do takiego samego cząsteczko-gramowego roztworu cukru działały o $\frac{1}{3}$ silniej, o tyle między sobą miały wartości osmotyczne równe, t. j., były względem siebie izotoniczne.

Jeszcze silniej, a znowu między sobą jednakowo, działały plazmolizująco roztwory o jednakiem stężeniu cząsteczko-gramowym takich soli, jak szczawian potasowy, winian, jabłczan, cytrynian, lub fosforan dwupotasowy, chlorek wapniowy, a więc sole kwasów dwu- lub trójzasadowych o dwóch atomach metali jednowartościowych, oraz sole kwasów jednozasadowych, z metalami dwuwartościowymi. Roztwory tych soli wywoływały pierwsze ślady plazmolizy już w stężeniach cząsteczko-gramowych, o połowę słabszych, niż takie stężenia roztworów cukru, t. zn., że ich wartość osmotyczna była dwa razy większa, niż odpowiednich roztworów cukru.

Nareszcie roztwór cytrynianu trojpotasowego wywoływał plazmolizę już w stężeniu cząsteczko-gramowym, wynoszącym tylko $\frac{2}{5}$ takiego stężenia roztworu cukru, a więc miał wartość osmotyczną jeszcze większą, niż roztwory wyżej wymienionych soli.

Te obserwacje nad plazmolizą, wywoływaną przez roztwory rozmaitych ciał, stosowane w różnych stężeniach cząsteczko-gramowych, skłoniły de Vriesa do wprowadzenia pojęcia współczynnika izotonicznego. Za jednostkę tego współ-

czynnika przyjął $\frac{1}{3}$ działania osmotycznego roztworu saletry. W takich jednostkach, z pewnem drobnem zaokrągleniem liczb, znalezionych doświadczalnie przyjmował de Vries współczynniki izotoniczne różnych ciał, jak następuje:

Ciała pierwszej grupy, t. j., cukier trzcinowy, gronowy, gliceryna, kwasy organiczne etc., mają współczynnik izotoniczny 2.

Ciała drugiej grupy, t. j. saletra, chlorki metali jednowartościowych etc., współczynnik izotoniczny 3.

Ciała trzeciej grupy, jak szczawian, jabłczan, cytrynian dwupotasowy, chlorek wapniowy etc., współczynnik izotoniczny 4.

Ciała czwartej grupy, jak cytrynian trójpotasowy, lub sodowy, współczynnik izotoniczny 5.

W ten sposób za jednostkę współczynnika izotonicznego, przyjął de Vries połowę wartości osmotycznej cząstki cukru albo $\frac{1}{3}$ cząsteczki saletry.

Do tego punktu doprowadzili badania wartości osmotycznej rozmaitych roztworów botanicy Pfeffer i de Vries, w swoim dążeniu do wyjaśnienia fizycznych czynników, miarodajnych dla pobierania wody przez komórkę roślinną i dla wytwarzania w niej hydrostatycznego parcia, które nazywamy turgorem, albo jędrnością komórki. Dalsze badania nad ciśnieniem osmotycznym roztworów, podjęli już fizycy, a fizjologowie nie omieszkali znowu z tych badań korzystać.

13. Wnioski van't Hoffa z doświadczeń Pfeffera i de Vriesa.

Epokowemi, w badaniach ciśnienia osmotycznego, są przede wszystkim teoretyczne rozważania van't Hoffa oraz wnioski, wyprowadzone przez niego, z powyżej opisanych badań botaników. Skoro de Vries wykazał, że miarodajnem dla wartości osmotycznej jest nie procentowe, ale cząsteczko-gramowe stężenie roztworów, to należało przede wszystkim przeliczyć manometryczne pomiary Pfeffera z roztworów procentowych na cząsteczko-gramowe. Takie przeliczenie było właśnie dla van't Hoffa punktem wyjścia dla stworzenia teorii roztworów.

Opierając się na udowodnionej przez Pfeffera proporcjonalności ciśnień osmotycznych do koncentracji, można było łatwo z jego liczb, przez prostą proporcję, obliczyć, jakie ciśnienie powinien dać roztwór, zawierający w jednym litrze 1 cząsteczkę gramową, t. j. 342 gramy cukru. Z 4 pomiarów,

dokonanych przez Pfeffera w temperaturze $13,7^{\circ}\text{C}$ dla 1% roztworu cukru wypadło ciśnienie osmotyczne średnio 0,678 atmosfer, stąd podług proporcji $10:0,678 = 342:x$, znajdziemy dla roztworu 1 cząsteczko-gramowego 23,19 atmosfer. Fizycy dawno już wymierzili, że 1 cząsteczka gramowa jakiegobądź gazu, więc np. 2 gramy wodoru, albo 32 gramy tlenu, albo 44 gramy bezwodnika węglowego, zajmują w temperaturze 0° i pod ciśnieniem 1 atmosfery, t. j., 76 cm rtęci, 22,4 litrów objętości, a że ciśnienie gazu jest odwrotnie proporcjonalne do objętości, jaką gaz zajmuje, więc cząsteczka gramowa gazu, zagęszczona do 1 litra, wywiera w temperaturze 0°C ciśnienie 22,4 atmosfer, a że podług prawa Charles'a, ciśnienie jest proporcjonalne do temperatury bezwzględnej, t. j., na każdy 1 stopień C rośnie o $\frac{1}{273}$ ciśnienia pierwotnego, więc w temperaturze $13,7^{\circ}\text{C}$, w której powyższe doświadczenia Pfeffera były robione, ciśnienie cząsteczki gramowej, jakiegobądź gazu, wynosiłoby $22,4 \cdot \frac{(273+13,7)}{273} = 23,52$ atmosfer, więc w granicach

błędu pomiarów, ciśnienie takie samo jakie wypadło po przeliczeniu pomiarów Pfeffera na roztwór 1 cząsteczko-gramowy cukru. Ta zgodność pozwala też przypuszczać, że ciśnienie osmotyczne roztworów cukru, podlega także i prawu Charles'a, o proporcjonalności ciśnienia, do temperatury bezwzględnej. Rozpatrzenie liczb Pfeffera, z doświadczeń wykonanych z 1% roztworem cukru, w różnych temperaturach, zupełnie to potwierdza.

Pfeffer znalazł mianowicie, że to ciśnienie wynosiło:

w temperaturze	$6,8^{\circ}\text{C}$	50,5 cm rtęci	=	0,664	atmosf.
„	„	$13,7^{\circ}$ „	52,1 „	„	= 0,686 „
„	„	$22,0^{\circ}$ „	54,8 „	„	= 0,721 „
„	„	$36,0^{\circ}$ „	56,7 „	„	= 0,746 „

Wychodząc z ciśnienia, znalezionego w temperaturze $6,8^{\circ}\text{C}$, t. j. 50,5 cm rtęci = 0,664 atmosfer, obliczy się w myśl prawa Charles'a podług wzoru $50,5 \left(1 + \frac{t}{273}\right)$ cm rt. albo $0,664 \left(1 + \frac{t}{273}\right)$ atmosfer, następujące ciśnienia dla innych temperatur:

dla temperatury	0°C	49,25 cm rt.	=	0,648	atmosf.
„	„	$6,8^{\circ}$ „	50,5 „	„	= 0,664 „
„	„	$13,7^{\circ}$ „	51,7 „	„	= 0,681 „
„	„	$22,0^{\circ}$ „	53,2 „	„	= 0,701 „
„	„	$36,0^{\circ}$ „	55,7 „	„	= 0,734 „

więc liczby bardzo bliskie znalezionych doświadczalnie przez Pfeffera. Skoro tedy ciśnienia osmotyczne roztworów cukru pewnego stężenia cząsteczko-gramowego są takie same, jak ciśnienie jakiego bądź gazu o tej samej ilości cząsteczek gramowych, zamkniętych w objętości 1 litra i skoro zależność tych ciśnień od koncentracji i temperatury jest taka sama, jak ciśnień gazowych, to ciśnienie osmotyczne jakiego bądź roztworu cukru daje się obliczyć podług tego samego wzoru, jak dla gazów, t. j. $p = \frac{n \cdot 22,4 T}{273}$, gdzie n oznacza liczbę cząsteczek gramowych cukru, rozpuszczonych w 1-ym litrze roztworu, zaś T temperaturę bezwzględną.

Ten wzór możemy także napisać $p = \frac{22,4}{273} n T = 0,082 n T$.

Ułamek $\frac{22,4}{273} = 0,082$ jest tak zwaną stałą gazową R , która jest zatem, jak wykazują pomiary Pfeffera, zużytkowane przez van't Hoffa, także stałą ciśnień osmotycznych roztworów cukru.

Ponieważ doświadczenia plazmolityczne de Vriesa wykazały, jak widzieliśmy, że wartość osmotyczna roztworów o jednakim cząsteczko-gramowym stężeniu różnych cukrów, gliceryny, kwasu szczawiowego, winnego, cytrynowego i t. p., jest jednakowa, więc i dla nich stała osmotycznego ciśnienia jest ta sama, z czego wynika, że ciśnienie osmotyczne jakiego bądź roztworu, któregokolwiek z tych ciał, daje się obliczyć podług tego samego wzoru $p = 0,082 n T$.

Wszystkie wymienione ciała mają, jak widzieliśmy, podług de Vriesa ten sam współczynnik izotoniczny równy 2.

O ile teraz idzie o wartości osmotyczne roztworów ciał, mających współczynniki izotoniczne podług de Vriesa 3, 4, 5, to i te łatwo obliczyć podług tego samego wzoru, wstawiając weń tylko za n — $\frac{3}{2} n$, albo $\frac{4}{2} n$, albo $\frac{5}{2} n$, odpowiednio do współczynnika izotonicznego danego związku.

Jeżeli idzie o obliczenie ciśnienia osmotycznego roztworu jakiegoś ciała, o danem stężeniu nie cząsteczko-gramowym, ale procentowym C , to oczywiście, potrzeba tylko w naszym wzorze w miejsce n podstawić $\frac{10 C}{M}$, t. j. stężenie procentowe, pomnożone przez 10 (co daje ilość gramów w litrze), a podzielone przez M , t. j. przez wagę cząsteczkową danego ciała.

Dla przykładu obliczymy wartości osmotyczne 1% roztworu kilku różnych ciał, w temperaturze np. 20°C, czyli $20 + 273 = 293^\circ$ w temperaturze absolutnej.

Ciała o współczynniku izotonicznym 2:

$$p = 0,082 n T = 0,082 \frac{10 C T}{M}$$

Roztwór 1% cukru trzcinowego $C_{12}H_{22}O_{11}$; $p = 0,082 \frac{10}{342} 293 =$
 $= 0,702 \text{ atm.}$

„ 1% „ gronowego $C_6H_{12}O_6$; $p = 0,082 \frac{10}{180} 293 =$
 $= 1,335 \text{ atm.}$

„ 1% gliceryny $C_3H_8O_3$; $p = 0,082 \frac{10}{92} 293 = 2,611 \text{ atm.}$

„ 1% kwasu winnego $C_4H_6O_6$; $p = 0,082 \frac{10}{150} 293 =$
 $= 1,602 \text{ atm.}$

„ 1% kwasu cytrynowego $C_6H_8O_7$; $p = 0,082 \frac{10}{192} 293 =$
 $= 1,251 \text{ atm.}$

Ciała o współczynniku izotonicznym 3:

$$p = 0,082 \frac{3}{2} n T = 0,082 \frac{3}{2} \frac{10 C T}{M}$$

Roztwór 1% saletry potasowej KNO_3 ; $p = 0,082 \frac{3}{2} \frac{10}{101} 293 =$
 $= 3,568 \text{ atm.}$

„ 1% „ sodowej $NaNO_3$; $p = 0,082 \frac{3}{2} \frac{10}{85} 293 =$
 $= 4,239 \text{ atm.}$

„ 1% soli kuchennej $NaCl$; $p = 0,082 \frac{3}{2} \frac{10}{58,4} 293 =$
 $= 6,170 \text{ atm.}$

„ 1% kwaśnego szczawianu potasowego KHC_2O_4 ; $p =$
 $= 0,082 \frac{3}{2} \frac{10}{128} 293 = 2,815 \text{ atm.}$

Ciała o współczynniku izotonicznym 4:

$$p = 0,082 \frac{4}{2} n T = 0,082 \frac{4}{2} \frac{10 C T}{M}$$

Roztwór 1% szczawianu potasowego $K_2C_2O_4$;

$$p = 0,082 \frac{4}{2} \frac{10}{166} 293 = 2,896 \text{ atm.}$$

„ 1% siarczanu potasowego K_2SO_4 ;

$$p = 0,082 \frac{4}{2} \frac{10}{174} 293 = 2,762 \text{ atm.}$$

„ 1% chlorku wapniowego $CaCl_2$;

$$p = 0,082 \frac{4}{2} \frac{10}{110,8} 293 = 4,336 \text{ atm.}$$

„ 1% cytrynianu dwupotasowego $K_2HC_6H_5O_7$;

$$p = 0,082 \frac{4}{2} \frac{10}{268} 293 = 1,793 \text{ atm.}$$

Ciała o współczynniku izotonicznym 5:

$$p = 0,082 \frac{5}{2} n T = 0,082 \frac{5}{2} \frac{10 C T}{M}$$

Roztwór 1% cytrynianu trójpotasowego $K_3C_6H_5O_7$;

$$p = 0,082 \frac{5}{2} \frac{10}{306} 293 = 1,979 \text{ atm.}$$

14. Granica stosowania się praw gazowych do roztworów cząsteczkowo-gramowych.

Wszystkie te obliczenia powyżej podane mają swoje uzasadnienie doświadczalne w pomiarach manometrycznych Pfeffera z jednej strony, a w doświadczeniach plazmolitycznych de Vriesa z drugiej. Ale pomiary Pfeffera nad ciśnieniami osmotycznymi roztworów cukru robione były tylko w granicach między 1% i 6%, ściśle więc rzeczy biorąc, proporcjonalność wartości osmotycznej do koncentracji (wyrażonej w procencie wagi cukru, odniesionej do objętości roztworu), tylko w tych granicach istotnie została przez niego udowodniona. Także doświadczenia plazmolityczne de Vriesa robione były na komórkach, których wartość osmotyczna nie przenosiła 0,25 n, więc nie dochodziła wartości osmotycznej 10% roztworu cukru. Wobec tego, doświadczenia obu tych botaników nie dają pewności, że znalezione przez nich prawidłowości stosują się istotnie także do roztworów o znacznie wyższych stężeniach, np. do roztworów, które w litrze płynu zawierały całą cząsteczkę gramową, albo i 1½, 2, lub więcej

cząstek gramowych cukru, czy jakiego bądź innego ciała. Nie mamy też żadnej pewności i pod tym względem, czy znalezione przez de Vriesa współczynniki izotoniczne, także w roztworach o tych wyższych stężeniach, pozostają takie same. Te wątpliwości mają nieraz bardzo doniosłe znaczenie dla oceny wartości osmotycznej komórek, bo zdarzają się komórki, do których splazmolizowania potrzeba ciśnienia zewnętrznego (roztworu, nawet bardzo wielkiego. Tak np. Fitting¹⁾, badając rośliny pustynne, znajdował, że komórki skórki z liści przypołudnika (*Mesembrianthemum nodiflorum*), sodówki (*Suaeda vermiculata* i *prunosa*), sumaka (*Rhusoxiacanta*), traganum (*Traganum nudatum*) splazmolizowały się po większej części dopiero w roztworze saletry powyżej 3 cząsteczko-gramowego stężenia, u reamurji (*Reamuria vermiculata*), parolistu (*Zygophyllum cornutum*) w roztworze około 2 cząsteczko-gramowym, a u 24 gatunków, na 46 badanych pod tym względem roślin pustynnych, w roztworach o stężeniu między 1—1½ cząsteczko-gramowych. Podług tego komórki skórki tych roślin miałyby wartość osmotyczną, obliczoną podług powyżej podanych wzorów: pierwsze wyższą niż 109, drugie wyższe niż 72, trzecie wyższą niż 36 atmosfer. Komórki śródliścia miały wartości osmotyczne jeszcze wyższe, niż komórki skórki. Nawet u roślin naszego klimatu, bywa nieraz wartość osmotyczna komórek wybitnie wyższa, niż znajdowana przez de Vriesa. Np. Tröndle znajdował, że komórki śródliścia lipy splazmolizowały się dopiero w roztworze cukru, o stężeniu cząsteczko-gramowym 0,93 do 0,97, co odpowiada przeszło 20 atmosferom.

Jeżeli tedy idzie o nieulegające zarzutom określenie wartości osmotycznej komórek w tych wszystkich przypadkach, to trzebaby było być pewnym, czy i o ile prawidłowości, znalezione przez Pfeffera i de Vriesa dla wartości osmotycznej roztworów o niższych stężeniach, stosują się także do stężeń wyższych. Pod tym względem powyżej omówione badania obu botaników pozostawiły lukę, którą należało zapomocą bezpośrednich doświadczalnych pomiarów wypełnić.

Takie pomiary w ulepszonej komórce Pfeffera, wykonali w latach 1904—1906 fizycy angielscy Berkeley i Hartley i amerykańscy Morse i Fraser.

¹⁾ Fitting: »Die Wasserversorgung und die osmotischen Verhältnisse der Wüstenpflanzen«. Zeitschrift für Botanik. T. 3. 1911. Str. 209.

Berkeley i Hartley¹⁾, równoważąc ciśnienie osmotyczne roztworów cukru, w ulepszonej komórce Pfeffera i w temperaturze 18° C, ciśnieniem hydrostatycznym, wytworzonym w stalowej kolbie, znajdowali w swojej pierwszej pracy z 1904 r. następujące liczby, obok których w kolumnie czwartej wypisujemy liczby, obliczone podług wzoru $p = 0,082 n T$.

W litrze roztworu było cukru:		Ciśnienie osmot. w cm Hg		Przyjmując ciśnienie obliczone = 100, ciśnienie obserwowane było:
w gramach	w cząsteczkach gramowych	obserwowane:	obliczone:	
120,7	0,353	9,5	8,4	113,1
180,0	0,526	14,4	12,5	115,2
240,0	0,702	21,3	16,7	121,8
360,0	1,053	37,0	25,1	147,4
420,0	1,227	43,0	29,0	147,3

Ponowne pomiary, wykonane przez tych samych autorów z większą precyzją w temperaturze 0°, w r. 1906, dały następujące liczby:²⁾

Ilość cukru w 1 lit. płynu		Ciśnienie osmotyczne obserwowane	Ciśnienie obliczone podł. wzoru $p = 0,082 n T$	Przyjmując ciśnienie obliczone za 100, ciśnienie obserwowane było:
w gramach	w cząsteczkach gramowych			
180,0	0,529	13,95	11,85	117,7
300,2	0,893	26,77	20,00	133,9
420,3	1,228	43,97	27,51	159,8
540,4	1,590	67,51	35,61	188,5
660,5	1,944	100,78	43,55	231,3
750,6	1,210	133,74	49,50	270,2

Widzimy, że liczby, znalezione doświadczalnie dla ciśnień osmotycznych wyższych koncentracji, przewyższają znacznie liczby, wypadające z obliczenia podług wzoru $p = 0,082 n T$, a liczby ostatniej kolumny wykazują nam dowodnie, że niezgodność ta, a więc odstępstwo od prawa proporcjonalności

¹⁾ Berkeley and Hartley, »A method of measuring directly high osmotic pressures«. Proceed. Roy. Soc. London T. 73 1904, p. 436 cytowane przez Rennera »Über die Berechnung des osmotischen Druckes«. Biol. Zentralblatt 1912.

²⁾ Berkeley and Hartley, »On the osmotic pressures of some concentrated aqueous solutions«. Transact Roy Soc. London Ser. A vol. 206 p. 481 1906, cytowane przez Rennera l. c.

u wysokich stężeń, idzie bardzo daleko i jest tem większe, im wyższą jest koncentracja roztworu.

Ale pojęcie koncentracji, wyrażone w liczbach, jest rzeczą nieco względną i poniekąd konwencjonalną. O ileby szło ściśle o koncentrację w procentach, to odnosiłby ją należało nie do objętości, ale do wagi roztworu, a wówczas liczby %, o ile idzie o ciała cięższe od rozpuszczalnika, byłyby mniejsze niż wtedy, gdy je odnosimy do objętości; ale ponieważ przekonałiśmy się, że dla wartości osmotycznej miarodajnem jest nie stężenie procentowe, ale cząsteczko-gramowe, to jest, nie ogólna waga, a ilość cząsteczek działających osmotycznie, więc chodzić może jedynie o to, czy za płyny jednakiej koncentracji cząsteczko-gramowej mamy uważać takie, których jednakowa liczba cząsteczek rozpuszczona jest w jednostce objętości roztworu, czy w jednostce objętości rozpuszczalnika. O ile idzie o roztwory małego stężenia, to różnica między stężeniem, w jeden lub drugi sposób pojmovanem, jest nieznaczną, ale występuje ona tem wydatniej, im wyższą jest koncentracja, bo wówczas ciało rozpuszczone zajmuje w danej objętości roztworu tem większą, woda zaś tem mniejszą objętość. Zgodnie z dotychczasową praktyką, np. w przyrządzaniu płynów normalnych do analiz miarowych, Pfeffer i de Vries odnosili koncentrację roztworów, przyrządzonych do swoich osmotycznych doświadczeń, do jednostki objętości roztworów i dopiero co widzieliśmy, że w tym przypadku prawo proporcjonalności ciśnienia osmotycznego do stężenia stosuje się stosunkowo bardzo dokładnie do roztworów o niskich stężeniach, np. do 6%, ale nie stosuje się, gdy stężenia są wysokie.

15. Prawidłowości w ciśnieniach osmotycznych przy odnoszeniu stężenia roztworów nie do jednostki objętości roztworu, ale do jednostki objętości rozczynników.

Nasuwało się pytanie, czy zgodność między bezpośrednimi pomiarami, a obliczeniem, nie byłaby lepszą także i dla wyższych stężeń, gdyby miarę koncentracji odnosić nie do objętości roztworu, ale do objętości rozczynnika, w którym dane ciało jest rozpuszczone. By się o tem przekonać, należałoby do doświadczeń osmotycznych przyrządzać płyny przez rozpuszczanie różnych ilości danego ciała w tej samej ilości roz-

czynnika. Zamiast tego, możemy dla łatwiejszej manipulacji, przyrządzać płyny także w zwykle praktykowany sposób, t. j. w odniesieniu do objętości roztworu, a potem rachunkowo przeliczać, wiele w każdym z nich przypada danego ciała na jednostkę objętości wody. Weźmy przykład. Jeżeli roztwór w 1 litrze zawiera 180,1 gr. cukru, to ten cukier zajmuje w nim objętość $\frac{180,1}{1,6}$ (1,6 ciężar gatunkowy cukru) = 112,5 cm³, woda zaś 1000 — 112,5 = 887,50, czyli koncentracja płynu w odniesieniu do 1 litra wody wynosi: 887,5 : 181,10 = 1000 : X. X = 202 gr., czyli 0,593 cząsteczek gramowych na 1 litr wody, zamiast 0,526 na litr roztworu. Jeżeli w takim przeliczeniu na 1 litr wody zestawimy liczby Berkeley'a i Hartley'a¹⁾ w tabelce na str. 86, zobaczymy, że wtedy ciśnienia, obserwowane przez tych badaczy, zgadzają się o wiele lepiej z wyliczonymi ze wzoru $p = 0,082 n T$:

Cukru w 1 litrze roztworu gr.	Cukru w 1 lit. wody gr.	Cząstecz. gr.	Ciśnienie obserwowane	osmotyczne obliczone z wzoru $p = 0,082 n T$	Przyjmując ciśnienie obliczone za 100 ciśnienie obserwowane było:
Doświadczenie z r. 1904.					
120,7	130,6	0,382	9,5	9,45	100,5
170,0	202,8	0,593	14,4	14,96	96,3
240,0	282,6	0,826	21,3	21,17	100,6
360,0	464,3	1,358	37,0	36,55	101,2
420,0	569,2	1,665	43,0	44,71	96,2
Doświadczenie z r. 1906.					
180,1	20,3	0,594	13,95	13,31	104,8
300,2	369,7	1,081	26,77	24,22	110,5
420,3	571,0	1,670	43,97	37,41	117,5
540,4	816,0	2,387	67,51	53,44	126,3
660,5	1125,0	3,290	100,78	73,71	136,7
750,6	1413,0	4,131	133,74	92,54	144,5

Widzimy, że po tem przeliczeniu, a więc przy odnoszeniu stężeń nie do objętości roztworu, ale do objętości rozczynnika, ciśnienia otrzymane z bezpośrednich pomiarów zgadzają się bez porównania lepiej z wypadającymi z obliczenia, niż wtedy, gdy za podstawę obliczeń bierzemy liczby, wyrażające koncentrację w stosunku do objętości roztworu. I tu wprawdzie

¹⁾ L. c.

istotne ciśnienia roztworów bardzo stężonych, np. przenoszących koncentrację 2-u cząsteczko-gramową, są wydatnie większe, niżby wypadało z obliczenia, ale odstępstwo od prawa proporcjonalności występuje tylko w stężeniach bardzo wysokich i jest bądź co bądź mniejsze niż wtedy, gdy stężenia odnosimy do objętości roztworu.

Zupełnie podobne rezultaty otrzymali także badacze amerykańscy Morse i Fraser w r. 1905¹⁾. Przyrządzali oni do swoich pomiarów ciśnienia osmotycznego płyny cząsteczko-gramowe, rozpuszczając odrazu 0,1, 0,2, 0,3, itd. cząsteczek gramowych cukru w litrze wody. Pomiarów wykonywali manometrycznie w komórce Pfeffera o ulepszonej konstrukcji. Doświadczenia wykonywali w różnych temperaturach, od 0—25° C, przyczem potwierdzała się zawsze proporcjonalność ciśnienia do temperatury bezwzględnej. Z licznych liczb tych badaczy przytoczymy ciśnienia dla różnych koncentracji w temperaturze 15° C, wypisując obok ciśnienia obserwowanego obliczone podług wzoru $p = 0,081 n T$, przyczem $T = 273 + 15 = 288^{\circ} \text{C}$.

W 1 litrze wody jest cząstecz. gr.:

0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1,0

Ciśnienie obserwowane w atmosfer.:

2,54, 4,98, 7,47, 9,49, 12,55, 15,14, 17,81, 20,53, 23,30, 26,18

Ciśnienie z obliczenia:

2,36, 4,72, 7,08, 9,45, 11,81, 14,18, 16,53, 18,89, 21,25, 23,61

Gdy z obliczenia = 100, to z obserwacji:

107,6 105,5, 105,5, 100,5, 106,2, 108,9, 107,8, 108,1, 109,6, 110,8

Widzimy, że liczby obliczone i tu mało odbiegają od znalezionych doświadczalnie.

Jeżeli powyższe koncentracje, odniesione do objętości wody, przeliczymy na odniesione do objętości roztworu²⁾ i podług tych

¹⁾ Morse and Fraser, »The osmotic pressure and freezing point of solutions of sucrose«. Amer. chem. Journal T. 34, 1905, cytowane przez Rennera »Biologisches Centralblatt 1912«.

²⁾ Takie przeliczenie jest także bardzo proste; jeżeli idzie np. o przeliczenie roztworu cukru trzcinowego, w którym 1 cząsteczka gramowa cukru rozpuszczona jest w 1 litrze wody, na koncentrację odniesioną do objętości, roztworu, to rachunek jest następujący:

$$\text{Roztwór ma objętość } 1000 + \frac{342}{1,6} = 1212 \text{ c. sz. } 1213 : 1 = 1000 : x; x = 0,8245$$

cząsteczek gramowych na 1 litr roztworu.

obliczymy ciśnienia, podług wzoru $p = 0,082 n T$, to otrzymamy:

0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1,0

W 1 litrze roztworu jest cz. gr.:

0,098, 0,192, 0,28, 0,368, 0,452, 0,532, 0,609, 0,683, 0,755, 0,824

$p = 0,0815 n T$:

2,310, 4,531, 6,666, 8,705, 10,674, 12,567, 14,387, 16,14, 17,85, 19,20

Gdy z obliczenia = 100, to z obserwacji

110, 110,5 112,0, 109,1, 117,5, 120,5, 123,8, 127,2, 130,5, 137,3.
Zgodność jest tu znacznie mniejsza, niż poprzednio.

Widzimy zatem, że i te także liczby doprowadzają do wyniku, że zgodność między ciśnieniem osmotycznym obliczonym, a obserwowanym dla roztworów wyższych koncentracji wtedy tylko jest zadawalniająca, gdy koncentrację odnosimy do objętości czystego rozpuszczalnika, a nie do objętości roztworu, tak, że trzeba przyjąć, że ciśnienie osmotyczne roztworu jest proporcjonalne do ilości cząsteczek, rozpuszczonych w jednostce objętości rozpuszczalnika, nie zaś w jednostce objętości całego roztworu. O ile koncentracje są niskie, różnice między określeniem ich w jeden, lub drugi sposób, są zbyt drobne, aby mogły zaważyć na stosunku koncentracji do ciśnienia osmotycznego; dopiero gdy koncentracja jest większa od połowy normalnej, różnice występują wyraźnie, a obliczenie ciśnienia osmotycznego z koncentracji, odniesionej do objętości całkowitego roztworu, daje wyniki błędne i to tem bardziej za małe im koncentracja jest wyższą.

Te prawidłowości zostały z równą dokładnością, co dla ciśnień osmotycznych roztworów cukru trzcinowego, sprawdzone także przez Berkeleyya i Hartleya dla ciśnień osmotycznych roztworu glikozy, a jest rzeczą zupełnie jasną, że stosować się one także muszą i do ciśnień osmotycznych roztworów jakich bądź innych ciał.

Jeżeli w tem założeniu obliczymy w atmosferach wartość osmotyczną komórek niektórych roślin pustynnych, badanych przez Fittinga, np. wartość osmotyczną skórki z liści sumaka (*Rhus oxiacanta*), traganum (*Traganum nudatum*), lub kłącza (*Anabasis articulata*), do których splazmolizowania potrzeba było co najmniej roztworu 3-cząsteczko-gramowego w stosunku do objętości roztworu, to wartość osmotyczna istotna w atmosferach obliczy się jak następuje. Ponieważ ciężar gatunkowy saletry wynosi 2,1, więc roztwór 3-cząsteczko-gramowy zawiera w 1 litrze

$\frac{303}{2,1} = 144,3 \text{ cm}^3$ saletry i $855,7 \text{ cm}^3$ wody, co odpowiada 3,506 cząsteczek gramowych na 1 litr wody, zatem ciśnienie osmotyczne w temperaturze 0° , wypadnie nie $0,082 \cdot \frac{3}{2} \cdot 3.273$, ale $0,082 \cdot \frac{3}{2} \cdot 3,506.273$, czyli nie 100,72 ale 117,69 atmosfer. W rzeczywistości wartość osmotyczna tych komórek jest jeszcze wyższa, bo widzieliśmy, że gdy koncentracja jest bardzo wysoka, to nawet, gdy obliczymy ją na jednostkę objętości rozpuszczalnika, ciśnienie osmotyczne rośnie prędzej niż koncentracja. Gdy np. ciśnienie osmotyczne roztworów 4,13 cząsteczko-gramowych cukru wynosiło już 133,7 atmosfer, zamiast 95,2 wypadających z obliczenia, gdy tu ciśnienie wypadające z obliczenia, wynosi 117,7 atmosfer, to rzeczywiste wynosi z pewnością więcej niż 170 atmosfer (bo $92,5 : 133,7 = 117,7 : x$; $x = 179$), a odstępstwo od proporcjonalności jest tem większe, im wyższe ciśnienie osmotyczne wypada z obliczenia.

16. Inne sposoby oznaczenia ciśnienia osmotycznego.

Ciśnienie osmotyczne przedstawia się nam jako następstwo przyciągania między wodą a cząsteczkami ciała, czy ciał w niej rozpuszczonych, a wielkość jego daje nam miarę tego, jakiej siły trzeba użyć, żeby od tego roztworu można było, choćby najmniejszą ilość wody oddzielić. Z tego wynika, że jeżeli w jakimś procesie oddziela się część rozpuszczalnika od roztworu, to może to nastąpić tylko kosztem zużycia pewnej ilości energii. Wiemy np., że woda czysta, pozostawiona przy danej temperaturze w zamkniętej przestrzeni, paruje, póki jej para nie osiągnie pewnej maksymalnej prężności, odpowiadającej danej temperaturze. Aby taką samą prężność pary osiągnął roztwór jakiegoś ciała, np. cukru, potrzeba do tego wyższej temperatury, bo obok ciepła, potrzebnego do zamienienia odpowiedniej ilości wody na parę, trzeba jeszcze pewnej jego ilości do oddzielenia tej, zamieniającej się na parę, wody od cząsteczek cukru. Tem samem przy pewnej danej temperaturze, prężność pary jakiegoś roztworu jest niższą, niż prężność pary czystego rozpuszczalnika. Rzecz oczywista, że to zmniejszenie prężności pary roztworu musi być tem większe, im większe jest jego stężenie. Z tego samego wynika dalej, że temperatura wrzenia roztworu jakiegoś ciała, t. j. temperatura, w której parowanie odbywa się nie na samej tylko powierzchni cieczy,

ale w całej jej masie, musi w tych samych skądinąd warunkach być wyższą, niż temperatura wrzenia czystego rozpuszczalnika i znowu tem wyższą, im większe jest stężenie roztworu.

Jak podczas parowania, tak i podczas marznięcia jakiegoś roztworu, następuje oddzielenie się wody od ciała w niej rozpuszczonego, bo lód, tworzący się podczas marznięcia roztworu, jest prawie czystą wodą. Dlatego podczas marznięcia roztworu musi być odciągnięta większa ilość ciepła, niż podczas marznięcia czystego rozpuszczalnika. O ile zatem rozpuszczone w pewnym rozpuszczalniku ciała obniżają prężność pary i podnoszą temperaturę wrzenia, o tyle znowu temperaturę krzepnięcia roztworu obniżają. I znowu to obniżenie musi być tem większe, im większe jest stężenie roztworu.

Badaniami nad wpływem ilości i jakości ciał, rozpuszczonych w danym rozpuszczalniku, na prężność jego pary, temperaturę jego wrzenia i marznięcia zajmowali się fizycy już pierwiej, niż ciśnieniem osmotycznym, a badania te wykazały takie same prawidłowości, jakie przez Pfeffera, de Vriesa i późniejszych badaczy zostały znalezione dla ciśnień osmotycznych. A więc okazało się dla roztworu wielu ciał, że zmniejszenie prężności pary, podwyższenie temperatury wrzenia, obniżenie temperatury marznięcia są tak samo, jak ciśnienia osmotyczne, przybliżenie wprost proporcjonalne do ilości cząsteczek gramowych, rozpuszczonych w jednostce objętości rozpuszczalnika. Co więcej, roztwory tych ciał, które dają ciśnienie osmotyczne wyższe, niżby odpowiadało wzorowi $p = 0,082 nT$, t. j. tych, które mają współczynnik izotoniczny wyższy niż cukier, mają także odpowiednią niższą prężność pary, niższą temperaturę zamarzania i wyższą wrzenia, niżby wypadało z ich cząsteczko-gramowego stężenia tak, że jeżeli ciśnienia osmotyczne tych roztworów wynoszą $\frac{3}{2} p$, albo $2 p$, albo $\frac{5}{2} p$, to także obniżenie prężności pary, albo temperatury marznięcia takiego roztworu wyniosą $\frac{3}{2}$, albo 2 razy, albo $\frac{5}{2}$ razy tego, jakieby odpowiadało jego cząsteczko-gramowemu stężeniu. Ta równoległość między prężnością pary, temperaturą wrzenia roztworu, a ich ciśnieniem osmotycznym, pozwala z łatwością wyliczyć każdorazowo to ciśnienie roztworu z którejkolwiek z tych wielkości, o ile raz, dla pewnej znanej koncentracji, dotyczący stosunek zostanie doświadczalnie ustalony. A więc, gdy się raz przekonamy, że np. roztwór cukru,

w którym 1 cząsteczka gramowa, t. j. 342 g, jest rozpuszczona w 1 litrze wody, zaczyna zamarzać w temperaturze $-1,85^{\circ}\text{C}$, a jego ciśnienie osmotyczne w temperaturze 0° jest 22,4 atmosfer, to prawo prostej proporcjonalności, stosujące się zarówno do ciśnienia osmotycznego, jak i do obniżenia temperatury zamarzania, pozwala obliczyć, że roztwór, który zamarza np. w temperaturze -1°C , t. j. obniża temperaturę zamarzania o 1 stopień, ma w temperaturze $-1,85^{\circ}\text{C}$, wartość osmotyczną $1,85:22,4 = 1:x$, $x = 12,1$ atmosfer, a w temperaturze t ,

$$12,1 \Delta \frac{273 + t}{273 - 1,85} = 12,1 \Delta \frac{273 + t}{271,15} \text{ atmosfer.}$$

Oznaczając tedy temperaturę początku zamarzania danego roztworu wodnego, nie tylko cukru, ale jakiego bądź ciała czy mieszaniny ciał, możemy obliczyć jego wartość osmotyczną w temperaturze t , podług wzoru $p = 12,1 \Delta \frac{273 + t}{273 - \Delta}$ gdzie Δ jest wielkością obniżenia temperatury w początku zamarzania roztworu.

Ta, tak zwana metoda krioskopowa oznaczania wartości osmotycznej jest jedną z najdogodniejszych i najczęściej używanych i oczywiście w wykonaniu jest bez żadnego porównania łatwiejsza i szybsza, aniżeli bezpośrednie pomiary manometryczne, wykonywane przez Pfeffera, Morsego i Berkeleya.

Że ciśnienia osmotyczne, obliczone z doświadczeń krioskopowych, zgadzają się bardzo dobrze z pomiarami bezpośrednimi, to wykazują dowodnie doświadczenia Morsego i Fräsera, przeprowadzone w jeden i drugi sposób. I tak, badacze ci znajdowali dla roztworów cukru:

Roztwory cukru, które na litr wody zawierały:	Ciśnienie osmotyczne w atmosferach:	
	obliczone z Δ	wymierzone manometrycznie
0,1 cząsteczek gramow. cukru	2,35 atmosf.	2,46 atmosf.
0,3 " " "	7,04 " "	7,08 " "
0,5 " " "	11,84 " "	11,89 " "
0,8 " " "	16,75 " "	16,89 " "
1,0 " " "	24,89 " "	24,82 " "

Że także ciśnienia osmotyczne, obliczone z prężności pary, zgadzają się z bezpośrednio obserwowanymi, widać np. z następujących liczb Berkeleya:

Roztwory cukru, które na litr wody zawierały:	Ciśnienie osmotyczne w atmosferach:	
	obliczone z prężności pary	bezpośrednio wymierzone
2,39 cząsteczek gramow. cukru	69,4 atmosf.	67,5 atmosf.
3,29 „ „ „	101,9 „	100,8 „
4,13 „ „ „	136,0 „	133,7 „

17. Przyczyny różnic współczynników izotonicznych różnych ciał. Dysocjacja cząsteczek na jony; sposoby jej oznaczania.

Z powyższego widzieliśmy, że o ile idzie o ciała, mające współczynnik izotoniczny 2, jak o jaki bądź cukier, glicerynę, kwas winny, mleczny etc., to ciśnienie osmotyczne, jakie wytworzyć może roztwór, zawierający na litr wody pewną ilość takiego ciała, jest takie samo, jak ciśnienie jakiego bądź gazu, zawierającego w litrze tę samą ilość cząsteczek tego gazu, tak, że wzór $p = 0,082 nT$ stosuje się tak dobrze do ciśnienia gazów, jak i do ciśnienia osmotycznego tych ciał. Ale widzieliśmy zarazem, że ta prawidłowość nie stosuje się do wszystkich ciał i dla całego ich szeregu ciśnienie osmotyczne jest wydatnie większe, niżby tej prawidłowości odpowiadało; to właśnie spowodowało de Vriesa do wprowadzenia pojęcia współczynnika izotonicznego, który obok 2, bywa także 3, 4 i 5. Skądże te różnice mogą pochodzić? Dlaczego wielkości, które są jednakie dla wodoru, tlenu, cukru, gliceryny, nie są jednakie dla cukru i soli kuchennej, ani dla soli kuchennej i siarczanu sodowego?

Już zdawna przekonano się, że w pewnych warunkach także ciśnienie niektórych gazów odstępuje od prawa Avogadry, że mianowicie chlor, brom, pary jodu, w wyższych temperaturach wywierają ciśnienie znacznie większe, niżby odpowiadało ilości cząstek w jednostce objętości, w danej temperaturze. Dla objaśnienia tego faktu przyjmuje się, że cząsteczki tych gazów rozpadają się wtedy na atomy, z których każdy działa tak, jak cała cząsteczka. Nasuwałoby się wtedy samo przez się przypuszczenie, że także w roztworach takich ciał, które mają współczynnik izotoniczny większy, niż cukry, wyższe ciśnienie osmotyczne pochodzi stąd, że pewna liczba ich cząsteczek rozpada się na mniejsze cząstki, z których każda działa tak samo, jak cząsteczka cukru, nie rozpadająca się na

drobniejsze. Gdyby tak być miało, to wartość osmotyczna roztworu danego ciała zależęby musiała nie tylko od ilości cząsteczek gramowych, rozpuszczonych w jednostce objętości roztworu, ale także od tego, wiele z pomiędzy tych cząsteczek, rozpadło się na owe cząstki drobniejsze i na ile takich drobniejszych cząstek rozpadła się każda z tych cząsteczek, które uległy rozpadnięciu. Od sumy tych wszystkich cząsteczek, powstałych z rozpadnięcia, łącznie z cząsteczkami, które rozpadnięciu nie uległy, zależałaby wielkość wartości osmotycznej roztworu, temperatura jego marznięcia i wrzenia oraz prężność jego pary. Jeżeli w danej ilości rozpuszczalnika, rozpuszczono n cząstek danego ciała, mogących się rozpadać na drobniejsze, to ilość wszystkich cząstek po rozpadnięciu się, wynosić będzie w tym roztworze $n i$, gdzie i stanowi t. zw. współczynnik dysocjacyjny, który $= 1$, wtedy, gdy cząstki nie ulegają wcale rozpadowi, a jest od 1 tem większy, im więcej cząsteczek uległo rozpadowi i im każda z nich rozpadła się na większą ilość mniejszych cząstek. Wobec tego, ciśnienie osmotyczne roztworów wyrazi się wzorem $p = 0,082 n i T$. Znając ciśnienie osmotyczne p — pewnego roztworu, możemy zatem, z powyższego wzoru, obliczyć współczynnik dysocjacyjny

$$\left(i = \frac{p}{0,082 n T} \right),$$

albo wychodząc z oznaczeń krioskopowych i porównyując z sobą temperaturę zamarzania roztworu danego ciała $-\Delta^0$ i roztworu cukru, o równem stężeniu cząsteczko-gramowym ($-1,85^0 n$), znajdziemy, że $i = \frac{\Delta}{1,85 n}$. Ale czemuż są te

cząsteczki drobniejsze, na które mają się rozpadać w roztworach cząstki pierwotne? Otóż zauważyć można przedewszystkiem, że większe ciśnienie osmotyczne, niż to, które odpowiada prawom gazowym (t. j. wzorowi $p = 0,082 n T$), wykazują te jedynie roztwory, które przewodzą elektryczność, t. j. t. zw. elektrolity i im lepiej roztwór jakiegoś ciała, w danej koncentracji cząsteczko-gramowej, przewodzi elektryczność, tem wyższym jest jego współczynnik izotoniczny. Dla objaśnienia zjawisk elektrolitycznych fizycy dawno już przyjmowali, że w roztworach elektrolitów pewna ilość tych cząstek, jest zdysocjowana na jony, opatrzone różnoimiennymi ładunkami elektryczności. Te jony, pod wpływem prądu, poruszają się ku elektrodom, a mianowicie jony, mające ładunki dodatnie, t. j., katjony ku

katodzie, zaś jony, mające ładunki ujemne, t. zw. anjony ku anodzie. Na tym ruchu jonów polega prąd elektryczny w roztworach. Arrhenius postawił twierdzenie, że jony ze swemi ładunkami istnieją w roztworze, niezależnie od prądu, a siły elektryczne w ruch je tylko wprowadzają i elektryczność na nich się przenosi, a od ich ilości zależy łatwość, z jaką prąd elektryczny przez roztwór przechodzi, t. j., zależy przewodnictwo tego roztworu dla prądu. Skoro tak, to przewodnictwo elektryczne roztworu może służyć za miarę ilości znajdujących się w nim jonów, więc jeżeli w roztworze rozpuszczono znaną ilość cząsteczek gramowych danego ciała, to określenie jego przewodnictwa elektrycznego może posłużyć do oznaczenia stopnia dysocjacji tych cząsteczek na jony. Stopień dysocjacji zależy z jednej strony od stosunku między ilością cząsteczek zdysocjowanych n' , a ilością wszystkich cząsteczek rozpuszczonych n , a więc od wielkości $\frac{n'}{n}$, z drugiej zaś strony, od ilości jonów, na jaką się rozpada każda z tych zdysocjowanych cząsteczek. Stosunek $\frac{n'}{n}$, który oznaczamy przez α , zależy nie tylko od rodzaju elektrolitu, ale także od stężenia jego roztworu, jest on tem większy, im roztwór jest bardziej rozcieńczony tak, że możemy przyjąć, że przy bardzo wielkiem rozcieńczeniu $n' = n$, t. j. wszystkie cząsteczki są zdysocjowane, a wtedy $\alpha = 1$. Tak zdefiniowaną wielkość α możemy, dla danego stężenia elektrolitu, oznaczyć ze stosunku $\frac{\lambda}{\lambda_{\infty}}$, t. j. ze stosunku molekularnego przewodnictwa elektrycznego przy danem stężeniu do granicznego, maksymalnego przewodnictwa molekularnego, t. j. takiego, jakieby wypadło w roztworze tak rozcieńczonym, aby wszystkie cząsteczki były w nim zdysocjowane.

Jeżeli tedy, na podstawie pomiarów przewodnictwa elektrycznego, oznaczymy dla roztworu elektrolitu danego stężenia stosunek α , to możemy już łatwo znaleźć ogólny stopień dysocjacji, czyli t. zw. współczynnik dysocjacyjny, t. j. współczynnik, przez który trzeba pomnożyć liczbę (n) cząsteczek, rozpuszczonych w 1 litrze wody (czy innego rozpuszczalnika), aby uzyskać razem wziętą sumę cząsteczek niezdisocjowanych i jonów, powstałych z rozpadnięcia się tych, które uległy dysocjacji. Jeżeli ten współczynnik oznaczmy przez i , to oczywiście jest,

że $i = 1 + (k - 1) \alpha$, gdzie k oznacza liczbę jonów, na jaką się rozpada cząsteczka zdysocjowana. A więc jeżeli idzie o NaCl , to $k = 2$, bo Na^+ i Cl^- , jeżeli idzie o CaCl_2 to $k = 3$, bo Ca^{2+} , Cl^- i Cl^- , tak samo dla $\text{Na}_2 \cdot \text{SO}_4$ $k = 3$, bo Na^+ , Na^+ i SO_4^{2-} , jeżeli idzie o $\text{K}_3 \text{C}_6 \text{H}_5 \text{O}_7$, to $k = 4$, bo K^+ , K^+ , K^+ i $\text{C}_6 \text{H}_5 \text{O}_7$. Otóż Arrhenius¹⁾ zestawiał wielkości α dla roztworów całego szeregu rozmaitych ciał, o stężeniu 1 gr. na 1 litr wody, poobliczał z tego współczynniki dysocjacji elektrycznej i , podług powyższego wzoru i zestawił je ze współczynnikami i , obliczonymi z doświadczeń krioskopowych Raulta z roztworami takichże stężeń. Z tego zestawienia okazało się, że, z bardzo nielicznymi wyjątkami, wartości dla i , znalezione temi dwoma różnemi drogami, zgadzają się z sobą. Przypomnijmy sobie, że dla wyjaśnienia zwyżki ciśnienia osmotycznego tych roztworów ponad to, jakieby odpowiadało prawom gazowym, a także dla objaśnienia większego obniżenia punktu zamarzania, prężności pary roztworu, większego podwyższenia punktu wrzenia, aniżeli by to odpowiadało molarnej koncentracji roztworu, przyjęliśmy istnienie rozpadu cząsteczek pewnych ciał w tych roztworach. Otóż rozpad ten, jak wynika z powyżej omówionej zgodności wyników doświadczeń i teoretycznych wyliczeń Arrheniusa, jest identyczny z rozpadem, jaki warunkuje przewodnictwo elektryczne, t. zn., że jest właśnie rozpadem cząsteczek elektrolitów na jony. Każdy jon, powstający przez dysocjację cząsteczki elektrolitu, ma dla ciśnienia osmotycznego, czy dla obniżenia punktu zamarzania takie samo znaczenie, jak cała cząsteczka, która nie uległa dysocjacji, a wielkość wartości osmotycznej roztworu zależy od ogólnej sumy znajdujących się w nim całych cząsteczek i jonów, powstałych z dysocjacji tych cząsteczek, które jej uległy.

Wielkość zatem wartości osmotycznej danego roztworu wyrazi się poprawnie wzorem $p = 0,082 T n i$, który się stosuje ogólnie do roztworów wszystkich ciał, bez względu na to, czy one są elektrolitami czy nie, także bez względu na wielkość współczynnika izotonicznego, bo wszystko to mieści się już w wielkości współczynnika dysocjacyjnego i . W przypadku nieelektrolitów $i = 1$.

Wprowadzenie do wzoru dla ciśnienia osmotycznego współczynnika i zamiast współczynnika izotonicznego (str. 78) ma tę

¹⁾ Svante Arrhenius, »Über die Dissociation der in Wasser gelösten Stoffe«. Zeitschr. für physikalische Chemie. Tom I 1887, S. 634-636.

korzystać, że wartość i oparta jest na dokładnych pomiarach fizycznych, gdy współczynniki izotoniczne wyprowadził de Vries z daleko mniej dokładnych doświadczeń plazmolitycznych, zaokrąglając jeszcze przytem liczby, otrzymane z doświadczeń. Nadto owe współczynniki izotoniczne przyjmuje de Vries jako coś stałego, podczas gdy w rzeczywistości zależą one muszą, podobnie jak współczynniki i , od stężenia roztworu.

Czy współczynnik dysocjacji i jest oznaczony z pomiarów przewodnictwa elektrycznego, czy z pomiarów krioskopowych, jest z reguły rzeczą obojętną, bo, jak mówiliśmy, obu drogami otrzymujemy dla i te same wartości. Jednakże są wyjątki. Roztwory siarczanu magnezowego mają temperaturę zamarzania taką, jakby nie ulegały wcale dysocjacji, chociaż przewodzą one elektryczność, a pomiary przewodnictwa dają wartość dla $\alpha = 0,35-0,4$, więc, odpowiednio do tego, ich współczynnik dysocjacji $i = 1,35$ do $1,40$. Dla objaśnienia tej niezgodności przyjmuje się, że pewna część ich cząsteczek nie zdysocjowanych, połączona jest w ich roztworach w większe kompleksy, co, nie zmieniając przewodnictwa elektrycznego roztworu, zależącego wyłącznie od jonów, zmniejsza ogólną sumę znajdujących się w nim cząsteczek i jonów, a więc podnosi temperaturę zamarzania i zmniejsza wartość osmotyczną roztworu. Dla ciśnienia osmotycznego zatem miarodajnym jest w tych wyjątkowych przypadkach wartość dla i krioskopowa, a nie elektryczna. To też zgodnie z tem, de Vries znalazł dla siarczanu magnezowego współczynnik izotoniczny 2, t. j. taki sam jak dla cukru lub jakiego bądź nieelektrolitu.

Sok komórkowy, jak wiemy, jest roztworem, w którym rozpuszczone są najrozmaitsze ciała, zarówno nieelektrolity, jak i elektrolity. Moglibyśmy zadać sobie pytanie, czy, poznawszy w danym przypadku dokładnie jego skład, tak jakościowy, jak i ilościowy, możnaby podług powyższego wzoru obliczyć jego wartość osmotyczną przez zsumowanie wartości osmotycznych dla każdego ze składników z osobna? Otóż zgóry przewidzieć można, że gdy między składnikami soku znajdują się i elektrolity, to suma tych wartości niekoniecznie będzie się dokładnie pokrywała z wartością osmotyczną całego soku, a to dlatego, że obecność jednych składników może wpływać na zmiany dysocjacji drugich. Stwierdzono np. bezpośrednimi pomiarami, że obecność większej ilości nieelektrolitów w roztworze wpływa na zmniejszenie dysocjacji znajdujących się w nim elektroli-

tów, a spodziewać się też można, że także obecność jednego elektrolitu może wpływać na dysocjację drugiego. Dlatego zupełnie pewne dane co do wartości osmotycznej całego soku komórkowego mogą dawać jedynie tylko bezpośrednie jej pomiary, czy to plazmolityczne, czy krioskopowe, czy wreszcie wprowadzone z prężności pary. Dla dokonywania pomiarów plazmolitycznych należałoby, podług tego co wyżej powiedziano, przyrządzać płyny przez rozpuszczanie odważonych ilości cząsteczek gramowych danego ciała w określonej ilości wody. Ale w praktyce takie postępowanie byłoby zbyt żmudne, bo do każdej porcji płynu trzeba by substancję osobno odważać, podczas gdy dla przyrządzania roztworów o określonej ilości cząsteczek gramowych w jednostce objętości roztworu wystarczy jedno odważenie i przyrządzenie roztworu dość stężonego, aby potem można było z niego otrzymywać wszystkie inne stężenia przez proste rozcieńczanie. Dlatego prościej jest przyrządzać dla doświadczeń plazmolitycznych nadal, tak jak dawniej, roztwory o określonej ilości cząsteczek gramowych w jednostce objętości roztworu, a potem przeliczać je rachunkowo na roztwory o określonej ilości cząsteczek na jednostkę wody. Jak robić takie przeliczenia, podaliśmy już wyżej (str. 88-89), tu zaznaczmy tylko, że sposób tam podany o tyle może być niezupełnie dokładny, że podczas rozpuszczania niektórych ciał może następować pewne zagęszczenie płynu. To zagęszczenie bywa naogół nieznaczne, więc błąd z niego pochodzący jest mały, ale i tego można uniknąć przez oznaczenie cięż. g. każdego z przyrządzonych roztworów, np. zapomocą wagi Westfahla. Znając c. g. roztworu s łatwo znajdziemy, że w roztworze, zawierającym w litrze n cząsteczek gramowych danego ciała, przypada na litr wody $\frac{n \cdot 1000}{1000 s - nM}$ tych cząsteczek, a ciśnienie osmotyczne takiego roztworu będzie $p = \frac{0.082 n i T 1000}{1000 s - n M}$, gdzie M oznacza wagę cząsteczkową rozpuszczonego ciała.

C) Badanie mechanizmu krążenia wody.

1. Fakty i przypuszczenia. Trudności objaśnienia mechanicznego.

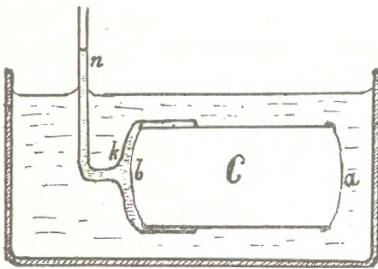
W rozdziale o wpływie budowy rośliny na czynności jej życia (Tom I, str. 68—74) widzieliśmy, że drogami, któremi

woda porusza się w roślinie, są tkanki drzewne, w szczególności naczynia i cewki. Jeżeli zetniemy blisko korzenia młody, dobrze zakorzeniony słonecznik, rącznik, winorośl, lub choćby kartofel, to, gdy w chwili ścięcia ziemia była dość wilgotna, a parowanie niezbyt silne, zobaczymy rychło, że z pozostałego pieńka zacznie wypływać woda. Jeżeli przekrój osuszmy bibułą i będziemy mu się bacznie przypatrywać przez lupę, łatwo dostrzeżemy, że woda wypływa istotnie z tkanki drzewnej. A zatem woda, pobierana przez powierzchnię korzenia, jest stąd doprowadzana do tkanek drzewnych cylindra środkowego i z nich wylewa się z przekroju pieńka nazewnątrz, ewentualnie, gdy roślina jest cała, płynie niemi przez łodygę ku liściom.

Jakież siły ten ruch wody powodują?

Pobieranie wody przez włósniki i komórki skórki korzeniowej polega, jak widzieliśmy, na działaniu osmotycznym. Mamy także pełne prawo przypuścić, że i przenikanie tej wody od komórki do komórki w korze korzenia ku cylindrowi środkowemu polega także na osmozie; bo jeżeli sok komórkowy w komórkach skórki zostanie przez pobieraną wodę rozcieńczony, to dążenie do wyrównania równowagi osmotycznej spowoduje oddanie części tej wody komórkom kory, przylegającym bezpośrednio do skórki, przez nie komórkom głębiej leżącym i t. d. Ten ruch przez osmozę dochodzić może aż do komórek, przytykających już bezpośrednio do naczyń i cewek cylindra środkowego. Ale czy można przypuścić, że także do tych naczyń i cewek woda dostaje się z przytykających do nich komórek na mocy osmozy? Byłoby to możliwe jedynie wtedy, gdyby wartość osmotyczna roztworu, znajdującego się w tych naczyniach, była większa niż także wartość soku komórek, przytykających do tych naczyń. Czy tak jest, może nam na to odpowiedzieć analiza wody, wypływającej z pieńka. Otóż taka analiza wykazuje, że ta woda zawiera zawsze pewne ilości rozpuszczonych w niej ciał organicznych i mineralnych, niekiedy ilość ta jest dość znaczna, np. w soku brzozy, klonu ilość samego cukru dochodzi do 2 lub 3%, nawet i wyżej, ale to są wyjątki. Najczęściej woda, wyciekająca z pieńka po ścięciu rośliny, jest roztworem bardzo rozcieńczonym, np. w soku z kartofla, słonecznika nie przenosi ona 0.1 — 0.3%, a więc jej wartość osmotyczna jest o wiele niższa, niż wartość osmotyczna soku jakiej bądź żyjącej komórki, więc i tych, które bezpośrednio do naczyń i cewek korzenia przytykają. Wobec tego

nie może być mowy o tem, aby przechodzenie wody z komórek kory korzeniowej czy miękiszu drzewnego do naczyń i cewek mogło polegać na dążeniu do wyrównania się osmotycznej równowagi między zawartością tych naczyń, a sokiem przytykających do niej komórek. Sił, działających w dopływie wody do tych naczyń, przynajmniej o ile idzie o wodę, wylewającą się z przekroju pieńka, musimy szukać nie w samych naczyniach, ale w żyjących komórkach, które do nich przytykają. Te komórki muszą czynnie wypychać wodę, przez siebie pobieraną, do owych naczyń i cewek. To wypychanie, które nazywamy parciem korzeniowym, może się odbywać nieraz ze znaczną siłą, bo gdy na pieńek założymy manometr, to woda, wypływająca z pieńka, podnosi w nim rtęć czasem do wysokości kilkunastu, kilkadziesiątu, a nawet 100 i więcej cm, co dowodzi, że siła, z jaką komórki korzenia wypychają wodę do naczyń, przenosi nieraz jedną, a czasem nawet i kilka atmosfer. Chodzić nam oczywiście musi o zrozumienie mechanizmu tego wypychania, o poznanie gry sił w nim działających. Otóż pod tym względem skazani dotąd jesteśmy, niestety, tylko na domysły, których prawdziwości narazie nie umiemy napewno doświadczalnie stwierdzić. Początkowo chciano ten mechanizm objaśnić różną przepuszczalnością dla wody ścianek po obu stronach komórki. Hofmeister, a za nim Sachs¹⁾ przypuszczali, że komórki, przytykające do naczyń, mają w miejscach zetknięcia z niemi ścianki przepuszczalsze dla wody niż w innych i to miało być powodem, że one, pod wpływem wzrastającego przez pobieranie wody turgoru, wypychają ją w tych miejscach do naczyń.



Ryc. 3. Model komórki osmotycznej, wyciskającej wodę, według Hofmeistera.

Hofmeister wybudował nawet dla uzmysłowienia sobie i naśladowania przebiegu takiej czynności bardzo prosty przyrzą-

dzik. Krótka szeroka rurką szklaną C, owiązana bardzo szczelnie z jednego końca pęcherzem a, z drugiego papierem pergaminowym b, i napełniona dość stężonym roztworem cukru,

¹⁾ Sachs, »Handbuch der Experimental-Physiologie der Pflanzen« Leipzig 1865. S. 203 — 207.

stanowi w tym przyrządzie sztuczny model komórki. Do końca *b*, zamkniętego papierem pergaminowym, przymocowaną jest szczelnie z pomocą kapy kauczukowej zgięta w górę wążka rurka szklana *n*, przedstawiająca niejako naczynie drzewne łądygi. Gdy taką sztuczną komórkę wstawimy do waniénki z wodą, zobaczymy, że niebawem, wskutek pobierania przez ściankę *a* wody, powstaje w niej hydrostatyczne ciśnienie, które wypchnie pewną ilość płynu przez ściankę *b* do owej rurki *n*, imitującej naczynie. Łatwiejsze przenikanie płynu przez papier pergaminowy, niż przez pęcherz, jest tego przyczyną. Zjawiska, przebiegające w tej sztucznej komórce, miały być obrazem tego, co się dzieje w komórkach korzenia, przytykających do naczyń drzewnych, do których one wodę wypychają. Ale czy obraz ten jest istotnie wierny? Nie, bo do naczyń korzenia wypychają przytykające do nich komórki, jak widzieliśmy, najczęściej roztwór w stosunku do soku komórkowego nadzwyczaj rozcieńczony, często prawie że czystą wodę, podczas gdy analiza roztworu, wyciśniętego przez ową sztuczną komórkę, wykazuje w nim taką samą koncentrację, jaką ma płyn wewnątrz samej komórki. Jest też rzeczą wogóle nie do pomyślenia, aby taka komórka, jakiegokolwiek byłyby własności obu jej błon, mogła wodę pobieraną wypychać z naczyń jako czystą wodę do rurki *n*. Gdyby bowiem tak być miało, to woda, wyciskana do rurki *n*, doszedłszy do jej szczytu, wylewałaby się napowrót do naczynia, z niego wnikałaby znowu przez ściankę *a* do komórki, ponownie byłaby wyciskana przez ściankę *b* do rurki *n* i t. d. O ileby obie błony, zamykające komórkę, przepuszczały tylko wodę, nie przepuszczając cząstek cukru, ruch trwałby w nieskończoność i aparat stanowiłby perpetuum mobile, które jak wiadomo jest niemożliwe. Tak samo rzecz musiałaby się mieć w komórce roślinnej, przytykającej do naczynia, gdyby ona miała do niego wypychać czystą wodę. A zatem nie da się pomyśleć żadna struktura czy to błony, czy protoplazmy ją wyściełającej, a dokładnie półprzepuszczalnej, któraby sama przez się mogła umożliwiać wypychanie z komórki czystej wody samem jej osmotycznym ciśnieniem, bo taka struktura równałaby się możliwości istnienia perpetuum mobile. Dla wypchnięcia czystej wody z komórki byłaby potrzebna energia nie tylko do przewyciężenia oporu, jaki jej ścianka wraz z wyściełającą ją protoplazmą stawia wypychanej wodzie, ale także do przewyciężenia osmotycznych sił soku komórkowego, do oddzielenia wody od cza-

stek stałych, rozpuszczonych w tym soku. Gdzie szukać źródła energii koniecznej do tej ostatniej czynności? Pod tym względem jedno tylko napewno możemy powiedzieć, t. j. że tem źródłem musiałyby być procesy fizyko-chemiczne, przebiegające w żyjącej komórce i związane ściśle z jej życiem. Że tak jest istotnie w korzeniach, możemy to stwierdzić doświadczalnie, a to przez badanie wpływu warunków zewnętrznych na parcie korzeniowe. Niska temperatura, brak tlenu i wogóle czynniki, osłabiające żywotność komórek, zmniejszają lub znoszą zupełnie parcie korzeniowe i wszelki wypływ soku z pieńka ściętej rośliny ustaje; natomiast podwyższenie temperatury, przywrócenie dostępu tlenu powiększają znowu ten wypływ. Więc wytwarzanie parcia korzeniowego zostaje, jak widzimy, w ścisłym związku z procesami życiowymi, odbywającymi się w komórkach korzenia, z niemi razem rośnie i maleje, co nam daje prawo szukania w nich właśnie źródła energii, potrzebnej do oddzielenia od soku komórkowego płynu o wartości osmotycznej o wiele niższej niż jego własna.

2. Możliwe sposoby działania energii życiowej na wyciskanie wody z komórek.

Stwierdzenie, że źródła energii, działającej w wytwarzaniu parcia korzeniowego, należy szukać w procesach życiowych komórki, wyciskających wodę do naczyń, nie może nas jeszcze zadowolnić; musimy zadać sobie dalsze pytanie, w jaki sposób ta energia pośredniczy w oddzielaniu wody od soku komórkowego dla wypychania jej do naczyń? Otóż na to pytanie nie umiemy dać dotąd zupełnie pewnej odpowiedzi, możemy tylko rozważać różne możliwości, w jakiby to sposób mogło się odbywać i oceniać, które z tych możliwości są więcej, a które mniej prawdopodobne.

1) Jedną z takich możliwości byłoby przypuszczenie, że protoplazma komórek, wypychających wodę, ulega periodycznie czynnemu skurczaniu się, z jednoczesnym zwiększeniem się jej przepuszczalności dla wody od tej strony, po której woda ma być wypychana, więc w danym przypadku od strony naczynia; taki skurcz powodowałby czynne wypchnięcie pewnej ilości wody do naczynia, a po jego ustaniu i ponownym zmniejszeniu się przepuszczalności protoplazmy od strony naczynia, następowaloby wciągnięcie wody z sąsiednich komórek, potem zno-

wu skurcz, wypychający wodę i t. d. Energji, potrzebnej do wykonywania takich skurczów i zmian przepuszczalności protoplazmy, musiałyby dostarczyć fizyko-chemiczne procesy życiowe komórki, a w pierwszym rzędzie jej oddychanie. Gdyby takie perjodyczne skurcze protoplazmy w powyższy sposób istotnie się odbywały, to już one same mogłyby wystarczyć do wypychania nawet czystej wody. Niestety nie znamy dotąd żadnego pozytywnego faktu, któryby za odbywaniem się takich skurczów przemawiał¹⁾.

¹⁾ W nowszych czasach J. Ch. Bose twierdzi (The Physiology of the Ascent of Sap, Londyn 1923), że udało mu się pozytywnie stwierdzić istnienie przewidzianych przez autora niniejszej książki (E. Godlewski, Zur Theorie der Wasserbewegung in den Pflanzen, Jahrb. f. wiss. Botanik, T. 15. 1884) rytmicznych skurczów komórek. Jako dowód istnienia takich rytmicznych skurczów podaje Bose odkryte przez siebie zjawisko »pulsacji elektrycznej« w komórkach kory pierwotnej, w warstwie przytykającej bezpośrednio do śródskórni. Gdy mianowicie komórki te, zapomocą odpowiedniej elektrody, wprowadzonej w głąb tkanek (zapomocą t. zw. »sondy elektrycznej«) zostaną włączone w obwód bardzo czułego galwanometru, to wywołają one rytmiczne odchylenia galwanometru, odpowiadające perjodycznym zmianom siły elektromotorycznej w komórkach, o amplitudzie 0,1 miliwolta. Długość jednego perjodu, czyli »okres pulsacji«, wynosić ma u kolcoskrętu (*Nauclea*) 13 sekund; podobne »pulsacje elektryczne« stwierdził w ogonkach liściowych figi (*Ficus religiosa*), banana (*Musa*), niecierpka (*Impatiens*), kapusty (*Brassica oleracea*), przyczem okres pulsacji wynosił tutaj od 1 do 5 minut.

Niestety, wartość tych rezultatów pozostaje pod znakiem zapytania, gdyż autor podaje wprawdzie fotografie krzywych wahań galwanometru, zarejestrowanych automatycznie, ale nie opisuje szczegółów doświadczeń, ani warunków, w jakich te krzywe zostały otrzymane. Wskutek tego tracą one, jako dokumenty, większą część swej wartości. Nie wiemy też, czy autor wziął pod uwagę wszystkie, możliwe tutaj, źródła błędów i należyście się przed nimi zabezpieczył. Czytając pracę Bose'a, nie znajdujemy tam danych, któreby nas upewniły, 1) że uzyskane odchylenia istotnie odpowiadają zmianom, zachodzącym w normalnych komórkach, 2) że obserwować je można bez przerwy, nawet przez czas dłuższy trwania doświadczenia i 3) że odbywają się stale i regularnie w ciągu życia rośliny.

Natomiast Dixon (H. A. Dixon, The Transpiration Stream, Londyn 1924) opisuje doświadczenia wspólne z J. Pool'em, w których starali się w sposób zupełnie identyczny — o ile to było możliwe na podstawie opisu Bose'a — powtórzyć doświadczenie Bose'a nad »pulsacją elektryczną« u jeżatki (*Sparmannia africana*) i krakowiaka (*Pelargonium zonale*); próby te dały wynik najzupełniej ujemny. Nie dostrzeżono ani śladu »pulsacji«.

Gdyby jednak nawet ktoś powtórzył doświadczenia Bose'a w jakichś odpowiedniejszych warunkach i — jeżeli to możliwe — potwierdził ich wyniki, a zarazem usunął wszelkie, nasuwające się, wątpliwości, to jeszcze pozostałoby pytanie, jakim naprawdę procesom fizjologicznym odpowiadają obserwowane

2) Więcej prawdopodobieństwa mogłoby mieć za sobą przypuszczenie, że wypychanie wody z pewnych komórek ma za podstawę zmiany wartości osmotycznej treści komórek. Możemy przyjąć za pewnik, że pewna ilość wody musi być wypchnięta z komórki zawsze, ile razy w chwili, gdy się ona znajduje w maximum turgoru, odpowiadającego jej wartości osmotycznej, ta wartość się zmniejsza; natomiast woda będzie wchłaniana do komórki, gdy ta wartość osmotyczna się zwiększy. Wartość osmotyczna zależy, jak wiemy, od ilości cząsteczek i jonów rozpuszczonych w jednostce objętości wody, znajdującej się w komórce. Ta ilość może się zmieniać, bo podczas procesów chemicznych, jakie zachodzą w komórce, bardzo często następuje rozpadanie się cząsteczek większych na mniejsze, albo łączenie się mniejszych w większe, np. rozpadanie się cukru trzcinowego na heksozy i odwrotnie kondensowanie się heksoz na cukier trzcinowy, albo rozpadanie się białka na aminokwasy i odwrotnie, powstawanie białka ze związków azotowych o mniejszych, niż u białka cząsteczkach i t. p. Z praw ciśnienia osmotycznego wynika, że każde rozpadanie się cząsteczek większych na mniejsze musi powodować zwiększenie się, każda kondensacja mniejszych na większe zmniejszenie się wartości osmotycznej. Gdyby więc przypuścić, że te procesy rozpadania się i skupiania cząsteczek następują po sobie w pewnej rytmice, to ta rytmika musiałaby za sobą pociągać następujące po sobie rytmiczne zwiększanie się i zmniejszanie wartości osmotycznej soku komórkowego, a w ślad za tem pobieranie i wypychanie wody przez komórki. Gdyby teraz tym zmianom wartości osmotycznej komórki towarzyszyły odpowiednie zmiany w przepuszczalności protoplazmy dla wody tak, żeby zwiększaniu się wartości osmotycznej komórki towa-

zmiany elektryczne. Mogą one bowiem towarzyszyć zarówno rytmicznym zmianom stanu podrażnienia komórek, jak i zmianom chemicznym, jak wreszcie zmianom turgoru. Że pochodzą one właśnie od zmian turgoru, na skutek perjodycznych skurczów i rozkurczów komórek, jak chce Bose, to trzeba by dopiero udowodnić, a wykluczyć wszystkie inne możliwości. Takiego dowodu Bose nietylko nie podaje, ale nie czyni nawet usiłowań w tym kierunku.

Stwierdzić zatem należy, że Bose nie obserwował wcale mechanicznych skurczów i rozkurczów komórek, zaś przedstawione przez niego fragmentaryczne i budzące wiele wątpliwości dane o »pulsacji elektrycznej« komórek nie nadają się do wyciągania jakichkolwiek wniosków. [Dopisek M. K.].

rzyszyło zwiększenie się dla wody przepuszczalności warstwy protoplazmatycznej, wyścielającej ścianki komórek kory, a zmniejszeniu się zwiększenie tej przepuszczalności od strony naczynia, to rezultatem takich zmian byłoby pobieranie wody od strony komórek sąsiednich, a wypychanie jej po stronie, przytykającej do naczynia. Taka zatem rytmika w zmianie wartości osmotycznej, gdyby rzeczywiście istniała, mogłaby objaśnić jednostronne wypychanie, nawet zupełnie czystej wody, przez komórkę¹⁾. Tylko w takim przypadku wydzielanie wody z komórki musiałyby się odbywać nie równomiernie, ale z rytmicznymi przerwami.

3) Ale możemy sobie zrobić jeszcze inne przypuszczenie, które dozwalałoby zrozumieć wydzielanie się jednostronne także nawet czystej wody, bez żadnej rytmiki, ale zupełnie równomiernie. Gdyby mianowicie przypuścić, że zmniejszenie się wartości osmotycznej następuje nie równomiernie w całej komórce, ale głównie po jednej jej stronie, mianowicie po stronie, gdzie ta komórka przytyka do naczynia, to pewna ilość wody musiałaby być właśnie do tego naczynia wepchnięta. Takie zmniejszenie się wartości osmotycznej mogłoby np. następować, jak przypuszcza Pfeffer²⁾, przez przeważające po tej stronie spalanie się rozpuszczonych cząsteczek organicznych wskutek oddychania. Gdyby równocześnie po stronie przeciwnej, przytykającej do komórek sąsiednich, koncentracja mimo oddychania uzupełniała się przez przechodzenie nowych cząsteczek do roztworu i pozostawała wskutek tego bez zmiany, to od tej strony woda byłaby stale z sąsiednich komórek pobierana, a po stronie gdzie wartość osmotyczna się zmniejsza, stale do naczynia wydzielana. W ten sposób procesy chemiczne, utrzymując stale różnicę w wartości osmotycznej po dwóch stronach komórki, mogłyby pośredniczyć w oddzielaniu nawet czystej wody od soku komórkowego i wydzielaniu jej do naczyń przez komórki, które do nich przytykają. Każda z tych 3 hipotez, o ile jej postulaty byłyby doświadczalnie stwierdzone, mogłaby nam objaśnić wypychanie wody do naczyń i wpływ z piętka nie tylko roztworu daleko bardziej rozcieńczonego, niż sok komórek, przytykających do naczyń, ale nawet

1) Godlewski, »O krążeniu wody w roślinach«, Pamiętnik Akademii Umiejętności w Krakowie 1884 (»Zur Theorie der Wasserbewegung in den Pflanzen« Jahrb. für wiss. Botanik Bd. 15. S. 184).

2) Pfeffer, »Osmotische Untersuchungen« (Leipzig 1887 S. 222 - 235).

i czystej wody, to zn., że każda z nich mogłaby objaśnić wypychanie wody z komórek o wysłaniu protoplazmatycznym doskonale współprzepuszczalnym. W rzeczywistości woda, wyciekająca z pieńka nie jest jednak nigdy zupełnie czysta, ale zawsze zawiera pewne ilości ciał w niej rozpuszczonych t. zn., że protoplazma komórek, wydzielających tę wodę, nie jest doskonale współprzepuszczalna, ale prócz wody przepuszcza także mniejsze lub większe ilości cząsteczek stałych, rozpuszczonych w soku komórkowym. Jest rzeczą zupełnie jasną, że wydzielanie takiego, choćby bardzo rozcieńzonego roztworu, wymaga mniejszego zużycia energii, niż wydzielanie wody czystej, tem mniejszego, im więcej cząsteczek stałych jest rozpuszczonych w takim roztworze, bo tem mniejszej potrzeba nadwyżki energii do oddzielenia tego roztworu od soku komórkowego.

4) Wobec tego możliwe jest jeszcze inne prostsze tłumaczenie wypychania wody do naczyń, a więc i parcia korzeniowego, niż przez hipotezy, któreśmy wyżej podali. W hipotezie 3 (Pfeffera) przypuściliśmy, że wypływ wody z komórki, o ściankach doskonale współprzepuszczalnych, następuje przez utrzymywanie się po jednej stronie komórki stale większej wartości osmotycznej niż po drugiej. Ta różnica miałaby być stale utrzymywana pod wpływem procesów chemicznych, przebiegających w komórce. Ale taka różnica mogłaby powstawać także przez to, że protoplazma komórki po jednej stronie byłaby dla cząsteczek stałych, rozpuszczonych w soku komórkowym, łatwiej przenikliwa, niż po drugiej. Następstwem takiej łatwiejszej przenikliwości musiałoby być to, że po tej stronie, po której sok komórkowy przytykałby do tej łatwiej przenikliwej warstwy protoplazmy, jego koncentracja stawałaby się mniejszą, niż po stronie przeciwnej tejże samej komórki; dalszym tego skutkiem byłby ten sam fakt, któryśmy omawiali w hipotezie trzeciej, t. j. wypychanie przez turgor większej ilości wody po tej stronie, po której protoplazma łatwiej przepuszcza cząstki, rozpuszczone w soku komórkowym. W tej hipotezie zatem, dla objaśnienia wypływu wody z pieńka trzeba by przypuścić tylko większą przepuszczalność protoplazmy w komórkach, wypychających wodę po stronie przytykającej do naczyń. Pozornie zdawałoby się mogło, że wracamy do pierwotnej hipotezy, postawionej jeszcze przez Hofmeistera i Sachsa i ilustrowanej przyrządem wyżej opisanym i wyrysowanym na str. 100. Tak jednakże nie jest; tamta hipoteza opierała się na przyjmowaniu różnic w prze-

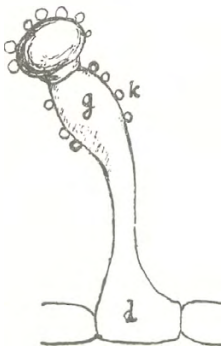
puszczalności protoplazmy dwóch stron komórki *dla wody*, ta zaś upatruje przyczynę zjawiska w różnej przepuszczalności *dla ciał rozpuszczonych* w soku komórkowym. Tamta popadała w sprzeczność z prawami zachowania energii, bo prowadziła do przyjęcia możliwości perpetuum mobile, ta w tę kolizję nie popada. Istotnie gdybyśmy przyjęli, że w sztucznej komórce (ryc. 3) błona *b* jest łatwiej przepuszczalną niż *a*, nie dla wody, ale dla cząstek cukru, to nawet przy tej samej przenikliwości obu błon dla wody, przez błonę *b* więcejby było wody wyciskanej niż przez *a*, bo zatrzymywanie wody przez siłę osmotyczną cukru byłoby po tej stronie mniejsze niż po stronie *a*. Ale też choćby się ciecz z rurki *n* wylewała napowrót do naczynia, a woda z niego przez ściankę *a* znów była do komórki *c* pobierana, to ruch ten nie trwałby w nieskończoność, ale tylko tak długo, dopóki koncentracja roztworu cukru w naczyniu zewnętrznym i w komórce *c* nie zrównały się z sobą. W przypadku komórki korzenia, przytykającej do naczynia, łatwo też przewidzieć, że wypychanie wody do naczynia, a tem samem i wyciekanie wody z pieńka musiałyby ustać z chwilą, gdyby z soku komórek, wodę wypychających, ubyło już tyle ciał w nim rozpuszczonych, żeby ich wartość osmotyczna zeszła poniżej tej, jaką mają komórki, z której one wodę czerpią. Oczywiście musiałyby to nastąpić bardzo rychło, gdyby procesy życiowe nie zasilaly bezustannie tych komórek w cząsteczki i jony, osmotycznie działające i nie utrzymywały w ten sposób ich wartości osmotycznej na odpowiedniej wysokości. Z chwilą gdy te procesy życiowe nie nastarczą już temu zadaniu, wyciskanie wody na tem oparte musi ustać. Jest rzeczą jasną, że im przepuszczalność dla cząsteczek i jonów, zawartych w soku komórki, byłaby od strony naczynia większą, tem więcej wody przy tem samem ciśnieniu osmotycznym komórki byłoby do naczynia wypychanej, oczywiście pod warunkiem, że to ciśnienie osmotyczne byłoby przez dostarczanie nowych cząstek stale na tej wysokości utrzymywane.

3. Najprawdopodobniejsze przyczyny czynnego wypychania wody z komórek i parcia korzeniowego.

Wymieniliśmy tedy cztery różne możliwości, które mogłyby powodować czynne wypychanie wody do naczyń i cewek z komórek do nich przytykających i objaśnić nam tak zjawiska

płaczu, jak i parcia korzeniowego. Chodziłoby teraz o to, aby uzyskać pewne doświadczalne dane co do tego, która z tych możliwości ma za sobą najwięcej prawdopodobieństwa. Komórki, wypychające w korzeniu wodę do naczyń, ze względu na ich położenie wewnątrz tkanek, mało nadają się do bezpośredniego obserwowania zjawisk w nich zachodzących. O wiele łatwiej jest przeprowadzić takie badania na niektórych innych komórkach, wydzielających także wodę, których zachowanie się można na nieuszkodzonej roślinie przez dłuższy czas bezpośrednio obserwować. Takimi komórkami są np. trzonki zarodnikowe zrywki (*Pilobolus*), albo z pleśniowców (*Phycomyces*), takimi są także niektóre wypotniki (hydatody) mogące wydzielać kropelki wody bez współdziałania parcia korzeniowego, jak wypotniki na liściach fasoli, niektórych paproci, zawciagowatych (*Plumbaginaceae*) i t. p. Przypatrzmy się temu bliżej.

Wydzielanie wody przez zrywkę. Trzonek zarodni u zrywki przedstawia się jako wydłużona, u dołu i u góry



Ryc. 4. Trzonek zarodnika zrywki, pokryty kropelkami wody, wy ciśniętej osmotycznie.

mocno rozszerzona, komórka (ryc. 4). Dolne rozszerzenie *d* przytyka do grzybni, na górnym *g* spoczywa zarodnik. Z tego właśnie górnego rozszerzenia i z samego zarodnika wydzielają się kropelki wody *k*. To wydzielanie i warunki, od których ono zależy, były bardzo dokładnie badane przez Lepeszkiną¹⁾. Następuje ono wtedy tylko, gdy trzonek jest w pełnym turgorze, więc, przedewszystkiem gdy atmosfera, w której grzyb rośnie, jest mocno wilgotna. Ale wydzielanie wody ustaje także i w przestrzeni nasyconej parą wodną, jeżeli wartość osmotyczna podłoża, na którym grzyb rośnie, jest zbyt wielka.

Czynność wydzielania kropelek wody może się odbywać i wtedy, gdy łączność między trzonkiem a grzybnią, z której on wyrósł przetniemy, tak, że w tym przypadku musimy przyjąć, że ta sama komórka przy *d* pobiera wodę z podłoża, a przy *g* w postaci kropelek ją wydziela.

¹⁾ Lepeschkin, »Zur Kenntniss des Mechanismus der aktiven Wasserausscheidung der Pflanzen«, Beihefte zum botanischen Zentralblatt, T. 19 1906. S. 410, a także »Izslidowanie nad wydzieleniem wodnych rastworow«. Zapiski imperatorskoj Akademii nauk Petersburg 1904.

W bardzo wysokiej mierze zależy wydzielanie kropelek od temperatury, z której podwyższeniem wzrasta. Wydzielanie kropelek jest podług Lepeszki na zupełnie jednostajne, bez żadnej rytmiki, więc przyczyn jego nie można się dopatrywać ani w perjodycznych skurczach protoplazmy, ani też w perjodycznych zmianach wartości osmotycznej komórki. Najprawdopodobniej podług tego autora, przyczyna wydzielania wody z trzonek zrywki (*Pilobolus*) leży w tem, że protoplazma wyściełająca błonę w rozszerzeniu g (ryc. 4) jest dla ciał, zawartych w soku komórkowym trzonka, łatwiej przenikliwa niż w innych miejscach, a zwłaszcza niż w rozszerzeniu d , którem trzonek pobiera wodę z podłoża. Ta łatwiejsza przepuszczalność powoduje, że w rozszerzeniu g wartość osmotyczna utrzymuje się stale niżej niż w reszcie komórki i dlatego to właśnie tutaj woda jest przez turgor komórki wypychana. Słuszność tego zapatrywania popiera Lepeszki bardzo przekonującymi doświadczeniami. Przedewszystkiem wykazuje, że grubość rozdęcia g zmienia się z wielkością ciśnienia osmotycznego, jakie panuje w trzonku. Gdy grzybnia leży przez kilkanaście godzin na roztworze cukru, grubość ta jest znacznie mniejsza niż wtedy, gdy leży na wodzie, i to tem mniejsza, im większą jest koncentracja cukru, bo oczywiście tem mniejszy jest wtedy turgor w trzonku. Grubość zatem rozdęcia g może służyć za miarę panującego w danej chwili w trzonku ciśnienia osmotycznego. Stwierdziwszy to, izolował Lepeszki pewną liczbę trzonek zarodni od grzybni i część ich umocowywał zapomocą bibuły nad wodą, w ten sposób, że ich rozdęcie d było pogrążone w wodzie, a reszta trzonka z rozdęciem g sterczała w powietrzu; część zaś odwrotnie, w ten sposób, że w wodzie było pogrążone rozdęcie g , a rozdęcie d sterczało w górę w powietrzu. Po upływie 12-15 godzin mierzył w jednych i drugich okularem mikrometrycznym grubość rozdęcia g i znajdował, że ta grubość była mniej więcej trzy razy mniejsza u tych trzonek, które były w wodzie zanurzone końcem g niż u tych, u których ten koniec był zwrócony do góry a w wodzie były zanurzone końcem d , czyli, że u pierwszych ciśnienie osmotyczne (turgor) było o wiele mniejsze niż u drugich. Jest to wyraźnym dowodem na to, że przy g trzonek działa osmotycznie o wiele słabiej niż przy d , co można sobie objaśnić jedynie mniej dokładną tutaj współprzepuszczalnością protoplazmy, wyściełającej błonę, czyli większą jej przepuszczalność

ścią dla ciał rozpuszczonych w soku komórkowym. A zatem różnice w przepuszczalności wyścielającej ścianki komórek warstwy protoplazmatycznej przy g i d (Ryc. 4), które przyjęliśmy dla objaśnienia wydzielania wody, zostały doświadczalnie udowodnione. Stwierdzenie istnienia tych różnic ma jeszcze i to znaczenie, że pozwala nam zrozumieć nietylko samo wydzielanie wody przez trzonki zarodni, ale i jego zależność od pewnych warunków zewnętrznych. I tak wydatne zwiększanie się wydzielania wody ze wzrostem temperatury, które o wiele przynosi zwiększenie się ciśnienia osmotycznego na mocy jego proporcjonalności do temperatury bezwzględnej, objaśnia się łatwo tem, że jak to wykazał *Rysselberghe*¹⁾, szybkość przenikania tak wody, jak ciał w niej rozpuszczonych, przez protoplazmę wzrasta bardzo silnie z podnoszeniem się temperatury. Gdy zatem z soku komórkowego, mieszczącego się w rozdęciu g (ryc. 4), w wyższej temperaturze więcej ciał rozpuszczonych zostanie przez powłokę protoplazmatyczną wydzielonych nazewnątrz, to w ślad za tem nastąpić musi znaczniejsze zmniejszenie się w tem miejscu wartości osmotycznej soku, a tem samem i obfitsze wydzielanie wody z komórki.

Działanie anestetyków, albo niektórych trucizn w pewnych stężeniach, pociąga za sobą obfitsze wydzielanie kropelek wody. I to znowu trzeba przypisać zwiększeniu się pod wpływem tych trucizn przenikliwości protoplazmy, wyścielającej ścianki rozdęcia g dla ciał rozpuszczonych w soku komórkowym. Istotnie *Lepeschkin* wykazał, że wydzielające się po takiej narkozie kropelki zawierają w roztworze więcej ciał stałych niż normalnie.

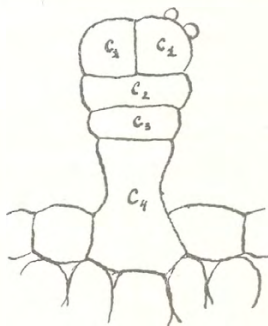
Że wydzielanie kropelek słabnie lub zupełnie ustaje, gdy trzonek styka się rozdęciem d nie z czystą wodą, ale z roztworem o znaczniejszej wartości osmotycznej, to łatwo jest zrozumieć, boć kropelki wyciskane są przez turgor trzonka, który, jak się samo przez się rozumie, musi być mniejszy wtedy, gdy pobieraniu wody przeciwdziała wartość osmotyczna podłoża, z którego jest pobierana. Jeżeli, po dłuższem trzymaniu grzybka na roztworze np. soli kuchennej, przeniesiemy go znowu na czystą wodę, to wydzielanie kropelek staje się szczególnie silne, silniejsze niż wtedy, gdy grzybek był ciągle trzy-

¹⁾ *Von Rysselberghe*, »Influence de la température sur la perméabilité du protoplasme vivant pour l'eau et les substances dissoutes« *Rec. de l'Inst. Bot. de Bruxelles* 5, 1901 i *Bull. de l'Acad. Belg. (Sciences)* 1901.

many na wodzie, i to się łatwo objaśnia, bo podczas trzymania go na roztworze soli pewna ilość tejże wnikła do trzonka i po przeniesieniu na wodę zwiększyła w nim ciśnienie osmotyczne, które kropelki wypycha.

4. Wydzielanie wody przez wypotniki.

Jako drugi przykład wyciskania wody z komórek weźmiemy czynne wypotniki (hydatody) na liściach różnych roślin. Tu rzecz jest bardziej skomplikowana, bo komórki wodę wyciskające nie biorą jej bezpośrednio z podłoża, ale zostaje im ona doprowadzona przez inne komórki, wchodzące w skład wypotnika, zupełnie tak samo jak do komórek, wydzielających z korzenia wodę do naczyń, zostaje ona im doprowadzona z ziemi przez komórki skórki i kory korzeniowej. Weźmy jako przykład wypotniki na dolnej powierzchni liści fasoli (ryc. 5). Są one wielokomórkowymi włoskami, w których wydzielają wodę jedynie komórki szczytowe C_1 , podczas gdy komórki C_2 , C_3 , C_4 tylko im tę wodę doprowadzają z naczyń przez komórki śródliścia. Tak samo jak to przypuściliśmy dla skórki i kory korzeniowej, tak i dla tych komórek trzeba przyjąć, że doprowadzanie przez nie wody do komórek C_1 odbywa się przez osmozę, a to wskutek coraz bardziej rosnącej w kierunku komórek C_1 wartości osmotycznej ich soku komórkowego. Że tak jest, udowodnił Lepeszkina badaniami plazmolitycznymi, znalazłszy, że podczas gdy komórki C_1 wydzielające wodę miały wartość osmotyczną, odpowiadającą 7.1% roztworowi saletry, to dla splazmolizowania komórek C_2 , C_3 , C_4 potrzeba było roztworów 6.9%, 6.7% i 4.2%, do splazmolizowania przyległych komórek miękiszu 3.8%, komórek pochwy naczyniowej 3.1%, a nareszcie płyn w naczyniach miał wartość osmotyczną, odpowiadającą roztworowi saletry tylko 0.02%. A zatem jest rzeczą nie tylko zupełnie zrozumiałą, ale konieczną, że wskutek tych różnic w wartości osmotycznej komórek obok siebie leżących, woda musi być z naczyń od komórki do komórki doprowadzana aż do komórek C_1 , wydzielających wodę, które mają najwyższą wartość osmotyczną. Zupełnie podobne stosunki znalazł



Ryc. 5. Budowa wypotnika z dolnej powierzchni liścia fasoli.

Lepeszkina także w wypotnikach różnych innych roślin, jak tytoniu (*Nicotiana grandiflora*), zaślazu (*Abutilon hybrida*), paprotki (*Polypodium aureum*): więc u wszystkich tych wypotników doprowadzanie wody do komórek, które ją wydzielają, polega na ruchu osmotycznym, spowodowanym różnicami wartości osmotycznej komórek. Ale jakież jest mechanizm samego wydzielania wody? Że i tu, tak jak u trzonków zarodni zrywki, woda jest z komórek ją wydzielających wyciskana przez ciśnienie osmotyczne, to udowodnił Lepeszkina, wykazując doświadczalnie, że ilość wydzielanej wody jest wprost proporcjonalną do ciśnienia osmotycznego, panującego w komórkach, które ją wydzielają. Doświadczenia polegały na tem, że kawałki liścia kładziono górną powierzchnią ich blaszki bądź na wodzie, bądź na roztworach soli kuchennej różnego stężenia, nakrywano kloszem i trzymano w takiej wilgotnej atmosferze przez 24 godzin, poczem zapomocą skalibrowanej pipety zmierzono ilość wydzielonej przez hydrotody wody. Badania plazmolityczne wykazały, że komórki, wydzielające wodę miały wartość osmotyczną, odpowiadającą 1.95% roztworu Na Cl, gdy więc liście leżały na wodzie, ich ciśnienie osmotyczne odpowiadało tej właśnie koncentracji, ale, o ile leżały na roztworach soli, ich ciśnienie musiało być mniejsze o ciśnienie, odpowiadające wartości osmotycznej tych właśnie roztworów. Z tego wynika, że ciśnienie hydrostatyczne w komórkach wypotników liści, leżących na wodzie i roztworach solnych o koncentracji 0.8%, 1.5%, 2.0%, miały się względem siebie jak:

$$1.95\% : (1.95 - 0.8\%) : (1.95 - 1.5) : (1.95 - 2)$$

czyli jak 1 : 0.59 : 0.24 : — 0.02,

podczas gdy pomiary ilości wody wydzielonej przez wypotniki dały stosunki

$$\text{jak } 1 : 0.60 : 0.23 : 0.00$$

t. j. stosunki z poprzednimi identyczne, co dowodzi ścisłej proporcjonalności między ilościami wody wydzielanej przez wypotniki a ciśnieniami osmotycznymi, jakie w nich panują.

Musimy teraz zapytać, dlaczego woda, doprowadzana komórkom C_1 przez komórki C_4 , C_3 , C_2 , zostaje przez nie nazewnątrz przez ciśnienie osmotyczne wyciskana. Bezpośrednie obserwacje pod mikroskopem przekonały Lepeszkina, że i tu wydzielanie wody jest jednociągłe, bez żadnej rytmiki, więc i tu jego przyczyny nie można upatrywać ani w skurczach protoplazmy, ani w perjodycznych zmianach wartości osmotycznej

komórek, które wodę wydzielają, raczej przypisać ją trzeba stale utrzymującej się różnicy między wartością osmotyczną komórki po stronie wodę pobierającej a wydzielającej. Wszystko przemawia za tem, że przyczyny tego zjawiska i tu także trzeba szukać w większej przepuszczalności protoplazmy dla ciał rozpuszczonych w soku komórkowym po tej stronie komórki, po której pojawiają się kropelki wydzielanej cieczy. Takie zapatrywanie znajduje silne poparcie w doświadczeniu Lepeszkina, w którym przez 4 tygodnie mierzył od czasu do czasu ilość i koncentrację cieczy, wydzielanej przez 6 liści fasoli. Te pomiary wykazały powolne, ale stałe zmniejszanie się zarówno ilości, jak i koncentracji wydzielanej cieczy. Tak np. przez pierwsze 5 dni wypotniki wydzieliły 0.325 gr. cieczy, zawierającej 0.42% części stałych, w ostatnim tygodniu przez 7 dni wydzieliły tylko 0.042 gr. cieczy o koncentracji 0.16% części stałych, więc zmniejszanie się ilości i koncentracji wydzielanej cieczy szły ze sobą w parze. Prawda, że jedno i drugie mogłoby pochodzić z wyczerpywania się w komórkach wypotników ciał osmotycznie działających i ze zmniejszania się wskutek tego ich osmotycznego ciśnienia. Istotnie, wartość osmotyczna komórek, wydzielających wodę, odpowiadała na początku doświadczenia roztworowi saletry o koncentracji 6.8%, na końcu o koncentracji 3.6%, więc ciśnienie osmotyczne na początku i na końcu doświadczenia miały się względem siebie jak 1.75 : 1. Gdyby zatem zmniejszenie wydzielania wody było spowodowane tylko mniejszem ciśnieniem osmotycznym komórek wodę wydzielających, to w myśl tego, co wyżej powiedziano o proporcjonalności tego wydzielania do ciśnienia osmotycznego, wydzielanie także musiałoby się zmniejszyć w stosunku 1.75 : 1. Tymczasem zmniejszyło się ono o wiele więcej, bo w stosunku 0.325 : 0.03, czyli 10.83 : 1, a więc musiały być jeszcze inne czynniki poza zmniejszeniem się ciśnienia osmotycznego, które wpłynęły na słabsze wydzielanie wody. Ponieważ równocześnie ze zmniejszeniem wydzielania cieczy zmniejszyła się także bardzo znacznie jej koncentracja, bo z 0.42% spadła na 0.16%, t. j. zmniejszyła się w stosunku 2.6 : 1, a więc także silniej niż zmniejszenie wartości osmotycznej komórek, przeto wszystko przemawia za tem, że to, zbyt wielkie w stosunku do spadku ciśnienia osmotycznego, zmniejszenie się wydzielania wody przez wypotniki trzeba przypisać zmniejszeniu się różnic w przepuszczalności protoplazmy dla składników soku

komórkowego po obu stronach komórek, najprawdopodobniej znacznemu zmniejszeniu się przepuszczalności protoplazmy po stronie wydzielającej wodę.

Tak więc także wydzielanie wody przez wypotniki liści fasoli, a zapewne i wypotniki liści innych roślin trzeba z największym prawdopodobieństwem przypisać różnicom w przepuszczalności protoplazmy dla cząstek rozpuszczonych w soku komórkowym po obu stronach komórki, t. j. po stronie wodę wydzielającej i stronie, która przytyka do komórki, doprowadzającej jej wodę. Zauważyć więc należy, że zjawisko jest tu o tyle więcej skomplikowane niż u trzonek zarodni zrywki, że tam wchodziła w grę tylko przepuszczalność protoplazmy w komórce wodę wydzielającej, tu natomiast także i stosunki przepuszczalności protoplazmy w komórce bezpośrednio do niej przylegającej, która jej wodę doprowadza. Od tego bowiem zależy musi koncentracja cieczy, którą przesiąknięta jest ścianka rozdzielająca obie komórki. Ale w te szczegóły wdawać się już nie będziemy.

W bardzo podobny sposób jak wypotniki fasoli zachowują się także charakterystyczne gruczoły Plumbagineów, służące tym roślinom, o ile rosną na mocno słonych glebach, do pozbywania się pobieranego nadmiaru soli kuchennej i umożliwiające im przez to zdrowy rozwój na glebach nawet bardzo słonych. Te gruczoły są oczywiście także wypotnikami, a gruntowne badanie Ruhlanda nad ich budową i czynnościami dały wyniki w wielu względach przypominające rezultaty, otrzymane przez Lepeszkina dla wypotników fasoli. Na szczególną uwagę zasługuje to, że także Ruhland znalazł, że kawałki liści, położone na czystej wodzie górną stroną, wydzielają ciecz wypotnikami strony dolnej i że w miarę długości trwania doświadczenia ciecz ta wydzielala się coraz mniej obficie i miała stężenie coraz mniejsze¹⁾.

Powyzsze rozważania i obserwacje objaśniają nam poniekąd, w jaki sposób jest to możliwe, że niektóre komórki, jak trzonki zarodnikowe zrywki (*Pilobolus*), lub pewne komórki wypotników, pobierają wodę po jednej stronie, a wydzielają ją nazewnątrz po drugiej. Jak widzieliśmy w powyższych przykładach, zawdzięczają

¹⁾ Ruhland, »Untersuchungen über die Hautdrüsen der Plumbaginaceen«. Jahrb. für wiss. Bot. Bd. 55, 1905. S. 408-498, a szczególnie 433.

to one z największym prawdopodobieństwem różnicom przepuszczalności protoplazmy w różnych miejscach komórki dla cząstek osmotycznie działających, zawartych w soku komórkowym. Atoli same te różnice w danej chwili nie wystarczyłyby do tego, aby objaśnić długie trwanie takiego pobierania i wypychania wody przez daną komórkę. Bo skoro to wypychanie jest ściśle związane z wydostaniem się z komórki nazewnątrz cząsteczek osmotycznie działających, a więc z ubytkiem tych cząstek w komórce, to gdyby ta komórka nie była ponownie w te cząstki zasilana, to jej wartość osmotyczna, a tem samem i ciśnienie przez nią wywoływane, musiałyby się tak szybko zmniejszać, że rychło nie wystarczyłoby ich już do wypchnięcia cieczy z komórki. Jeżeli zaś wydzielanie cieczy z komórki ma trwać dłużej, to wartość osmotyczna tej komórki musi być uzupełniana, jeśli nie do pierwotnej wielkości, to przynajmniej do takiej, któraby wytwarzała ciśnienie jeszcze wystarczające do wypchnięcia wody nazewnątrz. To uzupełnianie może się dokonać, bądź to przez dopływ z zewnątrz cząstek osmotycznie działających, bądź przez wytwarzanie się ich wewnątrz komórki, bądź wreszcie przez jedno i drugie. Z zewnątrz mogą cząsteczki dopływać z wodą, którą komórka pobiera, wewnątrz mogą się wytwarzać przez procesy fizykochemiczne związane z życiem komórki, jak przez rozpad cząsteczek większych na mniejsze (rozszczepianie się sacharozy na dekstrozę i lewulozę, rozpadanie się cząstek elektrolitów na jony i t. p.) lub przez przechodzenie związków nierozpuszczalnych, albo trudno rozpuszczalnych w łatwo rozpuszczalne (hydroliza skrobi na cukry, hydroliza materij białkowych na aminokwasy i t. p.). Skorośmy przyjęli, że wydzielanie wody polega na tem, że protoplazma po tej stronie, którą komórka wodę wydziela, łatwiej przepuszcza cząstki osmotycznie działające, niż po tej, którą wodę pobiera, to jest rzeczą wykluczoną, aby z pobieraną wodą mogło się do niej dostać tyle tych cząstek, wiele ich wychodzi nazewnątrz z wodą wydzielaną, bo to byłoby możliwe tylko wtedy, gdyby się te cząstki po obu stronach równie łatwo przez protoplazmę przedostawały. Jeżeli zatem ogólna ilość cząstek osmotycznie działających ma się w komórce, wydzielającej wodę, utrzymywać czas dłuższy w tej samej wysokości, to w uzupełnianiu tej ilości musi brać także udział wytwarzanie się takich cząstek przez procesy fizykochemiczne w samej komórce, wydzielającej wo-

dę. Należałoby w każdym szczegółowym przypadku zbadać, o ile takie uzupełnianie się pierwotnej wartości osmotycznej komórek, wydzielających wodę, istotnie następuje; jak długo trwa, i w jaki sposób się dokonytuje. Co do wypotników fasoli, to z badań Lepeszki na wynika, że ono jest bardzo niezupełne, bo wartość osmotyczna komórek, wydzielających wodę, zmniejszyła się w jednym z jego doświadczeń w ciągu 4-ech tygodni prawie do połowy; gdy bowiem do ich splazmolizowania potrzeba było na początku doświadczenia 6.8% roztworu saletry, to po 4-ech tygodniach wydzielania wody wystarczał do tego roztwór 3.6%, ale też wtedy wydzielanie wody już zupełnie ustało. W innych przypadkach, a może i w innych warunkach, to uzupełnianie jest może pełniejsze, być może np. że następuje łatwiej wtedy, gdy wydzielanie wody nie trwa ciągle, ale są w niem pewne przerwy, podczas których także w utracie ciał osmotycznie działających następują pauzy, przez co straty, jakie poprzednio nastąpiły, rychlej zostają wyrównane. Rzecz ta zasługiwałaby na bliższe zbadanie. Następują także pytania, jaki udział w tem uzupełnianiu ciśnienia osmotycznego przypada cząstkom, pobieranym z zewnątrz przez komórkę, wydzielającą wodę, a jaki cząstkom w niej samej powstającym? Jakie są cząstki pobierane z zewnątrz, a jakie wytwarzane wewnątrz? Jakie procesy fizyko-chemiczne wytwarzają te cząstki? W jakiej zależności zostają one od rozmaitych czynników? i t. d. Wszystkie te pytania domagają się osobnych badań dla ich rozwiązania i to dla różnych szczegółowych przypadków z osobna.

5. Płacz i parcie korzeniowe.

Uzyskawszy pewne dane co do mechanizmu wydzielania wody przez komórki roślinne w najprostszych przypadkach, z jakimi się spotykamy u trzonków zarodni pewnych pleśni i u wypotników liści, rozpatrzmy się teraz w kwestji, o ile wolno nam te dane przenosić na zjawisko płaczu i parcia korzeniowego. Zgóry musimy zaznaczyć, że w tem przenoszeniu wskazaną jest ostrożność, a to nietylko dlatego, że wiemy, jak często takie same zjawiska życiowe bywają wywoływane przez odmienne przyczyny, ale także dlatego, że między wydzielaniem wody przez wzmiankowane objekty, a zjawiskami, jakie obserwujemy u korzeni, obok wielu podobieństw zachodzą także

i pewne różnice. Najwięcej analogji znajdziemy między płazem korzeni i czynnościami wypotników. Bo podczas gdy trzonki zarodni pleśni, wydzielające wodę, biorą ją wprost z podłoża, to komórki korzeni, wydzielające wodę do naczyń, tak samo jak komórki wypotników, są oddzielone od podłoża, z którego pobierają wodę (ziemia dla korzeni, naczynia liści dla wypotników) całym szeregiem komórek, które im z tego podłoża wodę doprowadzają. Nie można wątpić, że także u korzeni doprowadzanie wody komórkom, które ją wydzielają, odbywa się przez osmozę od komórki do komórki i, może i tu dałoby się także stwierdzić stopniowe zwiększanie się wartości osmotycznej komórek w kierunku od skórki do komórek, przylegających do naczyń¹⁾. Różnica dość wybitna leży w tem, że

¹⁾ Przewidywanie to, wypowiedziane tutaj przez autora, sprawdzilo się w badaniach Ursprung'a i Bluma (»Zur Kenntniss der Saugkraft«, Ber. d. d. bot. Ges. 39, 1921. Str. 70). Sprawdzilo się jednak w nieco inny sposób, niż się autor spodziewał. Wymienieni badacze przeprowadzili pomiary wartości osmotycznej, metodą plazmolityczną, w korzeniach fasoli (*Phaseolus vulg.*) i bobu (*Vicia Faba*) i to na wszystkich komórkach przekroju poprzecznego, zaczynając od skórki, kolejno we wszystkich warstwach kory pierwotnej (1 — 7), ku środkowi, aż do komórek śródskórni, pericyklu i mięksizu drzewnego włącznie. Jak z załączonej tabelki widzimy, wartość osmotyczna (I) komórek u fasoli

Wartość osmot. i siła ssąca komórek korzeni fasoli i bobu (według Ursprung'a i Bluma, l. c. str. 72 i 73)

	I. Wartość osmot., w gramodrobinach cukru trzcinowego			II. Siła ssąca, w atmosferach		U w a g i:
	Phaseolus	Vicia 1	Vicia 4	Phaseolus	Vicia 1	
Komórki skórki . .	0.31	0.35	0.32	0.9	0.7	Korzenie hodowane były w wilgotnych trocinach. Przekrój do badania zrobiony był w odległości 1 cm od wierzchołka korzeniowego.
„ kory pierw. 1	0.30	0.36	0.30	1.3	1.4	
„ „ „ 2	0.32	0.36	0.29	1.7	1.3	
„ „ „ 3	0.34	0.36	0.29	2.0	1.5	
„ „ „ 4	0.35	0.37	0.28	2.6	2.1	
„ „ „ 5	0.33	0.38	0.28	3.2	2.8	
„ „ „ 6	0.32	0.39	0.28	3.6	3.0	
„ „ „ 7	0.32	—	—	4.2	—	
„ śródskórni .	0.32	0.39	0.28	1.3	1.7	
„ pericyklu .	0.31	0.36	0.28	0.9	0.8	
„ mięksizu drzewnego .	0.31	0.35	0.28	0.8	0.9	

wzrastała tylko do 4-ej warstwy kory pierwotnej, licząc od obwodu korzenia, a w głębiej położonych warstwach komórek znowu się zmniejszała; u bobu — w jednym egzemplarzu wartość osmotyczna wzrastała aż do środ-

podczas gdy w wypotnikach komórki wydzielają wodę bezpośrednio nazewnątrz rośliny, to w korzeniach wydzielają ją do naczyń. Do naczynia, w jego przebiegu, przytyka całe mnóstwo komórek wydzielających do niego wodę, co musi wywoływać

skórni, zaś w drugim egzemplarzu, trzymanym w nieco innej wilgotności, z początku opadała, zaś w głębszych warstwach pozostawała bez zmiany. Jeżeliby więc wartość osmotyczna komórek była czynnikiem decydującym o ruchu wody z komórki do komórki, w żadnym z tych trzech wypadków nie mogłaby być woda doprowadzona od skórki aż do komórek, przylegających do naczyń. Ten pozorny paradoks naprowadził Ursprunga na właściwe ujęcie rzeczy, które znacznie pogłębiło naszą znajomość osmotycznego ruchu wody z otoczenia do komórki, lub z komórki do komórki. Zwrócił on mianowicie uwagę na oczywisty zresztą fakt, że o ruchu wody decyduje nie tylko wartość osmotyczna (którą często błędnie nazywano »ciśnieniem osmotycznym«), ale także ciśnienie hydrostatyczne, panujące w soku (to znaczy prawdziwe »ciśnienie osmotyczne« czyli turgor). Ciśnienie to działa w kierunku przeciwnym niż wartość osmotyczna i stara się wodę wypchnąć z komórki. Siła ssąca komórki, pochodząca od jej wartości osmotycznej, jest więc zmniejszona o siłę wypychającą ciśnienia hydrostatycznego, panującego w komórce. Jeżeli wartość osmotyczną soku komórkowego oznaczymy przez W , ciśnienie panujące w komórce przez P , zaś siłę ssącą komórki, czyli rzeczywistą wielkość siły, z jaką komórka wciąga wodę, przez S , to będzie: $S=W-P$

Nie od wartości osmotycznej zatem, ale od siły ssącej komórki zależy pobieranie wody przez komórki. Nieregularne zmiany wartości osmotycznej komórek korzenia, w kierunku od skórki do komórek, przylegających do naczyń, nie mają żadnego znaczenia dla określenia kierunku osmotycznego ruchu wody. Istotnie, wiemy przecież, że komórka w stanie pełnego turgoru, nasycona wodą, nie pobiera już więcej wody z otoczenia, choćby tym otoczeniem była woda destylowana. Między komórką a wodą panuje więc równowaga osmotyczna, mimo, że sok komórkowy ma pewną, może nawet wysoką koncentrację, o wartości osmotycznej W , podczas gdy wartość osmotyczna otoczenia równa się zeru. Ale wtedy panuje też w komórce najwyższe osiągalne ciśnienie osmotyczne P , odpowiadające ściśle wartości osmotycznej W soku; jest więc wtedy $P=W$. Siła ssąca zatem, $S=W-P=0$. Gdyby jednak komórka nie była jeszcze całkowicie nasycona wodą, to ciśnienie P nie posiadałoby jeszcze wartości maksymalnej $=W$, ale byłoby mniejsze od W . Im większa różnica $W-P$, tem większa siła ssąca S . Wszystko to było już dawniej znane i na tych rozważaniach oparte jest, podane wyżej przez autora (p. str. 104-105 pod 2), wytłumaczenie wypychania wody z komórek korzeniowych do naczyń; obszerniej mówi o tem autor poniżej w ust. 9. (Wielkość ssania transpiracyjnego), tylko zamiast wyrażenia siła ssąca używa terminu »niedobór turgoru« co odpowiada różnicy $W-P$, równej sile ssącej S według definicji Ursprunga (l. c.) i Höflera (Ber. d. d. bot. Ges. 38, 1920 str. 288). Wprowadzenie terminu siła ssąca i określenie tej wielkości prostym wzorem $S=W-P$ przyczyniło się jednak znacznie do rozjaśnienia stosunków panujących między komórkami, pobierającymi wodę jedna od drugiej, lub z otoczenia. Należało tylko znaleźć jeszcze metodę bezpośredniego oznaczenia wielkości S .

pewną komplikację zjawiska. Jasną bowiem jest rzeczą, że skład płynu, do którego komórka wodę wydziela, nie może tu być obojętny, albowiem cząsteczki w nim rozpuszczone, przez swoje osmotyczne działanie, zwiększać będą wydzielenie i to

Najprościej byłoby obliczyć S z równania $S = W - P$, gdybyśmy znali W i P . Wartość osmotyczną W istotnie możemy z łatwością określić zwykłą metodą granicznej plazmolizy. Ale ciśnienia P , panującego w danej chwili w komórce, oznaczyć bezpośrednio nie umiemy. Łatwiej okazało się bezpośrednie oznaczenie siły ssącej S . Po szeregu prób, datujących się od r. 1916 (Ursprung u. Blum, Zur Methode der Saugkraftmessung, Ber. d. d. bot. Ges. Bd. 34, 1916. S. 515) udało się wreszcie wymienionym autorom wypracować odpowiednią metodę:

Zasada jej polega na tem, że jeżeli komórka styka się z płynem o tej samej sile ssącej S , co i jej własna, to panuje wtedy zupełna równowaga i komórka nie pobiera, ani nie traci wody; nie zmienia też, wskutek tego, swej objętości. Podczas gdy przy oznaczaniu plazmolitycznem wartości osmotycznej W szukamy takiego roztworu, w którym komórka utraci wodę i skurczy się aż do wykazania pierwszych śladów granicznej plazmolizy, to tutaj musimy znaleźć taki roztwór, w którym komórka nie traci wody i w najmniejszym stopniu nie zmieni swoich wymiarów. Zadanie jest trudne, bo wymaga dwukrotnego pomiaru komórki, raz w stanie normalnym, a drugi raz po włożeniu jej do badanego roztworu, w celu stwierdzenia, czy wymiary jej uległy zmianie czy nie; tymczasem już dla pierwszego pomiaru pod mikroskopem musimy komórkę umieścić w płynie, gdyż inaczej, na sucho, obserwacja mikroskopowa jest niemożliwa, a pozątem komórka by wysychała, a więc kurczyła się. Wszelki zaś roztwór wodny mógłby zmienić jej wymiary; w czystej wodzie destylowanej zaś napewno by się powiększyła. Wyjście z tej trudności znaleźli autorzy, badając za pierwszym razem komórkę w kropli płynnej parafiny, która jest cieczą zupełnie obojętną. Po dokonaniu pomiarów długości i szerokości komórki, zapomocą okularu z podziałką mikrometryczną, przenosi się ją do roztworu znanego stężenia (najlepiej roztworu cukru) i bada, czy wymiary nie uległy zmianie. Gdy taki roztwór wreszcie się znajdzie, w którym wymiary komórki nie ulegną najmniejszej zmianie, to jego wartość osmotyczna, wyrażona w atmosferach (a dająca się obliczyć z koncentracji) równa się bezpośrednio sile ssącej komórki, S .

Tą metodą oznaczona została siła ssąca komórek korzenia w podanej wyżej tabelce z pracy Ursprunga i Bluma. Widzimy, że w przeciwieństwie do bezładnych wahań wartości osmotycznej (pod I) wielkość siły ssącej komórek (pod II) bardzo regularnie się zwiększa od obwodu (skórka) ku środkowi korzenia, u fasoli od 0.9 atm. do 4.2 atm., zaś u bobu od 0.7 do 3.0 atm. W tym kierunku odbywa się więc osmotyczny ruch wody. Ale i tutaj, w komórkach śródskórni, widzimy znowu gwałtowny spadek siły ssącej do 1.7 wzgl. 1.3 atm., a w komórkach dotykających naczyń spadek ten idzie jeszcze dalej. Ursprung nazwał to zjawisko »skokiem siły ssącej w śródskórni« (»Endodermisprung«). Zjawisko to stanowiłoby nową trudność w zrozumieniu ruchu wody w korzeniu, gdyby nie to, że dalsze badania trudność tę usunęły, doprowadzając do odkrycia nowego, bardzo ciekawego faktu, po-

tem więcej, im większą jest wartość osmotyczna tego płynu. W wypotnikach komórki, wydzielające wodę, stykają się jedynie z cieczą, którą one same wydzieliły, w korzeniach zaś komórki, wypychające wodę do naczyń, stykają się z płynem, znajdującym się w tych naczyniach, a skład jego w danym odcinku naczynia zależy nie tylko od tego, co wydzielają komórki tego odcinka, ale także od tego, co wydzieliły do naczynia komórki niżej leżące, bo płyn tam wydzielony podnosi się potem do odcinków wyżej leżących. W ten sposób wydzieliny komórek

twierdzącego dawniejsze, na drodze teoretycznej wyprowadzone hipotezy. Okazało się mianowicie, że omawiana w niniejszej książce (p. wyżej, str. 112) trzecia hipoteza, dotycząca czynnego wypychania wody z komórek do naczyń, znajduje obecnie potwierdzenie doświadczalne. Oto siła ssąca komórek śródskórni, która okazuje, według tabelki Ursprunga, nagły spadek, nie jest jednaką w całej komórce, ale różna, zależnie od tego, którą ścianę komórki badamy. Ursprung i Blum (»Eine Methode zur Messung polarer Saugkraft-differenzen« Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 65, 1925, S. 1-27) znaleźli, że jeżeli zamiast skrawka poprzecznego z korzenia, weźmiemy skrawek podłużny, styczny do obwodu, taki, że odsłonięte zostaną zewnętrzne ściany komórek endodermis (t. j. ściany stykające się z korą pierwotną), to siła ssąca komórek endodermis od tej strony jest bardzo wielka, większa niż w przytykających do nich komórkach kory pierwotnej: a więc komórki endodermis wciągać będą wodę z komórek kory. Jeżeli jednak nasz skrawek odsłoni nam wewnętrzne ściany komórek śródskórni, t. j. te, które zwrócone są w stronę naczyń, to siła ssąca S_2 z tej strony pomierzona, okazuje się bardzo mała, często równa niemal zeru. Ponieważ ciśnienie hydrostatyczne P w całej komórce jest jednakie, to możemy napisać następujące dwa równania dla komórki śródskórni:

$$S_1 \text{ (od strony kory)} = W_1 - P$$

$$S_2 \text{ (od strony naczyń)} = W_2 - P$$

S_1 znaleziono znacznie większe od S_2 , z równań więc wynika, że i W_1 jest o tyleż większe od W_2 . Wypadają nam zatem dwie liczby W_1 i W_2 na wartość osmotyczną soku jednej i tej samej komórki. Odpowiada to hipotezie, omawianej wyżej przez autora, według której wartość osmotyczna soku przy ścianie wciągającej wodę (ściana zewnętrzna komórki) byłaby stale większa, niż przy ścianie przeciwnej, wypychającej wodę do naczyń. To właśnie stwierdził Ursprung. Pomiaru jego nie mówią nam wprawdzie, skąd pochodzi i jak się utrzymuje ta różnica koncentracji soku na dwu przeciwnych biegunach komórki — zachodzą tu możliwości, które autor przy omawianiu tej hipotezy powyżej rozważa — ale wykazują, że komórka śródskórni może z jednej strony pobierać, a z drugiej czynnie wypychać wodę. Dotychczas zaś było to tylko postulatem teoretycznym. Dalej, doświadczenia Ursprunga wykazały, które komórki działają w ten sposób (komórki śródskórni, perycyklu i miękiszu drzewnego), podczas gdy dotychczas przypisywano właściwość czynnego wydzielania wody ogólnikowo »komórkom przytykającym do naczyń«. [Przypisek M. K.].

niżej leżących mogą oddziaływać na wydzielanie wody z komórek, przytykających do naczynia w jego dalszym przebiegu.

Ponieważ woda wyciekająca z pieńków nigdy nie jest czysta, ale zawiera zawsze pewne ciała w niej rozpuszczone, więc nic nie sprzeciwia się hipotezie, że i tu wypychanie wody z komórek polega, przynajmniej częściowo, na większej przepuszczalności protoplazmy dla ciał osmotycznie działających po stronie przylegającej do naczyń. Że siłą wypychającą wodę do naczyń jest ciśnienie osmotyczne w komórkach, o tem zgóry nie można wątpić, a bardzo ciekawem potwierdzeniem tego są pewne doświadczenia Wieler¹⁾, w których udawało się wielokrotnie wywoływać płacz u takich osobników roślinnych, u których go przedtem nie było, a to przez umieszczanie korzenia na kilkanaście godzin w 1—2% roztworze saletry, albo gliceryny, i przeniesienie ich potem do wody. Wywołanie płaczu przez takie traktowanie objaśnia się łatwo tem, że podczas trzymania korzenia w roztworach jego komórki pobrały z nich pewną ilość tych silnie osmotycznie działających ciał, które potem, gdy korzenie ponownie umieszczone były w wodzie, tak znacznie spotęgowały osmotyczne ciśnienie w komórkach, że to umożliwiało już wyciekanie wody do naczyń z komórek do nich przytykających.

To wyciskanie mogło tu już następować choćby wskutek większej przepuszczalności dla owych ciał protoplazmy komórek po stronie naczyń. Czy jednak można wszystkie przypadki płaczu i parcia korzeniowego w ten sposób objaśnić? o tem co najmniej bardzo wątpić należy, a to z powodu, że nieraz sok wyciekający z pieńków jest tak bardzo rozcieńczony, że niepodobna przypuścić, aby jedyną przyczyną płaczu było tu łatwiejsze przepuszczanie przez protoplazmę do naczyń ciał osmotycznie działających. Gdyby powodem płaczu były zawsze tylko stosunki przepuszczalności, to należałoby oczekiwać jakiejś bodaj odlegle przybliżonej równoległości między obfitością płaczu a stężeniem wyciekającego soku, a ściśle mówiąc jego osmotyczną wartością, tak jak to np. widzieliśmy w doświadczeniach Lepeszki²⁾ nad wydzielinami wypotników fasoli. Tymczasem nawet ta, bardzo niestety powierzchowna, znajomość tych stosunków, jaką rozporządzamy, wskazuje na to, że takiej

¹⁾ Wieler, »Das Bluten der Pflanzen«. Beiträge zur Biologie der Pflanzen Bd. 6. Breslau 1893 S. 1—212, doświadczenia zestawione na str. 184—194.

równoległości niema, a zdarza się nieraz, że u roślin, wydzielających sok nadzwyczaj rozcieńczony (np. u winorośli), spotykamy płacz obfitszy i parcie korzeniowe większe, niż u takich, których sok wydzielany jest bardzo stężony (np. klon). Prawda, że te stężenia nie mogą być, ściśle rzeczy biorąc, ze sobą porównywane, bo wchodzi tu jeszcze w grę wzbogacenie się soku naczyń podczas jego przepływu przez tkanki pnia, ale przecież różnice w stężeniu są zbyt wielkie, aby je w całości można było położyć na karb późniejszego wzbogacenia się w substancje osmotycznie czynne.

Wobec tego, jakkolwiek nie możemy prawie o tem wątpić, że, przynajmniej w niektórych przypadkach, stosunki przepuszczalności protoplazmy w komórkach czynnych przy płaczu odgrywają ważną, niekiedy nawet może decydującą rolę w tem zjawisku, to przecież równie pewną jest rzeczą, że niezawsze one same stanowią o wszystkim tak, że inne sposoby działania, któreśmy wyżej rozważali, także mogą w grę wchodzić, zwłaszcza też wszędzie tam, gdzie płacz jest obfity, a ciecz przezeń wydzielana bardzo rozcieńczona. Czy perjodyczne zmiany wartości osmotycznej komórek, wydzielających wodę, odgrywają tu, jak to swego czasu przypuszczałem¹⁾, jaką rolę, jest rzeczą wątpliwą, skoro nigdzie nie udało się stwierdzić, aby wydzielanie wody odbywało się z pewną rytmiką; natomiast jest rzeczą bardzo prawdopodobną, że nierówności wartości osmotycznej, otrzymywane nie tylko przez wydzielanie do naczyń cząstek, osmotycznie działających, ale i przez procesy chemiczne, odbywające się w samej komórce, odgrywają nieraz niepoślednią rolę. Zachodziłoby jednak pytanie, jak sobie mamy wyobrazić przebieg takich procesów. W tym względzie jest rzeczą bardzo mało prawdopodobną, aby np. różnice w natężeniu oddychania po jednej i drugiej stronie komórki mogły tu mieć udział decydujący, bo wymagałoby to ogromnego zużycia materji oddechowej, aby mogło doprowadzić do takich różnic w wartości osmotycznej po obu stronach komórki, żeby to wystarczało do wypychania tak znacznych ilości wody, jak to w zjawiskach płaczu ma miejsce. Bodaj czy nie prawdopodobniejszą jest rzeczą, że idzie tu o pewne umiejscowienie procesów rozszczepiania i kondensacji cząsteczek osmotycznie działających. Jeżeli wyobrazimy sobie, że w komórkach, wy-

¹⁾ Godlewski l. c.

dzielających wodę po stronie przytykającej do naczynia, przeważałyby w protoplazmie procesy kondensacyjne, a po stronie przytykającej do sąsiednich komórek procesy rozszczepiania, to musiałoby to za sobą pociągnąć stałą przewagę ilości cząsteczek, a więc i wartości osmotycznej po stronie zwróconej do sąsiednich komórek, nad ilością cząsteczek, a więc i wartością osmotyczną, po stronie zwróconej do naczynia; następstwem tego byłoby wypychanie przez turgor wody do naczynia, a pobieranie jej drugą stroną z sąsiednich komórek. Takie niejednolite umiejscowienie procesów rozszczepiania i syntezy w protoplazmie komórki mogłoby powodować pobieranie wody po jednej stronie, a wypychanie jej po drugiej¹⁾, nawet wtedy, gdyby wysłanie protoplazmatyczne komórki było doskonale wpułprzepuszczalne, w którym to przypadku wydzielalaby się z komórki czysta woda. Jak wiemy woda, wydzielana pod wpływem parcia korzeniowego, czy to w postaci płaczu z pieńków po ściętych roślinach, czy w postaci kropelek ze szparek wodnych na liściach, nie jest nigdy czystą. Zawiera ona zawsze pewną ilość ciał w roztworze, więc rzeczą jest bardzo prawdopodobną, że w utrzymywaniu nierówności wartości osmotycznej po obu stronach komórki, wydzielającej wodę, obok wzmiankowanych chemicznych procesów rozszczepień i kondensacyj, bierze także udział większa przenikliwość wysłania protoplazmatycznego komórki po stronie naczynia. Z uwagi na ogromne różnice w składzie, a tem samem i osmotycznej wartości wydzielanej przez rośliny cieczy, czy to podczas płaczu, czy wyciekania kropelek cieczy, możemy zgóry powiedzieć, że mechanizm wydzielania nie wszędzie jest jednakowy. Bardzo prawdopodobnie główna rola przypada zawsze utrzymującym się stale różnicom wartości osmotycznej po obu stronach komórki. W jednych przypadkach te różnice spowodowane są zapewne przeważnie, lub wyłącznie, łatwiejszą przepuszczalnością dla cząstek osmotycznie działających warstwy protoplazmatycznej ścianek od strony naczynia, w innych znowu w wyższej lub mniejszej mierze procesami chemicznymi, jakie przebiegają niejednorodnie w różnych miejscach komórki wydzielającej wodę. Tam, gdzie ciecz wydzielana jest bardziej stężona, przeważa zapewne pierwsza, tam gdzie jest bardzo

¹⁾ Na podstawie badań Ursprunga, o których wyżej była mowa (str. 117 i następane), przypuszczenie to staje się bardzo prawdopodobne.

rozcieńczona, druga przyczyna. Gdzie ciecz wydzielana jest bardzo stężona, tam musimy jeszcze przypuścić, że w wydzielaniu wody niemałą rolę odgrywa także osmotyczne odciąganie komórkom przez tę ciecz wody.

W badaniach nad płaczem i parciem korzeniowem zbyt mało uwagi poświęcano dotąd składowi wyciekającej cieczy i jej osmotycznej wartości. Wyczerpujące i krytyczne badania w tym kierunku, w związku z oznaczaniem obfitości płaczu i wielkości parcia korzeniowego, byłyby niezawodnie bardzo pożądane. Szczególniej obiecujące byłyby badania w tym kierunku dziennej perjodyczności płaczu, jako też badania wpływu zewnętrznych warunków, równocześnie na obfitość płaczu i wartość osmotyczną wydzielanej cieczy. O ile idzie o tę wartość, to do badania jej w cieczach wydzielanych, czy to z pieńków ściętych, czy z nietkniętych roślin szczególnie dobrze nadawałaby się metoda Barger'a, którą też w swoich badaniach nad czynnościami wypotników Plumbaginaceów posługiwał się Ruhland¹⁾. Jak wiemy, metoda ta polega na porównywaniu w rurkach kapilarnych prężności par badanej cieczy i roztworu o znanej wartości osmotycznej. Gdyby takie badania były starannie na licznych, różnych roślinach przeprowadzone, to mogłyby się w znacznej mierze przyczynić do wyjaśnienia mechanizmu zarówno płaczu i parcia korzeniowego, jak i wydzielania wody z nieuszkodzonych części rośliny.

Ponieważ we wszystkich hipotezach, jakieśmy tu rozpatrywali, spółdziałanie życiowych przemian fizyko-chemicznych okazał się niezbędny, więc też nie dziw, że takie czynniki jak temperatura, obecność lub brak tlenu, działanie anestetyków, które wszystkie mogą w wysokim stopniu modyfikować te fizyko-chemiczne procesy życiowe, oddziałują w mniejszej lub większej mierze na zjawiska wydzielania wody przez twory roślinne.

D) Mechanizm ruchu wody od korzeni do liści.

W poprzednim rozdziale staraliśmy się zrozumieć, w jaki sposób działanie sił osmotycznych w komórkach korzeni doprowadza wodę od podłoża do naczyń i cewek, oraz wypycha ją do tych elementów; teraz chodziłoby o wyjaśnienie, jakie są

¹⁾ Ruhland, l. c. str. 439.

siły działające, dzięki którym ta woda przesuwa się dalej w tych elementach, dopływając aż do parujących liści, z których część jest nieraz oddalona o kilkadziesiąt metrów od korzeni pobierających wodę. W rozpatrywaniu działania tych sił musimy mieć na uwadze nietylko to, czy mogą one doprowadzić wodę do tak znacznych wysokości, ale także i to, czy doprowadzić ją tam mogą z szybkością dostateczną do pokrywania, zawsze na czas, przynajmniej przybliżenie, strat wody, jakie roślina ponosi przez parowanie.

Rozważmy pokolei, jakie siły działające możemy tu przypuścić i jak wielkiego efektu możemy się po nich spodziewać.

1. Parcie korzeniowe.

Wyżej już omówiono, jak parcie korzeniowe wpycha wodę do naczyń i cewek, a tem samem może ją w nich do pewnej wysokości przesunąć. Atoli samo to parcie nie może wystarczyć do podtrzymania ruchu wody takiego, jakim on jest istotnie, a to z następujących powodów:

a) Pomiarzy manometryczne parcia korzeniowego wykazują, że zazwyczaj dochodzi ono zaledwie do wysokości kilku, kilkunastu, rzadziej kilkadziesiątu cm. rtęci, rzadko kiedy wyżej, zatem to parcie nie wystarczyłoby do doprowadzania wody do szczytu drzew, nieraz na kilkadziesiąt metrów wysokich.

b) U bardzo wielu roślin nie obserwujemy nigdy nietylko parcia korzeniowego, ale nawet płaczu pieńków po ścięciu rośliny, a jednak i te rośliny pobierają z ziemi znaczne ilości wody, doprowadzają je do liści i wyparowują.

c) Podczas silnej transpiracji nawet u roślin, zdolnych do obfitego płaczu, niema wogóle żadnego parcia korzeniowego, przeciwnie, gdy na pieńek ściętej rośliny nałożymy rurkę, umocujemy ją kauczukiem i nalejemy do niej wody, to pieńek wciąga ją w siebie i dopiero po dłuższym czasie zaczyna wodę z przekroju wydzielać; zatem w chwili ścięcia rośliny panowało w jej naczyniach i cewkach ciśnienie ujemne, t. j. mniejsze od atmosferycznego, a przecież woda z korzeni do liści była doprowadzana.

d) Nawet u roślin bardzo silnie płaczących ilość wody, jaka z pieńka w danym czasie wypływa, jest wielokrotnie mniejsza od tej, jaką roślina przed ścięciem wyparowywała, a nawet od tej, którą po ścięciu wyparowuje, jeżeli wstawioną będzie do

wody. Jest to wyraźnym dowodem, że w doprowadzaniu tych znaczniejszych ilości wody do liści, poza parciem korzeniowym, inne jeszcze czynniki muszą współdziałać.

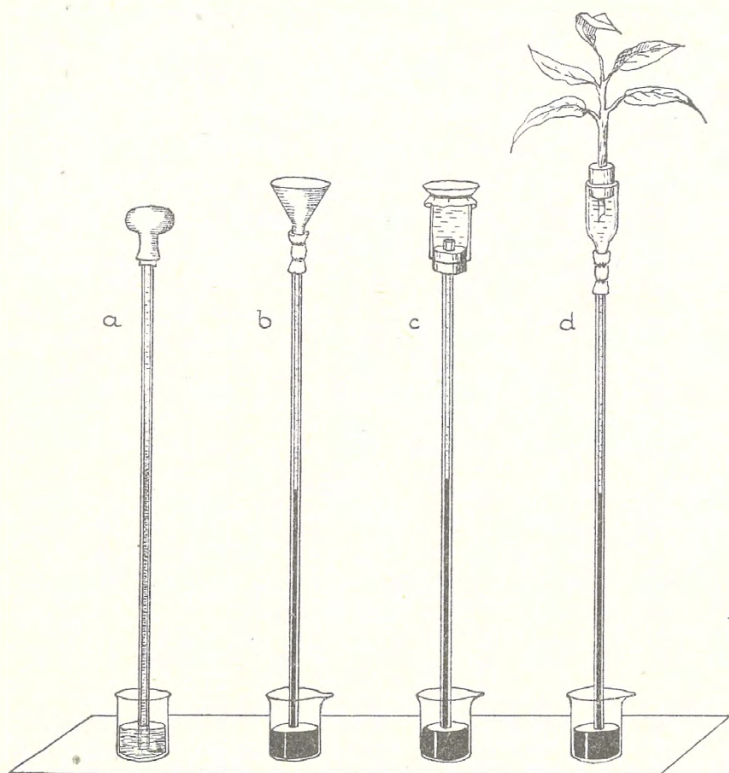
Wszystko, cośmy tu wymienili, dowodzi, że jakkolwiek wcale o tem wątpić nie można, że działanie sił osmotycznych w komórkach korzenia, które doprowadza do płaczu i parcia korzeniowego, jest jednym z miarodajnych czynników w pobieraniu i krążeniu wody także i w normalnych warunkach życia roślinnego, to jednak ono samo, bez współdziałania innych jeszcze czynników, nie mogłoby wystarczyć do zaopatrzenia wszystkich części rośliny w niezbędne ilości potrzebnej im wody. Jakież są te inne siły, które w krążeniu wody w roślinie współdziałają?

2. Różnice ciśnienia w naczyniach i cewkach na drodze ruchu wody.

Gdy komórki śródliścia wodę wyparowują, to siła ich przyciągania wody zwiększa się. W następstwie tego odciągają one, w miejsce wyparowanej, wodę z naczyń i cewek, do których przytykają. Wskutek tego w tych ostatnich powstaje jakby częściowa próżnia, do tej próżni musi zaraz napływać woda z dalej leżących naczyń i cewek, co znowu w nich wywołuje zmniejszenie się ciśnienia, znowu napływ wody z dalej leżących i t. d. tak, że w ten sposób przez parowanie żyjących komórek liści wytwarza się ssanie przez owe rury doprowadzające im wodę, jakimi są naczynia i cewki. To ssanie może zatem doskonale wywoływać w nich przesuwanie się wody od komórek, które całemu temu systemowi rur wodę doprowadzają, do tych, które mu ją odciągają, dla zastąpienia tej wody, którą utraciły przez parowanie. Możemy przyjąć, że to przesuwanie się wody polega na różnicach ciśnienia, na przebiegu jej drogi. Najbardziej zmniejszone jest ciśnienie tam, gdzie woda jest z tej drogi przez żyjące komórki bezpośrednio odciągana, najmniej zmniejszone, więc największe tam, gdzie do tego systemu woda jest przez żyjące komórki doprowadzana; innemi słowy ciśnienie wody w naczyniach i cewkach w kierunku od korzeni ku liściom coraz bardziej maleje, a te różnice ciśnień muszą stanowić co najmniej jeden z czynników podnoszenia się wody w martwych elementach tkanek drzewnych, stanowić jedną z sił, wywołujących to podnoszenie się.

Trzeba nam rozważyć, czy te różnice ciśnień, łącznie z siłami osmotycznymi, doprowadzającymi wodę do tego rurociągu wodnego, wystarczają już do objaśnienia wszystkich zjawisk krążenia wody.

Mówiliśmy we wstępie do tego tomu, że dla wyjaśnienia i ilustrowania zjawisk życia roślinnego staramy się nieraz naśladować je czysto fizycznymi doświadczeniami. Otóż nic ła-



Ryc. 6.

twiejszego, jak ilustrować sztucznie ruch wody wskutek różnicy ciśnień, wywołanej przez parowanie. Weźmy naczynko z porowatej gliny, rozszerzone u góry w kształt grzyba rys. 6 a, nalejmy do niego wody, uszczelnijmy w niem dość długą rurkę także napełnioną wodą i zanurczmy jej otwarty koniec w mocno zafarbowaną, np. błękitem metylenowym, wodę, znajdującą się w osobnem dość wązkim naczyniu. Zamiast naczynia z porowatej gliny możemy też użyć szklanego lejka,

napełnionego rozrobionym na gęsto z wodą, palonym gipsem (b), albo klosza szklanego, którego brzeg obwiążemy szczelnie pęcherzem (c), a w tubusie umocujemy rurkę i wszystko napełnimy wodą; rurkę zanurzymy w wodzie zafarbowanej, znajdującej się w małym rezerwoarze. Ściany glinianego naczynia, czy ów gips w lejku, czy wreszcie ów pęcherz, zamykający klosz, stykając się z wodą, nasiąkną nią i oczywiście będą ją wyparowywały nazewnątrz. W miarę utraty wody będą ją odciągały z wnętrza systemu, co poznamy po podnoszeniu się wody, zabarwionej w rurce, aż do zupełnego jej wypełnienia i po obniżaniu się wody w rezerwoarze. Widzimy, że woda, wyparowana przez porowatą powierzchnię glinianego naczynia, została zastąpiona przez wodę, podnoszącą się z rezerwoaru. To podnoszenie się wody ku parującej powierzchni możemy sobie doskonale objaśnić różnicami ciśnienia, pod jakimi ona zostaje w różnych miejscach systemu. Na wysokości powierzchni wody w rezerwoarze znajduje się ona pod ciśnieniem atmosferycznym, a na jakiegokolwiek danej wysokości rurki ponad powierzchnię wody w rezerwoarze pod ciśnieniem atmosferycznym, zmniejszonym o ciśnienie słupa wody o tej właśnie wysokości, więc im dana warstwa wody w rurce leży wyżej, tem pod mniejszem znajduje się ciśnieniem. Te właśnie różnice ciśnień muszą powodować podnoszenie się wody, umożliwiające równoważenie strat, pochodzących z odciągania wody przez parującą powierzchnię. Jeżeli w danej chwili ciśnienie atmosferyczne jest równe ciśnieniu 10 m wysokiego słupa wody, a rurka jest dość długa, to warstwa wody, leżąca w niej na wysokości 1 m, będzie zostawać pod ciśnieniem z dołu do góry słupa wody 9 m wysokości; na wysokości 5 m pod ciśnieniem 5 m, na wysokości 10 m pod ciśnieniem 0, a na wysokości 11 m pod ciśnieniem — 1 m. Widzimy stąd, że na tej wysokości ciśnienie jest ujemne. Pod wpływem tej ujemnej różnicy ciśnień nietylko woda nie mogłaby się podnieść wyżej, jak do wysokości 10 m, (podobnie jak i pompą ssącą nie możemy podciągnąć wody wyżej, jak do tej wysokości), ale gdyby do zbudowania aparatu użyć rurki na 11 m długiej, i po napełnieniu całego aparatu wodą odwrócić ją i zanurzyć dolnym końcem w wodzie rezerwoaru, to woda ta pod wpływem owego ciśnienia z góry na dół 1 m, powinna opać w rurce i zatrzymać się co najwyżej na wysokości 10 m. Wykonywanie doświadczenia dopiero co opisanego aparatami o takich bardzo długich rurkach, by-

łoby ze względów technicznych bardzo trudne; ale jest inny dużo prostszy sposób bezpośredniego przekonania się do jakiej wysokości różnica ciśnień, wywołana przez parowanie, mogłaby wodę w takim aparacie podnieść. Zamiast używania do zbudowania aparatu rurki bardzo długiej z wodą możemy użyć rurki o długości, nie przekraczającej 1 m, ale po napełnieniu całego aparatu wodą koniec rurki zanurzyć nie do zafarbowanej wody lecz do rtęci. Wówczas, gdy woda będzie z aparatu przez porowaty, parujący materiał (głina, gips, pęcherz) odciągana, w jej miejsce będzie się w rurce podnosiła rtęć.

W takim aparaciku rtęć podnosi się zwykle do wysokości 50-60 cm, co by odpowiadało słupowi wody 7-8 m wysokiego, poczem zaczyna się zbierać nad wodą powietrze i rtęć zwolna opada. Przedwczesny kres podnoszeniu się wody i rtęci w rurce aparatu kładzie tu to, że gdy ciśnienie wewnątrz aparatu stanie się już bardzo małe, to siły kapilarne, zatrzymujące wodę w porowatym, parującym materiale nie wystarczają już do przeciwważenia zewnętrznego ciśnienia powietrza, które wypycha wtedy z porów materiału wodę i wdzierą się do wnętrza aparaciku.

Zamiast porowatej gliny, gipsu lub pęcherza, możemy jako przedmiotu parującego użyć wprost liści roślinnych, a to umocowując w rurce, napełnionej wodą i zanurzonej w rtęci, odciętą od rośliny gałąź¹⁾. Gałąź parując pobiera wodę z rurki, co także pociąga za sobą podnoszenie się rtęci w tej rurce (ryc. 6 d). Ale i tu tamę temu podnoszeniu kładzie wydzielanie się z przekroju gałęzi, a zwłaszcza ze starszych naczyń, powietrza, które, zbierając się między przekrojem gałęzi a wodą, nie dopuszcza dalszego jej pobierania, a tem samym i dalszego podnoszenia się rtęci. O tem, że w naczyniach drzewnych rośliny, silnie parującej, ciśnienie powietrza, znajdującego się obok wody, jest mniejsze od atmosferycznego, łatwo się przekonać, naginając ją lub jej gałązkę nad rtęcią, aż do jej zanurzenia w tej ostatniej. Gdy potem gałązkę pod rtęcią przetniemy, łatwo się przekonamy, że przynajmniej część naczyń zostaje na przestrzeni kilku cm od przekroju nastryknięta rtęcią. Oczywiście ta rtęć wepchnięta tu została przez ciśnienie atmosferyczne.

¹⁾ Część gałęzi, tkwiąca w rurce, powinna być obłupana z kory, aby uniknąć przedostawania się powietrza do wnętrza rurki przez przestwory międzykomórkowe kory.

ryczne, w czym dowód, że w tych naczyniach panowało ciśnienie mniejsze od atmosferycznego.

O ileby w ściętej i przekrojem zanurzonej w wodzie roślinie woda podnosiła się w naczyniach i cewkach wyłącznie wskutek różnicy ciśnień, spowodowanej z jednej strony przez odciąganie wody wskutek aspiracji u góry, a wypchanie jej przez ciśnienie atmosferyczne u dołu, to woda nie mogłaby się w niej podnieść wyżej jak do 10 m, tak samo, jak pompa ssąca wody wyżej nie podniesie. Ale zachodzi pytanie, jak się będzie rzecz miała w nietkniętej roślinie, której korzenie wodę doprowadzają, np. w jakimś wysokim drzewie. Jest rzeczą zupełnie jasną, że tu ciśnienie atmosferyczne nie ma nic do czynienia z wypychaniem wody do cewek i naczyń. Miarodajnym dla powstać mających od dołu i góry różnic ciśnienia jest tu nie ciśnienie atmosferyczne, ale ciśnienie korzeniowe, jakie panuje u podstawy pnia. Widzieliśmy, że pomiary manometryczne pouczyły nas, że to ciśnienie dojść może po ścięciu rośliny do kilku, kilkunastu, kilkudziesięciu nawet, cm rtęci ponad ciśnienie atmosferyczne. Jeżeliby w danym przypadku wynosiło jedną atmosferę przewyżki, czyli bezwzględnie 2 atmosfery, to różnica ciśnień między podstawą, a szczytem mogłaby doprowadzić wodę do wysokości około 20 m. Ale do tego trzebaby, aby parowanie odbywało się tak wolno, żeby mimo podnoszenia się wody dla zastąpienia tej, która się zużywa przez parowanie, ciśnienie u podstawy pnia utrzymywało się ciągle na wysokości dwóch atmosfer. Tak nigdy nie jest, te wielkie ciśnienia obserwujemy jedynie na pieńkach po ścięciu rośliny, kiedy parowania wcale niema. Natomiast podczas cokolwiek silniejszego parowania ciśnienie w naczyniach jest zwykle ujemne, t. j. mniejsze od atmosferycznego, jak widać stąd, że po ścięciu rośliny mocno transpirującej pieńki początkowo wsysa w siebie nalaną wodę. Jeżeliby tedy ciśnienie w naczyniach u podstawy pędu, podczas jego transpiracji, w danych warunkach utrzymywało się stale na wysokości $\frac{1}{2}$ atmosfery, t. j. było o $\frac{1}{2}$ atmosfery mniejsze od atmosferycznego, to łącznie z transpiracją mogłoby doprowadzić wodę, na podstawie różnicy ciśnień, tylko do wysokości 5 m, gdyby zaś było o 0.9 mniejsze od atmosferycznego, to tylko do wysokości 1 m. Ale nie dosyć na tem; do takich wysokości woda mogłaby być doprowadzona szybko tylko w takim razie, gdyby nie było do przewyciężenia żadnych oporów, żadnego tarcia. Tymczasem woda

w swojej drodze musi się przedostawać przez wiele tysięcy ścianek cewkowych i naczyniowych, które, choć w miejscach, rozdzielających jamki sąsiednich cewek, są cienkie, przedstawiają przecież pewien opór, a wężkie światło cewek musi zwiększać tarcie między wodą a ściankami, co wszystko utrudnia ruch wody i czyni go wolniejszym. Tymczasem pamiętać musimy o tem, że niedość na tem, żeby siły wprawiające wodę w ruch były w stanie doprowadzić ją do parujących liści na szczytach wysokich drzew, trzeba jeszcze, żeby ją doprowadzały z szybkością, wystarczającą do pokrycia strat, wywołanych przez parowanie. Żeby sobie zdać sprawę z wielkości tej siły, jaka jest niezbędna do podtrzymania takiego ruchu, trzeba z jednej strony oznaczyć szybkość, z jaką się woda w parującej gałęzi przesuwa, a z drugiej znaleźć ciśnienie, jakie jest potrzebne do nadania wodzie takiej szybkości. Szukaną szybkość znajdziemy, oznaczając ilość wody, wyparowanej przez gałąź w jednostce czasu, i dzieląc ją przez powierzchnię poprzecznego przekroju drewna gałązki. Jeżeli teraz wytniemy z tej gałązki kawałek ściśle określonej długości, np. 10 cm i będziemy przezeń filtrować czystą wodę, przyczem przez odpowiednie próby dobierzemy takie ciśnienie, aby w jednostce czasu filtrowało się tyle wody, wiele jej gałązka wyparowywała, to stosunek między tem ciśnieniem a długością kawałka gałęzi, przez którąśmy wodę filtrowali, będzie odpowiadał stosunkowi między ciśnieniem a wysokością, do którejby ono mogło doprowadzić wodę z tą szybkością, z jaką się ona posuwała w parującej gałęzi.

Takie doświadczenia były np. przeprowadzane przez Jansego¹⁾ z gałęziami różnych roślin iglastych, a rezultat był ten, że słup wody, którego ciśnienie mogłoby wodę doprowadzać do parujących liści z szybkością, wystarczającą do pokrycia utraty wody przez parowanie, musiałby mieć wysokość kilka albo kilkanaście razy większą od wysokości drzewa tak, że różnica ciśnień, nie przenosząca jednej atmosfery, mogłaby z dostateczną szybkością doprowadzać wodę zaledwo do paru metrów przy bardzo powolnem parowaniu, a w warunkach energicznego parowania nieraz nie mogłaby z tą szybkością doprowadzać wody nawet do wysokości 1 m.

Z tego wszystkiego widzimy, że nie może być o tem mowy,

¹⁾ Janse, »Die Mitwirkung der Markstrahlen bei der Wasserbewegung im Holze«. Jahrb. für wiss. Botanik. Bd. 15. 1886.

aby wyłącznie przez różnicę ciśnień w naczyniach i cewkach u podstawy i u szczytu drzew, wysokich na kilkadziesiąt nieraz metrów, mogła woda być do szczytu tych drzew z wystarczającą szybkością doprowadzana. Podczas silnej transpiracji nawet u roślin na kilka tylko metrów wysokich dojśćby nie mogła w ten sposób do szczytu w wystarczającej ilości.

Tę trudność objaśnienia ruchu wody na podstawie różnic ciśnienia u podstawy i u szczytu parującej części rośliny, odczuwali botanicy już dawno i to właśnie było powodem stworzenia dość dziwacznej teorii ruchu wody, podług której ten ruch miałby się jakoby odbywać nie w świetle, ale w ściankach elementów, prowadzących wodę. Teoria ta, mimo swojej dziwaczności, panowała cały szereg lat w nauce, dzięki wielkiemu autorytetowi jej twórców i obrońców, a zwłaszcza też słynnego Sachs'a, który bronił jej do ostatka z wielkim uporem.

Ci botanicy, którzy, jak Böhm i Robert Hartig, w szeregu publikacyj dostarczyli najwięcej dowodów na to, że woda krąży wewnątrz naczyń i cewek, nie zaś jak chciał Sachs w ich ściankach, próbowali, ze swej strony, utrzymać teorię ruchu wody, uważając różnicę ciśnień za miarodajną jego przyczynę i starali się usunąć następujące się tej teorii trudności w objaśnieniu ruchu wody w wysokich drzewach. W tym celu powoływali się na to, że woda nie stanowi na swych drogach jednociągłych kolumn, ale, że te drogi, a zwłaszcza tracheidy są poprzegradzane ściankami i bańkami powietrza, przez co ciężar kolumny wody zostaje zniesiony. »Jest rzeczą oczywistą, mówi Böhm¹⁾, że gdyby roślina była złożona z komórek, obok siebie leżących, takiej samej jak ona długości, to nawet w najkorzystniejszych warunkach nie mogłaby być wyższą jak kolumna wody, równoważąca ciśnienie atmosfery. Jeżeli faktycznie rośliny bywają znacznie wyższe, to jest to możliwe tylko dlatego, że są one złożone z wielu ponad sobą ułożonych, zamkniętych komórek, tak, że woda jest pompowana w górę od komórki do komórki«.

Böhm siedł w swoich zapatrywaniach na różnice ciśnień, jako przyczynę krążenia wody w roślinach, tak daleko, że nie tylko podnoszenie się wody w naczyniach i cewkach, ale także doprowadzanie jej do nich przez komórki żyjące skórki i kory

¹⁾ Böhm, »Über die Wasserbewegung in transpirierenden Pflanzen«. Die landwirtschaftlichen Versuchsstationen, Bd XX. 1876. S. 364.

korzeniowej, a także i odciąganie wody z naczyń nerwów liściowych przez komórki śródliścia i skórki, chciał temi różnicami objaśnić. Komórki skórki, tracąc wodę przez parowanie, miały ją potem sprężystością swoich ścianek odciągnąć z komórek śródliścia, te znowu z naczyń nerwów liściowych, te dalej, w ten sam sposób, z naczyń i cewek ogonków liściowych i lodyg. Ta fala zmniejszających się ciśnień miała się przenosić coraz niżej, aż do naczyń i cewek korzenia i poprzez nie do komórek żyjących kory i skórki korzeniowej, w które to ostatnie woda miała być wepchana przez ciśnienie atmosferyczne. Tak więc podług tej teorii, cały ruch wody, od korzenia aż do najwyższych szczytów drzew, miał się utrzymywać przez ciśnienie atmosferyczne i sprężystość ścianek tych komórek, w których się ten ruch odbywa. W szczególny sposób przeoczył tu Böh m, że w komórkach żyjących skórki korzeniowej panuje turgor, wynoszący w normalnych warunkach kilka atmosfer, więc zewnętrzne ciśnienie jednej atmosfery nie może tu wepchnąć wody. Tak samo w komórkach śródliścia mimo ich parowania panuje, o ile liście nie zaczynają więdnąć, także pozytywne ciśnienie paru atmosfer, więc i one nie mogą przez różnicę ciśnień odciągać wody z naczyń, w których ciśnienie jest znacznie niższe od atmosferycznego.

Nie tak jednostronnym był w swoich zapatrywaniach na rolę różnicy ciśnień w krążeniu wody w roślinach Robert Hartig¹⁾. Zgodnie z zapatrywaniem ogółu botaników przyjmuje on, że pobieranie wody przez żyjące komórki korzeni, jak niemniej odciąganie jej z naczyń i cewek nerwów liściowych przez komórki śródliścia i skórki, odbywa się na mocy osmozy, a tylko ruch wody w naczyniach i cewkach drzewnych ma przebiegać wskutek różnicy ciśnień i to nie jej samej, ale za współudziałem sił włoskowatych, panujących w tych elementach tkanek drzewnych. Różnice ciśnień mają być, podług Hartiga, potrzebne do przepchnięcia wody przez błonki jamek z jednej cewki do drugiej, a układanie się tej wody wewnątrz tej drugiej cewki, a więc jej podnoszenie się w tejże, ma być już dziełem sił włoskowatych. Jak sobie Hartig działanie tych sił włoskowatych wyobraża, trudno wyrozumieć, bo w schemacie, który podaje, rysuje powietrze, jako zajmujące środek cewki,

¹⁾ Robert Hartig, »Die Gasdrucktheorie und die Sachsche Imbibitions-theorie«. Berlin, Verlag Springer 1883.

odgraniczone od wody dwoma w przeciwnych kierunkach zwróconemi meniskami, których działanie musi się zatem wzajemnie znosić.

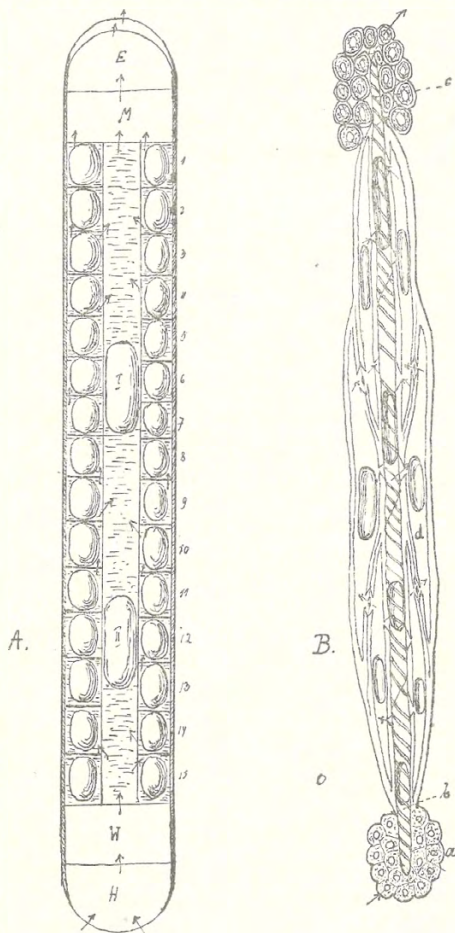
Głównem oparciem teorii Roberta Hartiga było mylnie przez niego interpretowane spostrzeżenie jego ojca, Teodora Hartiga, że jeżeli kawałek drzewa szpilkowego w pełni jego nasycenia wodą trzymać pionowo, to woda, którą wypełnione są jego cewki, nie wypływa z niego, ale gdy na górny przekrój dać kroplę wody, to ona zaraz zostaje wessana, a zato tej samej wielkości kropla występuje z dolnego przekroju. Gdy teraz kawałek drzewa odwrócić o 180° tak, aby kropla znalazła się ponownie u góry, to znowu ona tu wsiąka, a od dołu występuje. Hartig jak i inni botanicy cytowali to proste spostrzeżenie, jako dowód ogromnej łatwości przesuwania się wody w elementach drzewnych. Skoro ciężar już jednej kropli wody wystarczał jakoby do przesunięcia kolumny wody na długość całego kawałka drzewa, to widocznie wystarcza już bardzo mała różnica ciśnień do wprowadzenia w ruch wody w elementach drzewnych, więc podstawa do oparcia na nim teorii ruchu wody gotowa. Ale Hartig zapomniał, że co innego jest ruch z góry na dół, a co innego z dołu do góry i dlatego interpretował spostrzeżenie swego ojca zupełnie błędnie¹⁾. Zjawisko polega nie na ciężarze owej kropli wody, danej na powierzchnię górnego przekroju, ale na ciężarze całego słupa wody, znajdującej się w użytym do doświadczenia kawałku drzewa. Przed daniem kropli wody na przekrój ciężar ten nie mógł wywołać przesuwania się wody, bo, wskutek nieprzenikliwości błon dla powietrza, nie mogłoby ono wejść na miejsce wody i w górnych cewkach musiałyby się utworzyć próżnia, na co nie pozwala ciśnienie atmosferyczne na dolny przekrój; ponadto, przesuwanie się wody ku dołowi pociągałoby za sobą wytworzenie się w górnych cewkach wklęsłych menisków, które przeciwdziałyby dalszemu posuwaniu się kolumny wody pod wpływem jej ciężaru. Kropla wody, dana na powierzchnię przekroju, zmienia postać rzeczy, przenikając łatwo przez błonę, zastępuje wodę, która od dołu wypływa, a przytem niszczy wklęsłe meniski, zastępując je jednym większym wypukłym,

¹⁾ Szczegółowe wyjaśnienie spostrzeżenia Teodora Hartiga podałem w pracy nad teorią ruchu wody w roślinach w r. 1884. Jahrb. f. wiss. Bot. str. 586 - 589.

wobec czego przesuwaniu się wody w cewkach pod wpływem jej ciężaru tak długo nic nie stoi na przeszkodzie, jak długo kropla nie zostanie wessaną. O przesuwaniu się słupa wody ku górze pod wpływem różnicy ciśnień mniejszej od ciężaru tego słupa nie może być mowy, bez względu na to, czy ten słup jest jednolity, czy poprzedzielany ściankami i pęcherzykami powietrza. Böhm i Hartig, powołując się na to poprzedzielanie, zapominali, że te same opory, które przeciwdziałają opadaniu wody w naczyniach i cewkach pod wpływem jej ciężaru na dół, w równej mierze przeciwdziałają także muszą posuwaniu się jej ku górze.

O niemożności podnoszenia się wody w drewnie, jedynie wskutek różnicy ciśnień, do wysokości większej od słupa wody, równoważącego te różnice, możemy się bardzo łatwo przekonać na schematach, które Böhm i Hartig podali dla objaśnienia swoich teoryj. Ryc. 7A, przedstawia schemat Böhma, objaśniający cały ruch wody w roślinie wyłącznie działaniem ciśnienia atmosferycznego.

To ciśnienie ma u dołu wypychać wodę do żyjących komórek H, W, z nich przeprowadzać ją przez naczynia i cewki coraz wyżej, w kierunku strzałek, aż do komórek żyjących śródłiscia M i skórki E dla zastąpienia tej wody, którą one tracą przez parowanie. Suma wszystkich różnic ciśnień między H i E może wynosić co najwyżej jedną atmosferę, a w rzeczywistości mniej, bo nawet w najwyżej



Ryc. 7. Schematy ruchu wody w naczyniach i cewkach, według Böhma (A) i Hartiga (B).

leżących cewkach niema absolutnej próżni, więc i w nich ciśnienie jest większe od zera.

W schemacie Hartiga, ryc. 7 B, woda przy *b* jest wciskana do naczyń i cewek nie przez ciśnienie atmosferyczne, jak u Böhma, ale przez działanie osmotyczne żyjących komórek korzenia *a*, przy *c* jest ona znowu odciągana przez działanie osmotyczne żyjących komórek liści, ale reszta ruchu w naczyniach i cewkach ma się odbywać jedynie pod wpływem różnicy ciśnień i włoskowatości naczyń i cewek. Ponieważ sam Hartig znajdował, że u podstawy pnia drzew ciśnienie w naczyniach i cewkach podczas silnego parowania jest ujemne, to jest mniejsze od atmosferycznego, więc i tu suma różnic ciśnienia między cewkami, położonemi między *b* i *c*, nie może nawet dochodzić jednej atmosfery.

W obu tych schematach ruch wody w naczyniach i cewkach ma się odbywać pod wpływem różnicy ciśnień, których suma nie przekracza jednej atmosfery. W schemacie Hartiga ma się do tego przyłączać włoskowatość naczyń i cewek. Otóż w jednym jak i w drugim schemacie nicby się nie zmieniło na niekorzyść ruchu wody, gdybyśmy sobie pomyśleli, że na dole, zamiast żyjących komórek korzenia, znajduje się rezerwoar z wodą, zostająca pod ciśnieniem atmosferycznym, u góry zamiast żyjących komórek liścia rezerwoar szczelnie zamknięty z rurką, odprowadzającą u spodu na 12 m długą, a więc rodzaj aparatu lewarowego, odciągającego wodę z naczyń i cewek przy *c*. Rzecz zupełnie jasna, że przez ową rurkę w spodzie aparatu lewarowego woda z rezerwoaru górnego i górnej części rurki spłynęłaby do dolnego tak, że w górnym rezerwoarze utworzyłaby się próżnia, odciągająca wodę z tkwiących w niej naczyń i cewek. Mielibyśmy zatem tak samo jak przedtem system naczyń i cewek, w którym u dołu panowałoby ciśnienie atmosferyczne, a u góry ciśnienie prawie równe 0, więc w myśl teorii Böhma i Hartiga ruch wody powinienby się odbywać. Ponieważ atoli woda, wypływająca u góry z naczyń i cewek do aparatu lewarowego, spływałaby znowu przez ten do rezerwoaru dolnego, a z niego znowu wtłaczana byłaby przez ciśnienie atmosferyczne do naczyń i cewek i podnosiła się niemi do góry, więc mielibyśmy perpetuum mobile, które jest niemożliwe. Spółdział włoskowatości naczyń i cewek, na który się Hartig powołuje, nicby tu nie zmienił, bo przecie podług Hartiga przechodzenie wody z jednej cewki do drugiej

ma się odbywać pod wpływem różnicy ciśnień w nich obu, więc siły włoskowate nie przeszkodziłyby wyjściu pewnej ilości wody z górnych naczyń i cewek do próżni aparatu lewarowego. Z drugiej strony, mimo tego przechodzenia wody przez *c* do aparatu lewarowego, meniski wodne w naczyniach i cewkach, oddających mu wskutek różnicy ciśnień wodę, nie zostałyby zniszczone, bo ich siły kapilarne wystarczyłyby zawsze do zatrzymania tej ilości wody, jaka tym siłom odpowiada¹⁾, więc tak co do różnic w ciśnieniach, jak i działania sił włoskowatych, wszystko zostałoby po dawnemu i ciągle krążenie wody powinno się w tym systemie odbywać.

Wobec takich konsekwencji teoria Böhma i Hartiga, jako popadająca w sprzeczność z prawami zachowania energii, nie może być prawdziwa.

3. Włoskowatość naczyń i cewek.

W naczyniach i cewkach, jako kanalikach o bardzo małym świetle woda, jako zwilżająca ich ścianki, musi się do pewnej wysokości przez włoskowatość podnosić; jak wysoko, to zależy od wielkości i kształtu ich wewnętrznego przekroju. O ile ten przekrój jest kołem, to wysokość jest odwrotnie proporcjonalna do jego promienia i wyrazi się wzorem $h = \frac{2T \cos\theta}{g d R}$ gdzie *T* oznacza napięcie powierzchniowe cieczy, w tym przypadku wody, *R* promień przekroju wewnętrznego rurki, θ kąt graniczny, t. j. kąt, pod którym w stanie równowagi ciecz przytyka do ścianek rurki, *d* gęstość cieczy (dla wody = 1), *g* stałą = 981. Dla wody i szkła, a prawdopodobnie też i dla wody i ścianek drzewnych $\theta = 180^\circ$, napięcie powierzchniowe wody względem powietrza (przy 20°C) wynosi 75 dyn/cm. Średnica cewek np. u sosny wynosi 0.015 mm. Przy tych założeniach woda w rurkach o średnicy cewek sosny podniosłaby się na podstawie włoskowatości do wysokości

¹⁾ Vesque, »Sur le prétendu rôle des tissus vivants dans l'ascension de la sève«. Annales agronomiques 1905. S. 481 - 522, odmawia słuszności powyższej krytyce teorii Hartiga, danej przezemnie w wyżej cytowanej pracy nad ruchem wody, na tej podstawie, że odciąganie wody cewkom przy *c* aparatem lewarowym, zniszczyłoby ich meniski »le jeu de l'appareil imaginaire de M. Godlewski est tel, que le menisque auquel la colonne d'eau est suspendue, se détruit« s. 491. Ten zarzut nie jest mi dosyć jasny.

$$h = \frac{2.75 \cdot (-1)}{981 \cdot 1.0.00075} = -204 \text{ cm.}$$

Znak ujemny, jaki wypada ze wzoru, oznacza, że siła kapilarna działa tu w kierunku przeciwnym sile ciężkości, t. j. podnosi słupek w kapilarze o 204 cm. Cewki sosny możnaby uważać za rurki poprzegradzane skośnymi ściankami, opatrzonymi jamkami lejkowatymi. Niema żadnego dobrego powodu do tego, aby wskutek tego poprzegradzania woda w tych rurkach mogła się przez włoskowatość podnosić wyżej niż wskazuje teoretyczne obliczenie, więc też nie przemawia za tem, aby siły włoskowate w drzewie sosny mogły zwiększyć wysokość, do jakiej inne siły wodę doprowadzają. więcej niż o dwa metry. Przyjmując, że łączne działanie parcia korzeniowego i różnicy ciśnień może podczas transpiracji w najlepszym razie podnieść wodę do wysokości 10 m, to razem z siłami włoskowatymi cewek mogłyby ją doprowadzić do wysokości 12 m, podczas gdy sosny dorastają wysokości kilkudziesięciu metrów. W naczyniach najróżniejszych drzew, które mają zazwyczaj światło znacznie większe niż cewki sosny, włoskowatość może odgrywać w ruchu wody jeszcze mniejszą rolę.

4. Nasiąkliwość błon komórkowych.

Wspominaliśmy już, że ze względu na trudności objaśnienia podnoszenia się wody do bardzo znacznej wysokości, niektórzy botanicy postawili hipotezę, że ruch wody odbywa się nie wewnątrz naczyń i cewek, ale w ich ściankach, na mocy nasiąkliwości tychże. Jak wszystkie części roślinne, tak i ścianki komórkowe są utworami koloidalnymi, a jako takie, wprowadzone w zetknięcie z wodą, pobierają ją i pęcznieją. Że woda w pęczniącym ciele koloidalnem przesuwana się, to rozumie się samo przez się, boć z wodą, którą koloid pobiera, styka się on tylko na swej powierzchni, więc do głębiej leżących warstw woda musi od tej powierzchni wędrować; tak samo podczas wysychania napęczniałego ciała, parowanie ma miejsce tylko na powierzchni, więc warstwy głębiej położone mogą wysychać tylko przez to, że oddają swoją wodę cząstkom, leżącym coraz bliżej powierzchni, która ją traci przez parowanie. A zatem tak podczas pęcznienia, jak i wysychania systemu koloidalnego, musi się w nim odbywać ruch wody. Że ścianki komórek w tkance roślinnej są stale wodą nasiąknięte, to widać już

z tego, że, jak każda inna część rośliny, tracą one na wadze przez wysychanie, a że w stanie nasiąkniętym wodą są napęczniałe, widać z tego, że przez wysuszenie tracą nietylko na wadze ale i na objętości.

Zobaczymy, jak się te stosunki pęcznienia układają w tkankach drzewnych, rozprawdzających w roślinie wodę.

Zważmy dokładnie kawałek świeżego drewna, ważącego około 1 gr, i oznaczmy jego objętość. Możemy to bez trudu uskutecznić, nabawiwszy go na mały żelazny kolec (np. na odłamany koniec igły) i zanurzając w rtęć, wypełniającą dokładnie naczynko o ściśle określonej objętości, takie jakiego się używa do kalibrowania eudjometrów. Po przyciśnięciu menisku płaską oszlifowaną nakrywką, rtęć, wystająca jeszcze ponad ścianki naczynka, odpływa, a objętość usuniętej w ten sposób rtęci, odpowiada objętości zanurzonego w niej kawałka drewna. Gdy rtęć usuniętą zważymy i wagę podzielimy przez jej ciężar gatunkowy (uwzględniając temperaturę), znajdziemy objętość kawałka drewna. Jeżeli teraz trzymać będziemy ten kawałek między szkiełkami zegarkowymi, to będzie on bardzo powoli wysychał przez parowanie na powierzchni. Bieg tego wysychania badamy od czasu do czasu przez ważenie, a bieg zmniejszania się objętości przez oznaczanie jej w sposób wyżej wskazany. Tak przeprowadzone doświadczenie okazuje co następuje:

Początkowo zmniejsza się podczas wysychania tylko waga badanego kawałka drewna, objętość pozostaje bez zmiany, gdy jednak zmniejszenie się wagi dojdzie już do pewnej granicy, to po dalszej utracie wody zmniejszać się zacznie już nietylko waga ale i objętość, i to mniej więcej równomiernie ze zmniejszeniem się wagi. Jedno i drugie ustaje razem, kiedy drewno o tyle już wyschło, że dalszy ubytek wody w danych warunkach nie ma już miejsca. Jeżeli teraz nasz kawałek drewna umieścimy w temperaturze 105° C, to nastąpi dalsze jeszcze wysychanie, aż do utraty wszystkiej; pozostałej w nim jeszcze wody, czemu znowu towarzyszy pewne zmniejszenie się objętości.

Jeżeli w chwili, gdy podczas wysychania badanego kawałka drewna nietylko jego waga, ale i objętość zaczęła się zmniejszać, przeniesiemy go do przestrzeni nasyconej parą wodną, to znowu przybierze on na wadze i na objętości tak, że ta ostatnia po pewnym czasie wróci do pierwotnej wielkości. Z chwilą gdy to nastąpiło, ustaje także dalszy przybytek na

wadze, to jest dalsze pobieranie wody przez zagęszczenie jej z przestrzeni parą nasyconej, a to pomimo, że waga badanego kawałka daleką jest jeszcze od tej, jaką miał w stanie świeżym.

Z całego tego przebiegu wysychania i pęcznienia widać, że woda znajduje się w tkankach drzewnych w dwójakiej formie: jako woda płynna wewnątrz elementów drzewnych (naczyn i cewek) i jako woda imbibicyjna, t. j. zdyspersowana w ściankach tych elementów, jako pęczliwych systemów koloidalnych. Utrata wody płynnej nie zmienia ogólnej objętości drewna, natomiast utrata wody imbibicyjnej ze ścianek, powoduje ich kurczenie się i zmniejszanie się ogólnej objętości drewna. W chwili, gdy drewno, które już zaczęło zmniejszać nieco swą objętość, odzyskało ją w pełni w przestrzeni nasyconej parą, ścianki są w maximum napęcznienia, ale płynnej wody niema w drewnie wcale. Jeżeli oznaczymy ilość wody, jaka się w tej chwili znajduje w drewnie, to będzie ona odpowiadała tej, jaka i w świeżym drewnie jest rozproszona w substancjach koloidalnych drewna, a więc przedewszystkiem w ściankach jego elementów, reszta wody świeżego drewna stanowi wodę w znacznej mierze płynną, znajdującą się wewnątrz tych elementów. Dla zilustrowania tego, co powiedziano, przytoczymy kilka liczb, zaczerpniętych z jednego z licznych doświadczeń, jakie przed laty przeprowadziłem (ale nie publikowałem) nad porowatością i pęczliwością drewna.

Do doświadczenia wzięty był 27 kwietnia 1884 r. kawałek drewna z pędu świdwy (*Cornus sanguinea*), w wysokości 90 cm nad ziemią.

	Waga gr	Objętość cm ³	Zmniejszenie się	
			wagi gr	objętości cm ³
W stanie świeżym .	0.8735	0.8070		
24 godzin między szkiełkami . . .	0.5308	0.7351	0.3427	0.0719
5 dni w przestrzeni nasyconej parą . .	0.606	0.7999	0.2675	0.0071
3 dni dalsze w prze- strzeni nas. parą .	0.611	0.804	0.2625	0.003
Kilka dni nad CaCl ₂ .	0.4277	0.6457	0.4458	0.1613
Wysuszone w 108° C	0.4084	—	0.4651	—

Jeżeli przyjmiemy pierwotną wagę i objętość badanego kawałka drewna równą 100, to znajdziemy:

W stanie świeżym	100	100	0	0
24 godziny między szkiełkami	60.8	91.1	39.2	8.9
5 dni w przestrzeni nasyconej parą	69.4	99.1	30.6	0.9
3 dalsze dni w prze- strzeni nas. parą	70.0	99.6	30.0	0.4
Kilka dni nad CaCl_2	49.0	80.0	51.0	20.0
Wysusz. w 108°C	46.7	(77.9 ¹)	53.3	(22.1 ¹)

Te liczby wykazują nam, że przez 24 godzin powolnego parowania waga kawałka drewna zmniejszyła się blisko o 40%, objętość niespełna o 9%, t. j. że w tym czasie wyparowała głównie woda z wnętrza elementów, a tylko nieznaczna stosunkowo ilość wody rozproszonej w ściankach. W ciągu 8 dni przebywania w atmosferze nasyconej parą wodną, ścianki zagaściły napowrót utraconą poprzednio wodę, bo kawałek drewna prawie że wrócił do pierwotnej objętości. W tej chwili ścianki były w tym samym stopniu napęczniałe wodą jak w drewnie świeżym, a wody płynnej nie było w drewnie wcale. Ponieważ teraz strata na wadze w stosunku do drewna świeżego wynosiła 30%, a znajdowało się wody jeszcze 23.3% pierwotnej wagi drewna, wynika stąd, że 100 gr świeżego drewna zawierało 30 gr wody wewnątrz komórek i 23.3 gr wody w ściankach. Ponieważ 100 gr świeżej masy drewna zawierało 46.7 gr suchej masy, a te w stanie napęczniałym były przesiąknięte 23.3 gr wody, zatem 100 gr suchej masy drewna nasiąknięte były, w stanie napęczniałym, 49.9 gr wody, czyli prawie połową swej ogólnej wagi, a zatem ścianki drewna świeżego zawierają wody prawie trzecią część swojej wagi. Przyjmując, że ciężar gatunkowy suchego materiału ścianek wynosi około 1.55, wypadnie, że w napęczniałych ściankach znajdowało się na 100 objętości części stałych około 78% wody a na 100 cm^3 całych napęczniałych ścianek 43.7 cm^3 wody. Wyżej zestawione liczby pozwalają nam także obliczyć, jaką część objętości w badanym kawałku drewna zajmowały ścianki i jaką

¹) Liczby wzięte w nawias nie pochodzą z bezpośredniego pomiaru objętości, ale z obliczenia na podstawie utraty wody.

wnętrze elementów drzewnych, oraz jaka część tego wnętrza wypełniona była wodą, a jaka powietrzem.

Podług powyższych liczb 100 gr świeżego drewna zawierało 46.7 gr suchej masy drzewnej, co odpowiada 30.1 cm^3 , dalej 23.3 gr wody w ściankach i 30 gr wody wnętrza komórek. Ponieważ 100 gr drewna podług bezpośredniego oznaczenia miało objętość 90.4 cm^3 ($0.8735 : 0.807 = 100 : x$, $x = 90.4$), więc te liczby odnoszą się do 90.4 cm^3 objętości. Przeliczając na 100 objętości znajdziemy:

częstek stałych drewna.	33.2
wody pęcznienia	<u>25.8</u>
więc ogółem objętość ścianek .	59.0

na pojemność wewnętrzną naczyń i cewek przypada	41.0 cm
z czego woda zajmuje.	32.5 „
więc na powietrze pozostaje	8.5 „

Dochodzimy do wyniku, że w danym przypadku z górą $\frac{3}{4}$ pojemności elementów drzewnych zajęte było przez wodę a blisko $\frac{1}{4}$ przez powietrze, z całej zaś wody w drewnie się znajdującej więcej niż połowa była w stanie płynnym, a mniej niż połowa była rozproszona jako woda pęcznienia w ciążach koloidalnych drewna, przedewszystkiem oczywiście w ściankach jego elementów.

Rzecz rozumie się sama przez się, że te wszystkie liczby stosują się tylko do danego, konkretnego przykładu i wypadną różnie, nawet dla tego samego gatunku, zależnie od pory dnia i roku, od wilgotności gleby, na której drzewo rośnie, od przebiegu pogody, od wieku i położenia drewna i t. p. Tem bardziej mogą te liczby różnić się między sobą, zależnie od budowy i właściwości drewna u różnych gatunków drzew. Dla porównania przytoczymy tu jeszcze liczby, w ten sam sposób otrzymane dla drewna młodego około 5 m wysokiego świerka, ściętego 17 maja i badanego w dwóch różnych wysokościach, t. j. na wysokości 20 cm nad ziemią i o 2 m wyżej, t. j. na wysokości 2.20 m. Na 100 cm^3 drewna ściętego świerka przypadało:

	W wysokości 20 cm	W wysokości 2.20 m.
Stałej masy drewna.	27.1 cm^3	24.3 cm^3
Wody pęcznienia.	13.1 „	12.9 „

	W wysokości 20 cm	W wysokości 2.20 m.
Ogólnej objętości ścianek (napęczniałych)	40.2 cm ³	37.2 cm ³
Wody płynnej	47.0 cm ³	53.6 cm ³
Powietrza	12.8 „	9.2 „
Ogólnej pojemności cewek	59.8 „	62.8 „
W 100 cm ³ ścianek napęczniałych znajdowało się wody	32.6 „	34.7 „

Porównanie tych liczb z poprzednimi, wykazuje, że pęczliwość drewna świerkowego jest znacznie mniejsza niż drewna świdwy; zgadza się to z rezultatami inną, nieco mniej pewną, metodą otrzymanymi swego czasu przez Sachsa i Hartiga, którzy znaleźli także, że drewno roślin liściastych jest bardziej pęczliwe niż iglastych. (Jest to zapewne w związku z większym rozwinięciem miękiszu drzewnego drzew liściastych). Ciekawym jest wynik, który odnajdujemy także i w badaniach Hartiga, że cewki wyżej leżące zawierają wewnątrz więcej wody, a mniej powietrza, niż te, które leżą niżej, bliżej podstawy pnia.

Zastanówmy się teraz nad tem, o ile pęczliwość ścianek może się przyczyniać do ruchu wody w tkankach drzewnych.

Wiadomo dobrze, że podczas pęcznienia ciał koloidalnych, powstają tak wielkie siły, że mogą one przewycięzać opory, dochodzące do setek atmosfer, dlatego nie może ulegać wątpliwości, że siły te mogłyby wystarczyć do doprowadzenia wody na wysokość choćby i 1000 metrów. Z drugiej strony opisane wyżej objawy pęcznienia i wysychania drewna nie pozostawiają pod tym względem żadnej wątpliwości, że woda w ściankach elementów drzewnych może się poruszać. Istotnie, objawów tych nie możemy sobie inaczej wyobrazić, jak tylko, że ścianki zewnętrznych elementów drzewnych, stykających się z powietrzem, tracąc wodę pęcznienia przez parowanie, wchłaniają zaraz w to miejsce wodę, zawartą wewnątrz tych elementów, gdy tej już zabraknie, ze ścianek komórek sąsiednich; te znów oddaną wodę zastępują wchłanianiem jej z wnętrza komórek, potem ze ścianek elementów dalej położonych i t. d. aż póki wszystka woda płynna, znajdująca się wewnątrz elementów, nie zostanie zużyta. Jak długo to nie

nastąpi, to o ile wysychanie odbywa się dość powoli tak, że ruch wody przezeń spowodowany może mu nadażyć, ścianki są ciągle w maximum napęcznienia i objętość ich i całego drewna nie ulega zmniejszeniu. O ile jednak już wszystka woda płynna została z wnętrza elementów drzewnych zużyta, albo o ile wysychanie przebiega tak szybko, że ruch wody ku zewnętrznym parującym komórkom nie może nadażyć, dalsza utrata wody przez parowanie zmniejsza już stopień napęcznienia ścianek, za czem idzie zmniejszenie ich objętości i objętości całej wysychającej tkanki drzewnej.

Przez określenie minimalnej szybkości wysychania, wskutek której następowałyby już zmniejszenie objętości pierwej nim wszystka woda z wnętrza komórek byłaby zużyta, dałaby się niezawodnie przybliżyć oznaczyć szybkość ruchu wody, jaka jest możliwa w maksymalnie napęczniałych ściankach elementów drzewnych. Takie badania o ile mi wiadomo nie były dotąd przeprowadzane. Mimo to nie ulega wątpliwości, że ta szybkość nie wystarczałaby do doprowadzenia przez ścianki od korzeni do liści takiej ilości wody, jaka jest podczas lata potrzebna do pokrycia utraty wody przez parowanie. Że tak jest istotnie, o tem łatwo możemy się przekonać, nastrzykując światło naczyń i cewek żelatyną, a to przez proste zanurzenie przekroju ściętej gałązki na parę minut w rozplynnionej przez lekkie ogrzanie żelatynie. Gdy taką gałązkę, choćby po odnowieniu przekroju, przeniesiemy do wody, zwiędnie rychło; podczas gdy taka sama gałązka, wstawiona zaraz po ścięciu do wody zachowa długo swą świeżość. Mamy tu dowód, że zatkanie światła naczyń i cewek żelatyną uniemożliwia ruch wody o tyle szybki, aby zapobiegł wędnięciu. Nawet zatkanie światła naczyń powietrzem utrudnia znacznie ruch wody, jak tego dowodzi znane spostrzeżenie, że gałązka silnie parująca, ścięta pod wodą, zachowuje daleko dłużej swą świeżość, niż taka sama gałązka, ścięta na powietrzu i dopiero później wstawiona do wody. Objaśnia się to tem, że przy ścięciu na powietrzu naczyńia na pewną odległość od przekroju nastrzykują się powietrzem, które utrudnia wnikanie do nich wody. To utrudnienie możemy usunąć, jeżeli po wstawieniu ściętej gałązki do wody utniemy pod wodą kawałek jej dolnego końca. Przez taką operację możemy przywrócić pierwotną jędrność gałązce nawet wtedy, gdy ona już wędnąć zaczęła.

Te proste doświadczenia dowodzą jasno niezdolności ścia-

nek drzewnych do przeprowadzania wody z szybkością niezbędną do pokrywania strat jej przez parowanie.

Ale nawet bez tych doświadczeń musielibyśmy odrzucić hipotezę, że główną przyczyną wznoszenia się wody w tkankach drzewnych jest pęczliwość ich ścianek. Na podstawie wyżej udowodnionego faktu, że $\frac{2}{3}$ lub więcej wewnętrznej pojemności naczyń i cewek wypełnione jest wodą, nie ulega wątpliwości, że ich ścianki na całej powierzchni wewnętrznej stykają się z płynną wodą. Skoro tak jest, to niema żadnego do tego powodu, żeby te ścianki zabraną im przez żyjące komórki wodę miały ze swej strony odciągać ściankom komórek dalej położonych, w których przecie ta woda jest przez siły pęczliwości zatrzymywana, zamiast ją prosto pobierać z bezpośrednio do nich przylegającej wody płynnej.

Jeżeli teraz zapytamy jeszcze, czy w naturalnych warunkach pęczliwość ścianek komórek drzewnych ma wogóle jaki udział w ruchu wody, to odpowiedź na to pytanie musi wypaść twierdząco, bo bez ruchu wody poprzez ścianki, na mocy pęczliwości, nie moglibyśmy sobie pomyśleć ani odciągania z drewna wody przez żyjące komórki, ani utrzymywania się ścianek w maximum napęcznienia kosztem wody płynnej, znajdującej się wewnątrz naczyń i cewek.

5. Współdziałających żyjących komórek.

Krytyczne rozważanie teoryj ruchu wody, opartych na działaniu wyżej omówionych czynników, doprowadziło mnie w r. 1884 do przeświadczenia, że ani żaden z tych czynników osobna, ani wszystkie razem nie mogą wystarczyć do doprowadzania z należyłą szybkością wody do korony drzew na kilkanaście lub kilkadziesiąt metrów wysokich. Taki rezultat rozważań skłonił mnie wówczas do postawienia twierdzenia, że dla objaśnienia normalnego ruchu wody, przynajmniej o ile idzie o rośliny o znacznych wysokościach, musimy przyjąć współdziałanie żyjących komórek, nie tylko w korzeniach, ale i na całej wysokości pędów, w szczególności pnia drzewnego. Wiadomo, że w skład drewna oprócz naczyń i cewek wchodzi także żyjące komórki, mianowicie promienie rdzeniowe i miękisz drzewny, ułożony tu i ówdzie wzdłuż naczyń i cewek.

Nie można przypuścić, żeby woda poruszała się w tych właśnie komórkach, bo najprzód mamy dowody na to, że się po-

rusza w naczyniach i cewkach, a powtórę w tych żyjących komórkach mógłby się odbywać ruch tylko na podstawie osmozy, a ten jest tak powolny, że o doprowadzeniu przezeń wody do liści, w ilości potrzebnej do pokrycia ich parowania, nie mogłoby być mowy. Jeżeli tedy żyjącym komórkom miękiszu drzewnego przypada ważniejszy udział w podtrzymywaniu ruchu wody, to udział ten nie może polegać na tem, żeby one stanowiły drogi wodne, ale raczej na tem, żeby dostarczały energii, któraby się przyczyniała do wprowadzenia w ruch ku liściom wody, znajdującej się we właściwych jej drogach t. j. w naczyniach i cewkach. Komórki promieni rdzeniowych i miękiszu drzewnego, rozłożone na całej wysokości drzewa, stykające się wszędzie z naczyniami i cewkami i komunikujące się z nimi obszernymi jamkami, mogłyby odgrywać rolę mnóstwa ssąco-tłoczących pompek, które, biorąc wodę z naczyń i cewek niżej leżących, wypychałby ją do wyżej leżących i w ten sposób stanowiłyby motory, poruszające wodę. Że takie ssąco-tłoczące działanie nietylko możemy, ale musimy przypisać niektórym żyjącym komórkom, to już widzieliśmy, omawiając zjawiska parcia korzeniowego, które nie może polegać na czem innem, jak tylko na tem, że pewne komórki, pobierając wodę z jednej strony, wypychają ją po drugiej i to właśnie do naczyń i cewek drewna korzeniowego. Już bardzo dawno przyjmowali botanicy, że w wytwarzaniu parcia korzeniowego biorą udział nietylko komórki młode, pokryte włóśnikami części korzenia, ale i starsze z silnie już rozwiniętym drewnem. Stwierdzono nawet (Karol Kraus), że kawałki starszych korzeni, pozbawione tak młodszych części jak i bocznych korzonków i wstawione w wilgotny piasek, wydzielają po pewnym czasie z przekroju wodę. Już też dawno przypisywano ten udział starszych części korzeni w wytwarzaniu parcia promieniom rdzeniowym (Hofmeister). Otóż wobec tego, że na całym przebiegu pni promienie rdzeniowe i miękisz drzewny taksamo są rozwinięte, jak i w drewnie korzenia, nic naturalniejszego jak przypuszczenie, że i tutaj mają one taką samą zdolność wytwarzania parcia, t. j. popychania wody w naczyniach i cewkach, jaką im przyznajemy w korzeniach. Naturalnie musi być pożądanę sprawdzenie tego przypuszczenia doświadczeniem, t. j. przekonanie się, czy kawałek gałęzi, odcięty od związku z korzeniem, może ujawniać zjawiska płaczu. Trzeba zatem kawałek gałęzi drzewnej pograćzyć jednym końcem w wodzie, trzymając drugi nad

wodą i obserwować, czy z tego ostatniego woda zacznie po jakimś czasie wypływać. Oczywiście wypływ taki wtedy tylko będzie możliwy, jeżeli zapobiegniemy temu, aby woda, wypychana ewentualnie do naczyń i cewek, nie wychodziła z nich pogrążonym w wodzie dolnym przekrojem. Możemy to uczynić bądź to przez zaklejenie tego przekroju lakiem, bądź przez nałożenie nań kawałka rurki kauczukowej i zatkanie tejże pałeczką szklaną, bądź przez położenie na nim płytki kauczukowej i owiązanie pęcherzem. Ponieważ gałęzie drzew pokryte są korkiem prawie nieprzepuszczającym wody, więc trzeba je jeszcze na pewnej przestrzeni ponad przekrojem obłupać z korka, aby pobieranie wody przez drewno ułatwić. Takie doświadczenia były istotnie przeprowadzone przez Baranieckiego, Pitrę, Wieler a i dały pozytywne rezultaty z gałęziami klonu, brzozy, wierzby i t. p. Często już po upływie kilkunastu godzin, czasem po paru dniach rozpoczynało się wydzielanie wody z górnego przekroju.

Jeszcze łatwiej następował taki płacz, gdy zanurzono w wodzie gałązkę ulistnioną, pozostawiając przekrój nad wodą (Pitra, Wieler).

W tych doświadczeniach mamy dowód, że takie same siły, jakie w korzeniu wywołują wypychanie wody, pobranej zewnątrz do naczyń i cewek, mogą być czynne także i w tkankach drzewnych pni, dzięki wchodzącym w ich skład komórkom promieni rdzeniowych i miękiszu drzewnego. Wobec tego nie stoi na przeszkodzie przypuszczeniu, że w podnoszeniu się wody w drewnie współdziałają także czynności życiowe tych komórek. W pracy z r. 1884 wypowiedziałem twierdzenie, że to współdziałanie jest bezwzględnie konieczne, opierając się na przeprowadzeniu dowodu, że wyżej wymienione czynniki (parcie korzeniowe, różnice ciśnień, włoskowatość i nasiąkliwość) nie mogą wystarczyć do doprowadzenia potrzebnych ilości wody do szczytów drzew.

Atoli przyznać trzeba, że taki dowód przez wykluczenie innych możliwości jest niewystarczający, bo co dziś wydaje się niemożliwe, to jutro, po wykryciu jakichś nowych czynników, może się stać możliwym, dlatego należało się doświadczalnie przekonać, czy wykluczenie wpływu żyjących komórek istotnie uniemożliwia podnoszenie się wody do znacznie wyższych wysokości w ilościach, wystarczających do pokrycia strat przez parowanie? Dla uzyskania stanowczej odpowiedzi na to pytanie,

następowały się dwie drogi: albo zabicie żyjących komórek w drewnie pnia na znaczniejszej przestrzeni, albo chwilowe sparaliżowanie, a przynajmniej bardzo znaczne osłabienie ich czynności życiowych przez odpowiednie do tego uregulowanie zewnętrznych warunków. Obu tych dróg próbowano i zwłaszcza pierwszą z nich posługiwał się cały szereg autorów w licznych pracach, poświęconych rozstrzygnięciu tego pytania.

Atoli zgóry zastrzec się należy, że w interpretowaniu rezultatów doświadczeń, otrzymanych tą drogą, trzeba być bardzo ostrożnym. Niezawodnie, o ileby się okazało, że mimo zabicia komórek żyjących, na znaczniejszych przestrzeniach pnia, np. na długości 10 m, woda dopływa przez czas dłuższy do korony liściowej w ilości wystarczającej do pokrycia potrzeb parowania, to wniosek, że udział żyjących komórek w dostarczaniu energii do podtrzymania ruchu wody nie jest konieczny, byłby zupełnie uzasadniony. O ileby jednak doświadczenie wykazało, że zabicie żyjących komórek na pewnym odcinku dróg wodnych, wywołuje po pewnym czasie więdnienie liści, położonych ponad tym odcinkiem, to wiązanie tego zjawiska z brakiem współdziałania żyjących komórek w dostarczaniu sił do popychania wody po jej drogach byłoby jeszcze przedwczesne, bo istotna przyczyna więdnienia mogłaby wprawdzie, ale niekoniecznie musiałaby na tem polegać. Można sobie doskonale pomyśleć, że zabiegi, przedsięwzięte dla zabicia żyjących komórek, towarzyszących drogom wodnym, powstrzymują ruch wody nie przez samo usunięcie współdziałania żyjących komórek, ale w jakiś inny jeszcze sposób. Dla zabicia żyjących komórek posługiwano się w takich doświadczeniach najczęściej wysoką temperaturą, np. działaniem na odpowiednie części roślinne gorącej pary wodnej. Otóż jest rzeczą nie tylko możliwą, ale i prawdopodobną, że takie działanie gorącej pary, obok zabicia żyjących komórek, wywołuje w dotyczących tkankach cały szereg innych zmian, które niekoniecznie muszą być obojętne dla sprawy ruchu wody w drewnie. Mogłoby ono np. zmniejszać drożność naczyń i cewek dla wody, czy to przez wywoływanie tworzenia się gumy zaczopowującej światła naczyń, czy przez pobudzenie komórek miększu przytykających do zabitej tkanki, do tworzenia mieszków, zatykających naczynia, czy przez przerywanie kolumny wody w naczyniach pęcherzykami powietrza, lub przegrupowanie pęcherzyków już istniejących w sposób

mniej korzystny dla ruchu wody¹⁾, czy przez wywoływanie jakichś głębiej sięgających zmian w ściankach naczyń, któreby je czyniły łatwiej przenikliwymi dla gazów, lub jakichś innych substancyj, czy w jakikolwiek bądź inny sposób. Pozatem możemy sobie wyobrazić, że zabicie komórek kory, otaczającej drewno, zmniejsza ochronę krążącej w niem wody przed wysychaniem jej już w czasie płynięcia ku liściom, przez co tym ostatnim mniej się wody dostaje. Wreszcie można jeszcze przypuścić, że działanie gorącej pary wodnej, zabijające komórki, odczepia z nich lub wytwarza jakieś trucizny, które, wprowadzone do dróg wodnych, dostają się z wodą do liści, zatruwają ich komórki, lub przynajmniej je osłabiają. Wynikiem tego może być szybkie ich obumieranie i obsychanie, będące w tym przypadku nie następstwem braku wody, ale bezpośrednią przyczyną utraty turgoru przez zniszczenie współprzepuszczalnych własności protoplazmy.

Jeżeli tedy z ewentualnego wędnięcia liści w jakiś czas po traktowaniu gorącą parą części organu, na którym te liście są osadzone, chcemy coś pewniejszego wnioskować o udziale żyjących komórek w dostarczaniu sił wodę poruszających, to musimy z największą skrupulatnością rozważyć, czy w danem doświadczeniu, na którym chcemy się oprzeć, były istotnie wykluczone wpływy zabiegów doświadczalnych na ruch wody.

W ocenie licznych doświadczeń przez różnych autorów w tym dziale wykonanych, nieodrazu liczono się należycie z temi źródłami błędnego wnioskowania. Janse, który w r. 1885²⁾ pierwszy robił w tym kierunku doświadczenia, zabijając żyjące komórki drewna gałęzi na przestrzeni około 20 cm przez ogrzanie do temperatury około 78°C, znajdował, że liście gałęzi, leżące powyżej ogrzewanego miejsca, po upływie kilku dni więdły i obumierały. W tym wyniku widział narazie Janse wystarczający dowód współdziałania żyjących komórek w wywoływaniu ruchu wody w drewnie. W parę miesięcy później, niezależnie od Jansego, ogłosił podobne doświadczenie, wykonane na całym

1) Jeżeli w rurce kolumna wody jest poprzerywana pęcherzykami powietrza, to stanowi t. zw. łańcuszek Jamina, bardzo utrudniający przesuwanie się wody w tej rurce.

2) Janse, »Een experimenteel Bewijs voor the Theorie van Godlewski omtrent de Beweging van het Water in de Planteen« Maandslad voon Naturwetenschappen 1885.

szeregu roślin Weber¹⁾ i znajdował, że ogrzanie powyżej 100°C drewna gałęzi na daleko nawet krótszej przestrzeni (3—5 cm) wywołuje w kilka dni potem wędnięcie na nich liści. Ale badanie mikroskopowe drewna tak operowanych i w następstwie tego wędniejących gałązek wykazało mu, że światło naczyń na granicy między żyjącą i zabita częścią drewna, było pozatykane gumą, lub mieszkami. Badając przebieg tych zmian w drewnie, znalazł Weber spólcześnieść między nimi, a początkami wędnięcia. Jak długo zatkania naczyń wcale nie było, liście ponad ogrzaniem miejscami zachowywały swą jędrność; gdy zaczęły wędnąć, można było znaleźć gumę, a potem i mieszki w naczyniach.

Te wyniki badań Webera potwierdził potem w r. 1886 sam Janse²⁾ na bzie tureckim i topoli, i to nie tylko mikroskopowo, ale i przez filtrowanie wody, które przez kawałek ogrzewany było bardzo utrudnione, zwłaszcza na granicy górnej miejsca ogrzanego i żywego. Wobec tego doświadczenia z zabijaniem żywych komórek przez ogrzewanie niczego w tych przypadkach nie rozstrzygały w sprawie udziału żyjących komórek w dostarczaniu sił, działających w ruchu wody. Ale w niektórych z doświadczeń Jansego, a mianowicie w doświadczeniach z fuksją, wędnięcie liści po zabiciu przez ogrzanie do 60°C drewna pnia, na przestrzeni około 1 m, rozpoczynało się już po 4 godzinach, a było zupełnie wydatne po kilkunastu godzinach, więc w czasie zbyt krótkim, aby mogło już nastąpić zacopowanie naczyń gumą. Większe tu więc prawdopodobieństwo, że było ono następstwem usunięcia udziału żyjących komórek w ruchu wody. I tu jednak pewności pod tym względem nie było żadnej, bo autor nie podał dowodów, że żadnego zatkania naczyń tu nie było, a tem mniej, że prócz zabicia żyjących komórek nie było w drewnie żadnych innych zmian, mogących na ruch wody oddziaływać.

Bardzo interesujące są doświadczenia Strassburgera ze względu na to, że starał się on zabijać żyjące komórki na przestrzeni niekiedy dłuższej nawet niż 10 metrów i dał dowody, że

¹⁾ C. A. Weber, »Ueber den Einfluss höherer Temperaturen auf die Fähigkeit des Holzes den Transpirationsstrom zu leiten« Ber. d. deutsch. bot. Ges. T. III, 1885.

²⁾ Janse, »Die Mitwirkung der Markstrahlen bei der Wasserbewegung im Holze« Jahrb. f. wiss. Botan. T. XVIII, 1886.

woda podnosiła się mimo to powyżej tej długości¹⁾. Tak np. łądoga zdrzewistrącza (*Wistaria*), na 15 m wysoka, mająca na szczycie 80 liści, była na przestrzeni 10.5 m zwinięta, umieszczona na pół godziny w wodzie o 90°C, a potem rozprostowana na murze zamku w Bonn, przy którym rosła. Szczyt żywy, 3 m długi, był zatem od ziemi oddzielony łądoga, której tylko część przyziemna, długości 1½ m była zdrowa, a reszta 10.5 m gorącą wodą zabita. Rezultat był ten, że po 2 dniach szczyt zaczął więdnąć, a zatem wskutek operacji, jakiej 10.5 m długa część łądogi była poddana, straciła ona zdolność trwałego zaopatrywania szczytu w dostateczną ilość wody. Jednakże utrzymywanie się szczytu przez dwa dni w stanie turgoru dowodziło przecież, że pewna ilość wody dostawała się do wysokości 15 metrów. Tego podnoszenia się wody w zabitej części łądogi dowodziło także jeszcze to, że gdy po dwóch dniach, kiedy się już więdnienie zaczęło, ścięto cały pęd pod roztworem eozyny, roztwór ten był dalej pobierany przez 5 dni i wywołał zabarwienie drewna do wysokości 5.5 metrów, a w innym podobnym doświadczeniu nawet do wysokości 8.5 metrów.

Przeciw sile dowodowej tego doświadczenia możnaby podnieść poniekąd wątpliwość, czy można być pewnym, że trzymanie części łądogi przez ½ godziny w wodzie o 90° C zabiło istotnie wszystkie jej komórki, czy nie możnaby przypuścić, że niektóre z nich utrzymały się przy życiu i były czynne w dalszem podnoszeniu się wody w drewnie, choć w zmniejszonej ilości.

Poucające też są doświadczenia Strassburgera²⁾ w których ścięte pnie zdrzewistrącza (*Wistaria*), robinji (*Robinia*), topoli, klonu, buka, dębu, świerka lub modrzewia wstawiał do roztworu eozyny w alkoholu, siarczanu miedziowego w koncentracji 5—36%, wreszcie kwasu pikrynowego, a więc substancyj trujących i obserwował podnoszenie się tych płynów nieraz do wysokości znacznie wyższej, niż 10 m, a u buka i dębu nawet do wysokości powyżej 20 metrów. Choć i tu, jak podnosi Ursprung, nie było ściśle udowodnione, że wszystkie komórki żyjące w drewnie zostały napewno zabite, to przecież trudno, wobec tych wszystkich doświadczeń razem wziętych, wątpić, że pewna ilość wody do-

¹⁾ Strassburger. »Über den Bau und die Verrichtungen der Leitungsbahnen in den Pflanzen« Jena 1891. S. 607 i dalsze.

²⁾ Strassburger, »Über das Saftsteigen« Jena 1893.

stawiała się do tych znacznych wysokości bez współudziału żyjących komórek. Czy jednak doświadczenia te dowodzą, że w normalnych warunkach żyjące komórki nie mają udziału w ruchu wody w drewnie i nie są dla niego konieczne? Nie, bo nie dowodzą one, że woda może bez współudziału tych komórek dopływać do szczytów drzew w ilościach, wystarczających przez dłuższy czas do pokrycia strat przez parowanie. W każdym razie ważnym jest w nich dowód, że pewne ilości wody mogą się dostawać do wysokości nawet 20 m bez współdziałania żyjących komórek, więc na mocy działania sił czysto fizycznych. W jaki sposób jest to możliwe, nad tem zastanowimy się później, teraz pomówimy jeszcze o dalszych doświadczeniach nad skutkami wykluczenia działania żyjących komórek dla ruchu wody w drewnie. Widzieliśmy, że Strassburger postępował radykalnie, bo zabijał żyjące komórki u zdrzewiścza na przestrzeni 10 m, przyczem po kilku dniach następowało wędnięcie. Ale inni autorowie obserwowali ten sam efekt, zabijając żyjące komórki na przestrzeni o wiele krótszej, np. jednego metra, albo nawet kilkudziesięciu, kilkunastu lub nawet kilku tylko centymetrów, badając przytem wpływ, jaki długość, na jakiej zabijano komórki, wywierała na przebieg i szybkość wędnięcia części pędu, leżącej ponad miejscem o zabitych komórkach. Ale widzieliśmy już, jak bardzo trzeba być ostrożnym w wyprowadzaniu z wędnięcia pędów przy takich doświadczeniach wniosków o udziale żyjących komórek drewna jako źródle sił, poruszających wodę. Autorowie, chcąc takimi doświadczeniami udowodnić, że ten udział istnieje, mają bardzo trudne zadanie ścisłego wykazania, że zabieg zabijania komórek i samo ich zabicie nie wywołały w drogach wodnych żadnych tego rodzaju zmian, któreby mogły w nich ruch wody utrudnić, lub wywołać wędnięcie liści w jakibądź inny sposób, niezależny od usunięcia wpływu żyjących komórek na ruch wody.

Doświadczenia z zabijaniem żyjących komórek, na przestrzeni rozmaitej długości, dla obserwowania skutku tej manipulacji na ruch wody, przeprowadzili szczególniej Ursprung¹⁾, i jego

¹⁾ Ursprung. »Untersuchungen über die Beteiligung lebender Zellen am Saftsteigen« Beihefte zum bot. Zentralblatt 1905. T. 28, 1912. S. 313—322. »Die Beteiligung lebender Zellen am Saftsteigen«. Jahrb. f. wiss. T. 42, 1905. S. 503—544.

uczeń Roshardt¹⁾, na bardzo rozmaitych roślinach, Overton²⁾ wyłącznie na ciborze (*Cyperus alternifolius*). Metoda zabijania polegała najczęściej na działaniu gorącej pary wodnej, niekiedy gorącego roztopionego wosku lub parafiny, czasem na wyładowaniach elektrycznych, wreszcie na użyciu substancji trujących, jak eteru, kwasu pikrynowego lub siarczanu miedziowego. Zgodny wynik tych wszystkich doświadczeń ze wszystkimi badaniami pod tym względem roślinami, był ten, że, gdy na nieco większej przestrzeni drogi wodnej, choćby na przestrzeni kilkunastu cm, zabito takimi operacjami wszystkie komórki, to wcześniejszem lub późniejszym tego następstwem było zawsze wędnięcie, a później obumieranie i obsychanie liści, położonych ponad zabitem miejscem łądygi.

Także i pod tym względem zgadzają się rezultaty wszystkich doświadczeń, że u danej rośliny wędnięcie liści nad zabita częścią łądygi następuje tem rychlej, im na dłuższej przestrzeni część łądygi została zabita. Sposób zabijania części łądygi nie jest też bez wpływu na szybkość wędnięcia liści nad nią położonych. Overton znalazł np., że po zabiciu gorącą parą łądygi cibory (*Cyperus alternifolius*) na przestrzeni 10 cm wędnięcie korony liściowej następowało już po dwóch dniach, gdy po zabiciu roztopionym woskiem na takiej samej długości dopiero po 16 dniach, a na długości 40 cm po 5 dniach¹⁾.

Skutki zabicia żyjących komórek, wzdłuż drogi wodnej, nie u wszystkich roślin objawiają się równie szybko mimo jednakowych warunków. Wynika to przedewszystkiem z obszernych doświadczeń Roshardta, wykonanych na 131 gatunkach roślinnych, należących do 59 rodzin. W niektórych przypadkach (u petunii, pokrzywy, konopi, słonecznika) wędnięcie liści następowało już po upływie jednego lub dwóch dni, nawet gdy zabicie komórek miało miejsce na długości około 10 cm lub mniej, w innych po upływie 3 do 5 dni [dobownik (*Tradescantia viridis*), gwiazdnica pospolita (*Stellaria media*), zawilec żółty (*Anemone ranunculoides*), kuklik pospolity (*Geum urbanum*), fasola etc.], w innych dopiero po upływie kilkunastu dni, lub jeszcze

¹⁾ L. c. S. 53 i 60.

²⁾ Roshardt, »Die Beteiligung lebender Zellen am Saftsteigen bei Pflanzen von niedrigem Wuchs«. Beihefte zum bot. Zentralblatt T. 25, 1910. S. 243—357.

³⁾ Overton, »Studies on the relation of the living cells to transpiration and sap—flow in *Cyperus*«. The Bot. Gaz. 51, 1911.

później. O ile pod względem faktycznym rezultaty różnych autorów wypadły prawie zupełnie zgodnie, o tyle w interpretacji ich panują między autorami daleko idące różnice zdań, tak, że poglądy np. Dixona i Overtona z jednej strony, a Ursprunga i Roshardta z drugiej, są sobie diametralnie przeciwne. Gdy pierwsi wszystkie zakłócenia ruchu wody wskutek zabicia komórek chcą położyć na karb owych wpływów ubocznych, jakimi bywają: zacopowanie światła naczyń przez produkty, powstające z zabitych komórek, albo przez mieszki, zatrucie komórek liściowych, lub splazmolizowanie ich przez owe produkty, zmiany w rozmieszczeniu powietrza i wody w naczyniach, łatwiejsze wysychanie wody po drodze i t. p., to drudzy, nie zaprzeczając pewnego oddziaływania owych wpływów ubocznych, przypisują wędnięcie liści powyżej zabitych części łodygi głównie usunięciu spóldziałania żyjących komórek tych zabitych części w dostarczaniu energii dla ruchu wody. Że w wędnięciu spóldziałają także owe wpływy uboczne, związane z manipulacją zabijania komórek, dowodem choćby wzmiankowane spostrzeżenie Overtona, że wędnięcie bardziej jest przyspieszone przez zabicie komórek gorącą parą wodną, niż gorącym roztopionym woskiem lub parafiną. Dalszym dowodem jest wielokrotnie obserwowane na skrawkach zacopowanie naczyń, zwłaszcza na granicy między żyjącą a zabita częścią łodygi, wreszcie stwierdzone przez Webera i Jansęgo, także przez bezpośrednie filtrowanie, zmniejszenie w niektórych przypadkach drożności naczyń. Z tego wszystkiego oczywiście nie wynika jeszcze, że w tem wędnięciu nie ma także wpływu, może nawet przeważnego, zniszczenie źródła energii do podtrzymywania ruchu wody, przez śmierć poprzednio żyjących komórek. Przeciwnie trzeba przyznać, że Ursprung i Roshardt w interpretowaniu swoich doświadczeń postępowali z należytą krytyką i rozpatrywali szczegółowo, często z pomocą specjalnych doświadczeń, czy obserwowany rezultat zabicia komórek nie da się objaśnić przez działanie owych wpływów ubocznych. A więc badali mikroskopowo, czy światło naczyń nie zostało całkowicie lub częściowo zacopowane. Roshardt w niektórych przypadkach badał zapomocą filtrowania, czy drożność naczyń wskutek zabiegu zabijania nie uległa zmniejszeniu, Ursprung poświęcił cały szereg doświadczeń przeprowadzeniu dowodu, że, wbrew twierdzeniu Dixona i Overtona, nie może być mowy o zatruciu lub plazmolizowaniu tkanek liściowych przez produkty, powstające z zabitych komór-

rek i wędnięcia ich wskutek tego. Gdyby tak być miało, to przywrócenie nadwędniętych wskutek tego liści do pierwotnej jędrności nie byłoby już możliwe, tymczasem Ursprung wykazał, że w wielu przypadkach liście, które po zabiciu części łodygi parą wodną zaczynały wędnać, odzyskiwały pierwotną jędrność, gdy do ich dróg wodnych wpechnięto wodę pod ciśnieniem. Ursprung badał także czy i o ile wędnięcie liści, ponad zabita część łodygi położonych, nie jest następstwem wysychania wody, podnoszącej się w miejscach zabitych wskutek usunięcia ochrony przed parowaniem, jaką tu stanowiły żyjące komórki. Ale gdyby tak być miało, to temu wędnięciu możnaby zapobiec, albo przynajmniej je opóźnić przez powleczenie parafiną lub lakiem asfaltowym powierzchni miejsc zabitych. Próby w tym kierunku przeprowadzone przez Ursprunga wykazywały w największej liczbie przypadków, że taka procedura pozostaje bez wpływu na szybkość wędnięcia; tylko w doświadczeniach na ogonkach liściowych pierwiosnki (*Primula Sinensis*) powleczenie parafiną zabitej części znacznie opóźniało wędnięcie liścia. Dookoła tych rozważań i doświadczeń nad oddziaływaniem wyżej wymienionych ubocznych skutków zabijania komórek na wędnięcie wyżej leżących liści, toczyła się żywa dyskusja między Ursprungiem z jednej strony, a Dixonem i Overtonem z drugiej. Bezstronne rozpatrywanie argumentów i doświadczeń jednej i drugiej strony wykazuje, zdaniem mojem, w sposób jasny i przekonujący, że w niektórych przypadkach wędnięcie liści ponad zabita część łodygi, czy ogonka liściowego, nie mogło być spowodowane przez żaden z przypuszczanych wyżej ubocznych wpływów zabijania żyjących komórek, ani przez łączne ich działanie, razem wzięte. Uznając to za rzecz pewną, Ursprung i Roshardt twierdzą, że przyczyną wędnięcia musiało być odpadnięcie czynności żyjących komórek w dostarczaniu energii do podtrzymywania ruchu wody, a tem samem uważają udział żyjących komórek w dostarczaniu energii do podtrzymania ruchu wody, wystarczającego do pokrycia potrzeb rośliny, za udowodniony. Czy wniosek ten jest istotnie bezwzględnie słuszny i pewny? Nie sądzę, bo słusznie podnoszono, że, poza rozpatrywanymi już wpływami ubocznymi zabijania komórek na pewnej przestrzeni łodygi lub ogonka liściowego, mogą być jeszcze jakieś inne wpływy, narazie nieznanne i nieprzychodzące nam na myśl, a przecież mogące wywierać wpływ decydujący na ruch wody

w drewnie. Jeżeli Ursprung odpowiada na to, że z tem się liczyć nie potrzeba, bo chodzić może tylko o to, czy w dzisiejszym stanie nauki można sobie owe objawy wędnięcia objaśnić inaczej niż przez odpadnięcie wpływu żyjących komórek na ruch wody, a o przyszłym rozwoju nauki nie przesądzać nie można, to z takim poglądem trudno się pogodzić; bo dążeniem naszym musi być uzyskanie stanowczej odpowiedzi na pytanie, czy żyjące komórki, leżące na przebiegu dróg wodnych, mają czy nie mają udziału w dostarczaniu energii do ruchu wody po tych drogach. Wobec podnoszonych powyżej wątpliwości sprawa uzyskania dowodu na udział żyjących komórek w ruchu wody w drewnie zapomocą ich zabijania przedstawia się dość beznadziejnie i bodaj czy warto dalej mnożyć w tym kierunku doświadczenia, choćby najkrytyczniej przeprowadzane, bo poza prawdopodobieństwo, jakie uzyskali już Ursprung i Roshardt, dalej tą drogą nie postąpimy. Czy zabijanie skutecznym gorącą parą wodną, czy gorącym woskiem, czy wyładowaniami elektrycznymi, czy truciznami nigdy nie będzie wykluczoną wątpliwość, czy te zabiegi zabijania nie wpłynęły na tamowanie ruchu wody w drewnie w jakiś, choćby na razie nieprzeczuwany, sposób uboczny, niezależny od dostarczenia przez żyjące komórki energii do podtrzymywania ruchu wody.

O wiele więcej widoków powodzenia w zajmującej nas kwestji mogłaby mieć metoda, polegająca nie na zabijaniu, ale tylko na chwilowem zawieszeniu czy też zmniejszeniu czynności żywych komórek, z którymi złączone być musi wszelkie uwalnianie się w nich energii, a więc i ewentualny ich spółdział w podtrzymywaniu ruchu wody. Jeżeliby wskutek osłabienia czynności życiowych komórek, otaczających drogi wodne, następowało wędnięcie liści, a po usunięciu czynnika, osłabiającego te czynności, te same liście odzyskiwały swą jędrność, to byłby to już prawie że niewątpliwy dowód udziału żyjących komórek łodygi w dostarczaniu energii dla ruchu wody. Jednakże, jeżeliby odwrotnie osłabienie czynności życiowych komórek na pewnej przestrzeni łodygi nie wywołało wędnięcia, to z niego nie mielibyśmy jeszcze prawa wnioskować, że żyjące komórki nie biorą udziału w dostarczaniu energii do ruchu wody, bo łatwo można przypuścić, że inne siły czynne przy tym ruchu, łącznie z energją, dostarczaną przez komórki żyjące, leżące po za miejscem, gdzie ich czynności osłabiono,

wystarczyły jeszcze do podtrzymania ruchu wody z szybkością dostateczną do utrzymania liści w jędrności. Jako sposób osłabienia czynności życiowych komórek nastęcza się, samo przez się, obniżenie temperatury do wysokości blizkiej 0°. Wiemy dawno, że oziębienie ziemi w wazonie, w którym rozwija się bujnie ulistniona roślina, może wywołać jej wędnięcie, nawet mimo największej obfitości wody w ziemi i wiemy, że w tym przypadku roślina wraca do jędrności bez polewania ziemi, jeśli się tylko ta ostatnia znów dostatecznie ogrzeje. Jeżeliby takie zjawiska następowały w razie oziębienia, a potem ogrzania łodygi na pewnej jej przestrzeni, to byłby to bardzo przekonujący dowód udziału żyjących komórek łodygi w dostarczaniu energii do podnoszenia się w niej wody. Doświadczenie takie próbowałem wykonać już w r. 1884, zaraz po ogłoszeniu mojej pracy, dotyczącej teorii ruchu wody, jednak nie dało ono oczekiwanego rezultatu. Pień kilkunastoletniego klonu oziębiano na przestrzeni około 1½ m, blizko przez 2 tygodnie przez obłożenie go lodem. Pomimo, że podczas doświadczenia panowała pogoda, korona drzewa nie wędła, ale zachowywała swą jędrność. Nie dowodziło to oczywiście, że żyjące komórki pnia nie miały żadnego udziału w doprowadzaniu wody, ale dowodziło, że wykluczenie, albo przynajmniej znaczne osłabienie ich działania na długość 1½ metra nie przeszkadzało doprowadzaniu do korony liści takiej ilości wody, jaka już wystarczała do utrzymania liści, mimo ich parowania, przez dwa tygodnie w stanie jędrności. Doświadczenie to zatem niczego nie rozstrzygało w sprawie udziału żyjących komórek w utrzymywaniu ruchu wody. Myślałem zawsze o wykonaniu doświadczenia z oziębianiem na przestrzeni około 10 metrów, którego rezultat byłby rozstrzygający, ale nie miałem możności wykonania takiego doświadczenia.

Pomyślniejszym wynikiem uwieńczone były doświadczenia metodą oziębiania, wykonane przez Kosaroffa, niestety jednak pracę jego znam tylko z referatów¹⁾.

Kosaroff oziębiał łodygi różnych roślin do 0°, lub nieco poniżej — 2°, do — 4° C, wystawiając równocześnie liście na parowanie. W wielu przypadkach następowało wędnięcie już po upływie kilku godzin, przyczem albo następowała rychło śmierć

¹⁾ Ursprung, »Die Beteiligung lebender Zellen am Saftsteigen«. Jahrb. f. wiss. Bot. T. 42, 1905. S. 515-518.

rośliny, albo niekiedy, jak u męczennicy niebieskiej (*Passiflora coerulea*) i wiciokrzewu (*Lonicera sempervivens*), po usunięciu oziębienia wracała roślina do pierwotnej jędrności. Te ostatnie przypadki na szczególną zasługują uwagę i byłoby bardzo wskazane doświadczenia w tym kierunku powtórzyć i rozszerzyć. Jeden na pewno stwierdzony przypadek wędnięcia rośliny podczas oziębienia części jej łodygi i powrotu do jędrności, po usunięciu oziębienia, miałby większą siłę dowodową, co do udziału żyjących komórek w dostarczaniu energii do ruchu wody, niż cała setka doświadczeń, wykazujących wędnięcie wskutek definitywnego, a więc już nieodwracalnego, zabicia komórek na części dróg wodnych; bo gdy wędnięcie następuje nie wskutek zabicia, ale tylko chwilowego i dającego się potem usunąć osłabienia czynności życiowych komórek, a z usunięciem osłabienia następuje także powrót do jędrności, to już prawie że nie może być mowy o innej tego przyczynie. Momentem przyczynowym pozostaje więc tylko usunięcie, a potem znów przywrócenie spółdziałania energii żyjących komórek w doprowadzaniu wody do liści. Ponieważ jednak fakty takie poza paru przypadkami, podanymi przez Kosaroffa, nie były dotąd z całą stanowczością stwierdzone, więc dowodu z nich płynącego nie możemy narazie uważać za dostatecznie ugruntowany.

Doświadczenia z oziębieniem wykonywał także z pozytywnym rezultatem na gałązkach bukowych Ursprung, ale, że prowadził je aż do uschnięcia liści i nie zwracał uwagi na to, czy nadwędnięte liście odzyskują jędrność po usunięciu oziębienia czy nie, więc doświadczenia jego nie mają tej siły dowodowej, co niektóre doświadczenia Kosaroffa, w których ten powrót do jędrności stwierdzono.

Że wyniki doświadczeń z oziębieniem nie u wszystkich roślin wypadają jednakowo, to nie tylko nie przemawia przeciw, ale raczej za udziałem żyjących komórek w dostarczaniu energii dla ruchu wody, bo jeżeli ten ruch jest powodowany częścią wpływem sił czysto fizycznych, częścią działaniem energii, dostarczonej przez żyjące komórki, to, z uwagi na różnice w budowie, rozmieszczeniu i wielkości energii życiowej komórek rozmaitych roślin, jest rzeczą zgóry do przewidzenia, że w zależności od tych różnic, także udział, jaki w różnych przypadkach przypada żyjącym komórkom w ruchu wody, musi być różny.

Do sprawy udziału żyjących komórek w ruchu wody w drewnie jeszcze raz później wrócimy, ale obecnie musimy jeszcze

zaznaczyć, że choćby ten udział został ponad wszelką wątpliwość udowodniony, choćbyśmy poznali jego mechanizm, to jeszcze niewszystkie zjawiska podnoszenia się wody w roślinie byłyby przez to wyjaśnione. Bo najprzód doświadczenia Strassburgera wykazały bezsprzecznie, że pewna ilość wody może się, z wykluczeniem współdziałania żyjących komórek, podnieść do wysokości czasem i 20 metrów. Ponieważ w tych przypadkach mogły być czynne tylko siły fizyczne, więc trzeba sobie zdać sprawę z tego, w jaki sposób było to możliwe. Powtóre, korzeń po odcięciu od niego parującego pędu nie wydziela nigdy a więc i nie pobiera tyle wody co wtedy, gdy ów pęd jest z nim złączony, a często nawet nie wydziela jej wcale. Mamy w tem dowód, że parujący pęd oddziaływa ze swej strony w bardzo wysokiej mierze na pobieranie wody przez korzenie. Wobec tego w kompletnej teorii ruchu wody trzeba odpowiedzieć na pytanie, jakiego rodzaju jest to oddziaływanie. Przypuszczenie na całej długości łodygi takiego samego działania żyjących komórek, jakieśmy poznali w korzeniu, mogłoby nam tylko dopomóc do zrozumienia tego, że ta woda, która jest pobierana przez korzenie, może dochodzić do najwyższych szczytów drzew, ale nie tego, że woda przy ich współdziałaniu jest przez korzenie roślinne daleko energiczniej pobierana niż bez niego. Można tu wprawdzie przypuścić, że z pieńka, pozostającego po ścięciu łodygi, korzenie dlatego mniej wody wydzielają, lub nie wydzielają jej wcale, że temu wydzielaniu przeciwdziała pełne ciśnienie atmosferyczne, gdy w naczyniach nietkniętej rośliny, leżącej na poziomie powierzchni pieńka, ciśnienie jest wskutek parowania znacznie niższe i wynosi tylko $\frac{1}{2}$ lub $\frac{1}{4}$ atmosfery; ale gdyby taką jedynie była przyczyna słabszego wydzielania wody z pieńków ściętych roślin, to przez założenie do pieńka pompki i wywarcie z jej pomocą odpowiedniego ssania tak, aby ciśnienie na powierzchni pieńka doprowadzić do połowy, $\frac{1}{4}$ lub choćby i $\frac{1}{50}$ atmosfery, powinniśmy otrzymać z niego taki sam lub większy wypływ wody niż ten, który odpowiada ilości wody wyparowanej przez roślinę. Takie doświadczenia robiono, ale otrzymywano w ten sposób tylko pewne stosunkowo bardzo nieznaczne przyspieszenie wydzielania wody z pieńków tak, że ta ilość i teraz jeszcze była daleką od tej, jaką roślina wyparowywała przed ścięciem, więc jaką korzeń z ziemi pobierał. Z tego wynika, że ulistniona łodyga musi podczas parowania jeszcze w jakiś inny sposób

oddziaływać na pobieranie wody przez korzenie, a nie jedynie przez zredukowanie ciśnienia, panującego w naczyniach, do ułamka ciśnienia atmosferycznego. Musi być zatem jeszcze jakiś inny czynnik, regulujący ruch wody w roślinie, poza temi, któreśmy dotąd omawiali. Pytanie jaki to czynnik?

6. Kohezja wody, jako czynnik jej podnoszenia się w drewnie.

Omawiając na str. 126 i nast. rolę, jaką w ruchu wody w drewnie może odgrywać różnica ciśnień w naczyniach i cewkach drzewnych, opisaliśmy bardzo proste doświadczenie fizyczne, zapomocą którego możemy obserwować i naśladować podnoszenie się wody pod wpływem różnicy ciśnień. Widzieliśmy, że gdy rurkę, z której woda jest pobierana, czy to przez gałązkę roślinną, czy przez porowate parujące ciało, jak gips, wypalona glina, pęcherz (p. ryc. 6), zanurzymy dolnym, otwartym końcem w rtęci, to powoli, w miarę parowania, ta rtęć podnosi się do znacznej wysokości, np. 60 cm, aż póki powietrze, wdzierające się przez owe porowate, parujące ciało, nie położy kresu temu podnoszeniu się. Oczywiście, chcąc osiągnąć możliwie jak najwyższe podnoszenie się rtęci w tej rurce, będącej zarazem manometrem, starano się przeciwdziałać wdzieraniu się powietrza. Doświadczenia takie przeprowadzał najprzód B ö h m¹⁾, używając za twór parujący gałązki roślinnej, np. jodły, a jeszcze lepiej tui (*Thuja*). Gdy dolną część tej gałązki wygotował w wodzie, a także rurkę manometryczną napełnił wodą, pozbawioną powietrza przez długie gotowanie, to zdarzało się, że wskutek parowania rtęć w rurce manometrycznej dochodziła do pełnej wysokości barometrycznej, albo nawet znacznie wyżej. Tak np. w jednym z doświadczeń z tuja, podczas którego barometr wskazywał ciśnienie atmosferyczne 74.5 cm, rtęć w manometrze podniosła się do wysokości 90.6, a więc o 16 cm ponad ciśnienie barometryczne. Do takich samych doświadczeń A s k e n a z y w r. 1896²⁾ użył zamiast żyjących gałązek martwego porowatego ciała, t. j. gipsu, którym

¹⁾ B ö h m, »Capillarität u. Saftsteigen«. Berichte der deutschen bot. Gesellschaft 1889, »Ursache des Saftsteigens«. Ibidem 1893.

²⁾ A s k e n a z y, »Beiträge zur Erklärung des Saftsteigens«. Verhandlungen des Naturhistorischen Medizin. Vereins zu Heidelberg 1896.

napęczniony był cylindryczny lejek, połączony z długą cienką rurką, długości blisko 1 metra, która była napęczniona wygotowaną wodą i zanurzona w rtęci. Tutaj także postarano się o to, aby ta woda, wypełniająca rurkę, jak i wilgotny gips w lejku nie zawierały wcale powietrza. Otóż i tu zachowanie tej ostrożności, nie pozwalającej powietrzu dostać się między wodę a gips, miało ten skutek, że rtęć nie przestawała się podnosić nawet wtedy, gdy doszła już do wysokości ciśnienia barometrycznego. W jednym np. z doświadczeń Askenazego rtęć doszła do wysokości 89.3 cm, gdy stan barometru był tylko 75.3 cm, więc rtęć podniosła się o 14 cm wyżej ponad ciśnienie barometryczne.

Hulet, używając zamiast gipsu porcelanowej płytki przepojonej żelazosinkiem miedziowym, doprowadził do podniesienia się rtęci na wysokość 111.1 cm podczas stanu barometrycznego 74.4 cm, a więc 36.7 cm wyżej ponad ciśnienie barometryczne.

Doświadczenia nad podnoszeniem się rtęci pod wpływem ssania transpiracyjnego, tylko bez owych ostrożności, zapobiegających dostaniu się powietrza między wodę a ciało transpirujące, omawialiśmy już na str. 129, jako ilustrację ruchu pod wpływem różnicy ciśnień, ale tam widzieliśmy również, że pod działaniem wyłącznie tego czynnika woda nie może się żadną miarą podnieść wyżej niż do 10 metrów, rtęć wyżej niż do 76 cm, t. j. do wysokości odpowiadającej ciśnieniu barometrycznemu. Skoro teraz przekonaliśmy się, że jednak rtęć pod wpływem ssania transpiracyjnego podnosiła się do wysokości 90, a nawet przeszło 100 cm, to nie może być mowy o tem, aby przyczyną tego podniesienia mogła być jedynie różnica ciśnień u dołu i góry, bo powyżej 76 cm rtęci niema już żadnego ciśnienia, któreby popychało rtęć ku górze; przeciwnie, w wysokości np. 90 cm jest ciśnienie—14 cm, a w wysokości 100 cm ciśnienie—24 cm, które spycha rtęć ku dołowi. Jeżeli mimo tego ciśnienia z góry na dół rtęć posuwała się ku górze, to mogło się to odbywać tylko wskutek znacznej spoistości międzycząstkowej. Czastki rtęci między sobą, czastki rtęci i przytykającej do nich wody, a wreszcie czastki wody tak silnie są między sobą spojone przyciąganiem międzycząsteczkowem, że gdy czastki leżące u góry odciągane są przez jakie bądź siły, czy to osmotyczne, czy nasiąkliwość ciał porowatych lub koloidalnych, to na ich miejsce wciągane są czastki wody niżej leżące. Te ostatnie znowu wskutek wewnętrznej

spoistości ciągną za sobą cząstki dalej położone, tak że ten ruch przenosi się aż do cząstek rtęci, które przez spoistość z wodą są także ciągnięte do góry, podnosząc za sobą niżej położone cząstki rtęci i t. d. W ten sposób pod wpływem parowania ciała nasiąkliwego, lub osmotycznie działającego, stykającego się z wodą, może następować podnoszenie się tejże wody do wysokości, przewyższającej ciśnienie atmosferyczne, a więc podnoszenie się niezależne od różnicy ciśnień w różnych wysokościach drogi wodnej. Ale warunkiem takiego ruchu jest jednościągłość kolumny podnoszącej się wody; jeżeli ta jednościągłość zostanie przerwana, np. przez wdarcie się powietrza między wodę a ciało parujące, to podnoszenie się wody ustaje i poziom płynu układa się stosownie do panującego ciśnienia, a gdy powietrze raz sobie znajdzie drogę do wnętrza rurki, prowadzącej wodę, to woda czy rtęć, mimo dalszego parowania wody, szybko już w rurce manometrycznej opadają. Przez bardzo staranne usunięcie powietrza z wody i z obiektu, z którym się robi doświadczenie, udaje się przez parowanie doprowadzić rtęć do jeszcze znaczniejszej wysokości. Ursprung w r. 1913 skonstruował specjalny przyrządek do takich doświadczeń¹⁾, który w r. 1915 jeszcze dalej ulepszył. W tych doświadczeniach z 1915 r. nie ograniczał się jedynie do wygotowania wody i gałązki tuji, z którą doświadczenia wykonywał, ale tę gałązkę wygotował jeszcze w alkoholu, potem ekstrahował ją jeszcze wrzącym alkoholem, a w końcu, dla usunięcia alkoholu, jeszcze wygotowaną wrzącą wodą. Za manometr służyła w przyrządzie Ursprunga włoskowata rurka, a naczynko z rtęcią, w której ta rurka manometryczna była zanurzona, szczelnie było zamknięte i powietrze z nad rtęci wypompowane tak, że podnoszenie się rtęci w kapilarze odbywało się bez udziału ciśnienia atmosferycznego; tak więc pełne ciśnienie ujemne, jakie się wytwarzało w aparacie wskutek transpiracji, było większe od wysokości rtęci w rurce manometrycznej o całe ciśnienie barometryczne. Ursprung używając gałązki tui jako przedmiotu parującego, znajdował podniesienie się rtęci w rurce manometrycznej z próżnią nad powierzchnią rtęci, do wysokości 90—135 cm, doliczając więc do

¹⁾ Ursprung, »Beitrag zur Demonstration der Flüssigkeitskohesionen« Berichte der bot. Gesell. T. 31, 1913. »Beitrag zur Demonstration des Saftsteigens«. Berichte der deut. bot. Ges. 33, 1915.

tego ciśnienie barometryczne, otrzymał jako całkowitą wielkość ujemnego ciśnienia, wywołanego parowaniem gałązki, 161—206 cm rtęci.

W podobny sposób i za pomocą aparatu bardzo podobnego do Ursprungowskiego przeprowadzał Nordhausen doświadczenia z gałązkami tui, cyprysika (*Chamacyparis* i lilaku (bzu, *Syringa*), z tą różnicą, że, dla uniknięcia dostawania się powietrza z przekroju gałązki do rurki manometrycznej, umieszczał między niemi bądź to rozrobioną glinę, oddzieloną od przekroju gałązki płytką porowatą z białej wypalanej gliny, bądź też cylinder z drewna iglastego. Nordhausen¹⁾ znajdował także w ten sposób podniesienie się rtęci do wysokości 90—103 cm ponad powierzchnię rtęci w naczyniu z próżnią, co łącznie z ciśnieniem barometrycznym dawało także ogólne ujemne ciśnienie, dochodzące do 167 cm. Stosując to, co się daje obserwować w dobrze wykonanem doświadczeniu nad podnoszeniem się rtęci do wysokości, przynoszącej ciśnienie barometryczne, do naturalnego ruchu wody w naczyniach i cewkach drzewnych pod wpływem transpiracji liści, nie możemy wątpić, że spoistość, czyli kohezja między cząstkami wody może odgrywać pewną rolę w tym ruchu; inné atoli jest pytanie, o ile ona, łącznie z parowaniem, może nam wystarczyć do objaśnienia podnoszenia się wody z dostateczną szybkością do najwyższych szczytów drzew.

Na przypuszczeniu, że tak jest istotnie, opartą jest t. zw. kohezynna teoria ruchu wody, która, zaznaczona już przez Böhma i Askenażego, opracowana i broniona była w szeregu publikacyj przedewszystkiem przez Dixon²⁾ i coraz więcej znajduje zwolenników. Rozpatrzmy bliżej uzasadnienie tej teorii.

Ażeby woda mogła się podnosić do szczytów drzew wskutek parowania liści na mocy kohezji, t. j. spoistości jej cząstek, potrzeba następujących warunków:

1) aby siły osmotyczne i pęczliwość błon w liściach były dość wielkie, aby zrównoważyć ciśnienie jednociągłego słupa

¹⁾ Nordhausen, »Über die Saugkraft transpirirender Sprosse«, Berichte der deut. bot. Gesell. T. 34, 1916. S. 619.

²⁾ Dixon, »Transpiration and the Ascent of Sap«, Progressus rei botanicae T. 3, 1910. H. R. Bode, »Beiträge zur Dynamik der Wasserbewegung in den Gefässpflanzen«. Jahrb. f. wiss. Botanik. T. 62, 1923. S. 92. H. H. Dixon, »The Transpiration Stream«, London, 1924.

wody o wysokości danej rośliny, więc np. jakiegoś drzewa, mającego kilkadziesiąt metrów wysokości, a ponadto przewyżżyć opory tarcia, przeciwstawiające się podnoszeniu się wody,

2) aby siły kohezyjne wody były dość wielkie, aby się mogły oprzeć ciężarowi tego słupa i siłom dążącym do jego przerwania,

3) aby na drogach wodnych rośliny t. j. w naczyniach i cewkach istniały rzeczywiście takie jednociągłe, nigdzie nieprzerwane słupy wodne, które wobec spoistości tych cząstek mogłyby być podnoszone wskutek odciągania wody u ich szczytów przez pęczliwość i osmozę parujących tkanek.

Co do 1) już w rozdziale o pęcznieniu (str. 42), widzieliśmy, że pęcznienie suchych tworów tkankowych jest zdolne do przewyższenia oporu nawet większego od 1.000 atmosfer, więc nie może ulegać wątpliwości, że może też zrównoważyć ciężar jednociągłego słupa wody o wysokości najwyższego drzewa. Także i siła osmotyczna komórki śródliścia, odciągająca wodę naczyniom i cewkom nerwów liściowych, wystarcza do zrównoważenia tego ciężaru, bo do splazmolizowania komórek śródliścia naszych drzew potrzeba z reguły więcej niż 0.6 normalnego roztworu cukru, np. u lipy, podług Tröndlego około 0.9 normalnego roztworu cukru, a już 0.5 normalny roztwór równoważy około 12 atmosfer, a więc słup wody około 120 metrów wysoki.

A zatem pierwszy warunek do tego, aby spoistość wody i parowanie liści mogły doprowadzić wodę do szczytów drzew można uważać za istniejący.

Co do 2) już z powyżej omawianych doświadczeń Böhma, Askénazego, Huleta, widzieliśmy, że siła kohezyjna wody może doprowadzić rtęć znacznie ponad wysokość barometryczną, a z doświadczeń Usprunga i Nordhausena wynikałoby, że może ona przekroczyć znacznie ciśnienie dwóch atmosfer. Ale to do doprowadzenia wody do szczytów wysokich drzew jeszcze by nie wystarczyło, dlatego botanicy sami próbowali oznaczyć dokładniejsze granice siły kohezyjnej.

Podług dzisiejszych zapatrywań, ugruntowanych przez Kamerlinga i Steinbrincka, pęknięcie zarodni paproci i wyrzucanie z nich gwałtowne zarodników polega na tem, że woda, wypełniająca komórki t. zw. pierścienia w dojrzałej zarodni (*annulus*) powoli paruje, wskutek czego powstaje w niej ujemne napięcie. Z chwilą gdy wskutek utraty wody to napięcie dojdzie do przewyższenia spoistości wody, wypełniającej komórki pier-

ścienia, następuje wskutek sprężystości zgrubiałych od wewnątrz ścian komórek pierścienia gwałtowny ruch, rozrywający całą zarodnię i rozsiewający zarodniki. Otóż zamiast przez parowanie można odciągnąć wodę z tych komórek osmotycznie przez umieszczenie całej zarodni np. w roztworze cukru i określenie, jakiej koncentracji cukru potrzeba do tego, aby wywołać ten sam skutek, do którego doprowadza parowanie, t. j. aby doprowadzić do przewyciężenia spoistości wody. Ursprung¹⁾ znalazł, że potrzeba było do tego użyć koncentracji 3.1—normalnej cukru w odniesieniu do objętości roztworu. Z tego daje się obliczyć wartość osmotyczna na około 300 atmosfer, którejby odpowiadała kohezja cząstek wody.

Dla kontroli oznaczał jeszcze Ursprung wielkość kohezji wody w komórkach pierścienia zarodni paproci w inny sposób, mianowicie oznaczając maksymalną prężność pary wodnej w powietrzu, otaczającym zarodnię, przy której jeszcze wysychanie może doprowadzić do przewyciężenia spoistości wody w komórkach pierścienia. Znalezienie tej prężności polegało na umieszczeniu zarodni w małym eksykatorze z kwasem siarkowym pewnego stężenia. Przez doświadczenia próbne z rozmaitemi stężeniami znajdowano wreszcie najmniejsze stężenie, jakie już wystarczało do takiego parowania, któreby wywołało pęknięcie zarodni i wyrzucenie zarodników.

To stężenie miał kwas siarkowy o ciężarze gat. 1.2, co odpowiada przy 18°C prężności pary 11.9 mm rtęci. Wielkość spoistości obliczona z tej prężności wypadła znowu nieco wyżej jak 300 atmosfer. Spoistość 300 atmosfer wystarcza oczywiście najzupełniej do tego, aby dopuścić do podniesienia wody przez parowanie do szczytów najwyższych drzew.

Atoli spoistość tak obliczona odnosi się do wody, będącej w spoczynku, ponieważ jednak wszelkie wstrząśnienia mogą się przyczynić do łatwiejszego przerwania jednociągłej kolumny wody, więc można mieć wątpliwość co do tego, czy spoistość wody, będącej w ruchu o szybkości nie mniejszej, jak ta, z którą się woda w roślinie porusza, nie jest mniejsza. W doświadczeniach Böhma, Askénazego, Huleta rtęć pod wpływem ssania transpiracyjnego podnosiła się nie wyżej jak kilkanaście do 40 cm ponad ciśnienie barometryczne, w doświad-

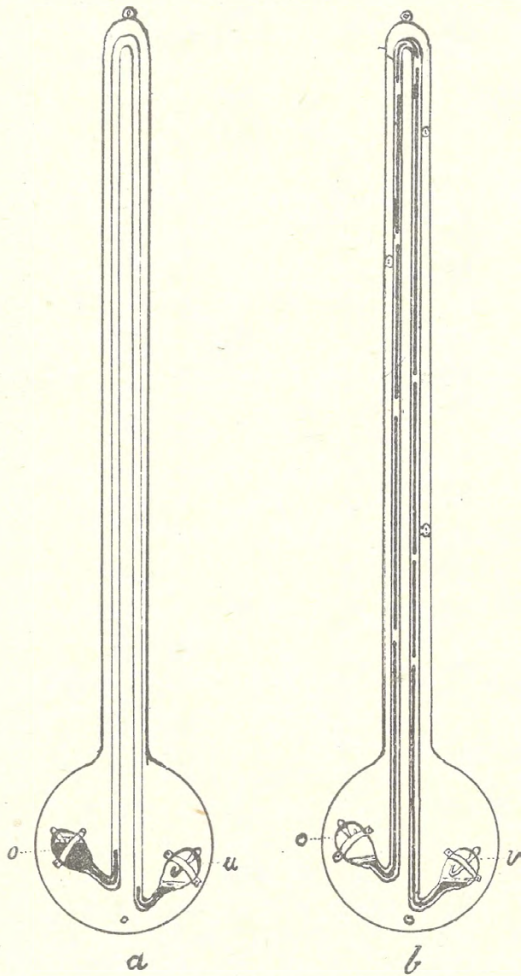
¹⁾ Ursprung, »Über Kohesion des Wassers im Farnannulus«, Ber. der deut. bot. Gesell. T. 33, 1915. S. 153.

zeniach Ursprung'a do wysokości 130 cm; zachodzi tedy pytanie, czy, będąc w ruchu, może się woda na mocy kohezji podnieść jeszcze znacznie wyżej. Na to pytanie dają odpowiedź twierdzącą doświadczenia lewarowe Steinbrincka¹⁾. Ten autor prostuje przedewszystkiem dawniejsze zapatrywania fizyków na sposób działania zwykłego dwuramiennego lewara, objaśniające jego działanie ciśnieniem barometrycznym, które jakoby wypychało wodę do krótszego ramienia i podnosiło ją aż do miejsca zgięcia. Steinbrinck wykazuje, że ciśnienie barometryczne zapobiega tylko przerwaniu się słupa cieczy w lewarze, a ruch jej jest spowodowany tylko przewyżką ciężaru słupa cieczy w dłuższym ramieniu. W myśl swego zapatrywania dawniejsi fizycy utrzymywali, że w próżni lewar działać nie może, że nie może także działać wtedy, gdy jego wysokość przenosi wysokość słupa, który już równoważy ciśnienie atmosferyczne, tymczasem Steinbrinck wykazuje, że, o ile się zapobiegnie w jaki bądź sposób przerwaniu się słupa cieczy, lewar dwuramienny może równie dobrze działać w próżni, jak pod pełnem ciśnieniem atmosferycznym, co więcej, może funkcjonować także i wtedy, gdy długość jego ramion przenosi kilkakrotnie wysokość słupa cieczy, równoważającego ciśnienie atmosferyczne, a więc spowodować podnoszenie się cieczy w krótszym ramieniu do wysokości kilkakrotnie większej od ciśnienia atmosferycznego. Jeżeli taki lewar miałby być napelniony wodą, to trzeba, żeby ona była przed wygotowaniem jak najdokładniej pozbawiona powietrza, trzeba dalej, żeby wewnętrzne ściany lewaru były starannie wymyte, tak, żeby woda dobrze do nich przylegała i nie dopuszczała wytworzenia się baniek powietrza, któreby przerwały ciągłość kolumny wody. Ze względu na mały ciężar gatunkowy wody dogodniej jest używać do takich doświadczeń lewarów rtęciowych, bo długość ich dla takiego samego ciśnienia może być z górą 13 razy mniejsza niż długość lewaru wodnego.

Ale znaczna trudność leży tu w tem, że rtęć nie przylega do szkła, więc choćby tak rtęć jak i ściany szkła były najczystsze, to między nimi nieuchronnie znajdowałyby się nieco powietrza, które, skoroby tylko ciśnienie zbliżało się do 0,

¹⁾ Steinbrinck, »Über dynamische innere Spannungsdifferenzen von Flüssigkeiten u. ihre Beziehung zum Saftsteigen der Bäume«, Flora, 1904. S. 125. Steinbrinck, »Untersuchungen über die Kohesion strömender Flüssigkeiten mit Beziehung auf das Saftsteigenproblem der Bäume«. Jahrb. f. wiss. Bot. T. 42, 1906. S. 579—626.

a tem bardziej gdyby było ujemne, zbierałoby się w bańki, któreby rychło przerwały ciągłość kolumny rtęci, a tem samym uniemożliwiłyby czynność lewara. Żeby zapobiec zbieraniu się powietrza między ściankami lewara a rtęcią, trzeba, aby między niemi znajdowała się warstewka wody, która, przylegając równie dobrze do szkła, jak i do rtęci, nie dopuściłaby między nie powietrza. Oczywiście aby to niezbędne wyeliminowanie powietrza było zupełne, trzeba, żeby zarówno woda, jak i rtęć były doskonale wygotowane, tak, aby nie pozostała choćby najmniejsza banieczka powietrza. Po długich i mozolnych usiłowaniach udało się Steinbrinckowi skonstruować lewar rtęciowy o długości 3 metrów, który przedstawiony jest na rycinie 8, a to pod *a*) w stanie spoczynku, a pod *b*) w stanie ruchu. Jak widzimy, lewar składa się z dwóch rezerwoarów *o* i *u*, połączonych z sobą rurą lewarową, której ramię krótsze lewe, przytykające do rezerwoaru *o*, ma długość 2.75 metra, prawe dłuższe, przytykające do rezerwoaru *u*, 3 metry. Przez napełnienie aparatu rtęcią i wypompowanie powietrza doprowadził Steinbrinck do tego, że w położeniu *a* rezerwoar *o* był



Ryc. 8. Lewar rtęciowy Steinbrincka, *a*) w stanie spoczynku, *b*) w stanie ruchu. Przerwy, widoczne w słupie rtęci w *b*), wypełnione są wodą.

prawie całkiem napełniony rtęcią, rezerwoar *u* miał tylko trochę rtęci u dołu. Niezajęte rtęcią części obu rezerwoarów i cała rura lewarowa tworzyły próżnię, ale ich wewnętrzne ścianki nie były suche, ale wilgotne, t. j. powleczone cieniuchną warstewką wody. Jeżeli teraz aparat lewarowy, będący w spoczynku jak *a*, nachylimy na prawo, doprowadzając go do położenia prawie poziomego, przyczem rezerwoar *u* zwróconym jest na dół, to rtęć rezerwoaru *o* wchodzić będzie do ramienia lewego, tu dojdzie aż do szczytowego zgięcia i przeleje się przez nie i przez ramię prawe aż do rezerwoaru *u*. Gdy teraz aparat znowu ustawimy pionowo, to rtęć przelewać się będzie dalej przez rurę lewarową z rezerwoaru *o* do *u*, więc będzie się podnosiła w lewym ramieniu aż do wysokości 2.75 m i przez zgięcie i prawe ramię spływała do rezerwoaru *u*. Ponieważ rtęć i ścianki lewaru są mokre, więc tym ruchem rtęci porywaną jest też woda i nietylko znajduje się ona wszędzie między rtęcią a szkłem, ale przerywa w wielu miejscach kolumnę rtęci, tworząc w niej tu i ówdzie, a zwłaszcza u szczytowego zgięcia, małe słupki, którymi rozdzielone, a raczej spojone, są długie kolumny jednociągłej rtęci. Na rys. 8 *b* są te słupeczki wody dla wyrazistości wyrysowane w pewnym powiększeniu. Obserwując ruch rtęci w takim lewarze, możemy widzieć, że i owe słupki wody także się z nią posuwają. Jeżeli weźmiemy pod uwagę słupek wody w zgięciu szczytowem, to jest on wystawiony na rozciągające działanie ciężaru kolumn rtęci w obu ramionach, z których każda ciągnie go w przeciwnym kierunku, jedna ciężarem słupa rtęci 2.75-metrowego, t. j. siłą 3.62 atmosfer, druga ciężarem słupa rtęci 3.00-metrowego, t. j. siłą 3.95 atmosfer. To znaczy, że woda w szczytowem zgięciu jest temi ciężarami rozciągana, zostaje więc pod ujemnem ciśnieniem około 4 atmosfer, a jednak rozerwana przez to rozciąganie nie jest, pomimo, że cały system jest nie w spoczynku, ale w ruchu. Szybkość ruchu w tym aparacie lewarowym oznaczył Steinbrinck na 2 cm na sekundę, że zaś ruch wody w roślinach wynosi mniej więcej średnio 1 metr na godzinę, czyli na sekundę tylko 0.03 cm. więc ruch w 3-m. lewarze rtęciowym jest około 70 razy szybszy niż ruch wody w roślinie. Spoistość wody płynącej jest tem większa, im szybkość jej ruchu mniejsza, przytem w rurkach węższych jest większa niż w szerszych. Skoro tedy ruch wody w naczyniach i cewkach jest znacznie wolniejszy niż w powyżej opisanym

lewarze rtęciowym, a te naczynia i cewki są daleko węższe niż światło owego lewara, które miało 2 mm średnicy, to niema wątpliwości, że spoistość wody płynącej w naczyniach jest większą, niż w tym lewarze, t. j. większą niż 4 atmosfery, więc mogłaby dopuścić do podniesienia się wody przez jej ciągnięcie wskutek ssania transpiracyjnego do wysokości większej niż 40 metrów. Jeżeli teraz jeszcze zwrócimy uwagę na to, że przyczepność wody do ścian naczyń i cewek drzewnych jest niezawodnie większą, niż do szkła, to możemy z wszelkiem prawdopodobieństwem przypuścić, że spoistość między cząstkami wody, płynącej w naczyniach i cewkach, mogłaby wystarczyć do tego, aby ją przez ssanie transpiracyjne doprowadzić do szczytów najwyższych drzew.

Co do 3). Czy na drogach wodnych rośliny znajdują się zawsze jednociągłe słupy wodne, które mogłyby być przez ssanie podniesione aż do szczytów drzew? Na to pytanie daleko trudniej jest odpowiedzieć z tym samym stopniem prawdopodobieństwa, jak na 2 poprzednie. Że niema jednociągłych naczyń, wypełnionych całkowicie wodą, a przebiegających przez całą długość wysokiego drzewa, o tem wiemy z pewnością. Długość naczyń możemy wymierzyć albo filtrując z pomocą pompy ssącej przez ściętą gałąź wodę z drobnym mialko roztartym tuszem po przefiltrowaniu jej poprzednio przez bibułę dla usunięcia grubszych jego cząstek, albo też zanurzając w taką zawieszinę tuszu gałąź drzewną, ściętą pod wodą. Tusz wchodzi wraz z wodą filtrowaną, czy podnoszącą się przez parowanie liści, do wnętrza naczyń i możemy potem mikroskopowo zbadać, jak wysoko się w nich podniósł. Widząc już gołym okiem, gdzie się tusz urywa, możemy porobić z tego miejsca podłużne skrawki i widzieć, że poza ściankę wyklinowującego się naczynia tusz dalej przedostać się już nie może, choć doskonale wnika do wnętrza każdej jamki siatkowatego naczynia. Zamiast tuszu, z takim samym skutkiem możemy filtrować przez drzewo rtęć. W takich doświadczeniach tusz, czy rtęć, wnika do naczyń na wysokość kilku, kilkunastu lub kilkudziesięciu cm, czasem nawet, np. u dębu lub akacji, na długość 1 m i nieco wyżej, ale nigdy ta długość nie przenosi kilku metrów, więc o jednociągłości naczyń na całej wysokości drzewa nie może być mowy. Ale czy to wyklucza już jednociągłość samego słupa wody? Nie, bo woda z największą łatwością przenika przez części cienkościenne naczyń i cewek, t. j. przez błonki ich jamek

i dlatego przegradzanie naczyń i cewek ściankami nie niszczy bynajmniej, samo przez się, jednociągłości słupa wody, jak tego dowodzi choćby znane i omówione wyżej na str. 134 doświadczenie Teodora Hartiga, które, jak widzieliśmy, służyło za punkt wyjścia jego synowi Robertowi do jego teorii ruchu wody. Ale jest inna rzecz, która teorii kohezynnej większe sprawia trudności. Oto widzieliśmy, że niezbędnym warunkiem czy to podniesienia się wody, wskutek transpiracji, do wysokości, przenoszącej ciśnienie barometryczne, czy to skonstruowania lewaru rtęciowego, funkcjonującego mimo 3-metrowej jego wysokości, było to, aby w wodzie podnoszącej się i wogóle w rurce, w której woda czy rtęć się podnosi, nie było powietrza; wtargnięcie powietrza do takiego aparatu przerywa ciągłość cieczy i kładzie kres jej podnoszeniu się. Ten warunek w drogach wodnych roślin stanowczo nie jest spełniony. Wszak roślina pobiera wodę taką, jaką napotyka w naturze, a więc mniej lub więcej nasyconą powietrzem, wszak słyszeliśmy, że w elementach, stanowiących drogi wodne, około $\frac{1}{4}$ ich pojemności wewnętrznej zajęta jest przez powietrze, że nadto daje się wprost mikroskopowo stwierdzić, że w naczyniach słup wody bardzo często jest poprzerywany bańkami powietrza, stanowiąc t. zw. łańcuch Jamina, w wysokiej mierze stawiający opór przesuwaną się w nich wodzie. Czy więc wobec tego może być mowa o jednociągłej kolumnie wody, podnoszącej się, wskutek kohezji jej cząstek, przez parowanie liści? Czy takie jednociągłe kolumny wody, na całym przebiegu drogi wodnej, od korzeni do liści, istnieją, tego mikroskopowo z natury rzeczy prześledzić się nie da, ale na pytanie, czy istnieć mogą, należy, jak się zdaje, odpowiedzieć twierdząco. Bo bynajmniej nie jest rzeczą konieczną, aby taka jednociągła kolumna wypełniała całkowicie całą zawartość bezpośrednio nad sobą leżących naczyń. Przeciwnie woda mogłaby w tych naczyniach być poprzerywana bańkami powietrza, a przecież mógłby istnieć jednociągły jej słup, bo woda bańką powietrza odgradzona od innej wyżej w tem samym naczyniu leżącej, mogłaby przez jamki w bocznych ściankach naczynia przechodzić do sąsiadującego z niem naczynia lub cewki, a w ten sposób wymijać przeszkodę z powietrza. Gdyby znów na swojej drodze spotkała się z bańką powietrza, to znowu w ten sam sposób, przechodząc przez jamki bocznych ścianek do sąsiednich elementów, mogłaby ją wyminąć i tak

ciągłość kolumny wody, wprawdzie nie prosto ale zygzakowato przebiegającej, mogłaby być utrzymana i mogłaby się pod wpływem transpiracyjnego ssania coraz wyżej przesuwac. W manometrze doświadczenia Askenazego lub Böhma, albo w długoramiennym lewarze Steinbrincka, taki ruch nie jest wobec cokolwiek większej ilości powietrza możliwy, bo banieczki, choćby drobne, unoszone coraz wyżej prądem wody, muszą się w końcu złączyć ze sobą u szczytu i rychło utworzą bańkę tak wielką, że przerwie ona ciągłość między podnoszoną wodą, a pobierającą ją gałązka, czy też porowatym ciałem, a przez to położy kres dalszemu jej podnoszeniu się. W tkance drzewnej żyjącej rośliny takie zebranie się powietrza w większej ilości, w pewnym miejscu drogi wodnej niekoniecznie musi następować, bo błonki jamek, rozdzielających od siebie pojedyncze elementy drzewne, są wprawdzie bardzo łatwo przenikliwe dla wody, ale bardzo trudno przenikliwe dla powietrza, więc bańka powietrza, która powstała np. w pewnej cewce, jest w niej poniekąd unieruchomiona przez odgrodenie ścianka, która nie dopuszcza do przejścia jej do sąsiedniego naczynia lub cewki, żeby się połączyć z inną bańką, któraby się tam znajdowała. W ten sposób występowanie baniek powietrza niekoniecznie pociąga za sobą zebranie się w pewnym miejscu takiej jego ilości, któraby tu zatamowała drogę wodzie i przerywała ciągłość jej kolumny, a raczej jej kolumn, łączących korzenie pobierające wodę z liśćmi, które ją wyparowują.

W ten sposób widzimy, że spełnienie owych trzech warunków, które uznaliśmy za konieczne, aby woda w naczyniach i cewkach mogła wskutek swojej spoistości dopływać przez ssanie transpiracyjne do parujących liści, choćby na szczytach najwyższych drzew, nie jest wykluczone. Dwa pierwsze warunki, t. j. dostateczna do tego siła osmotyczna w komórkach śródliścia i dość wielka spoistość między cząsteczkami wody, choćby płynącej, istnieją niezawodnie; istnienie trzeciego warunku, t. j. jednociągłości wody, mimo zawartości w niej powietrza, nie jest wykluczone, ale nie jest też pewne¹⁾. Wo-

¹⁾ Nowych, bardzo przekonujących dowodów pod tym względem dostarczyła praca H. R. Bodego z r. 1923 (l. c.). Już w r. 1915 Holle (Flora, T. 108) stwierdził, że nawet w całkowicie zwiędniętych liściach obserwować można mikroskopowo nienaruszone kolumny wodne w rurkach wiązek naczyniowych. Bode potwierdził i rozszerzył te obserwacje, znajdując nietylko jednociągłe wypełnienie wodą cewek w łądygach licznych roślin, bliskich zwiędnięcia, ale

bec tego trzebaby się starać oznaczyć doświadczalnie jak wielkiem bywa ujemne ciśnienie w wodzie, płynącej w naczyniach i cewkach, wytwarzane pod wpływem parowania. Gdyby się okazało, że to ujemne ciśnienie bywa bardzo wielkie, to możnaby to było uważać za pośredni dowód istnienia jedności słupów wodnych na znacznych przestrzeniach dróg wodnych.

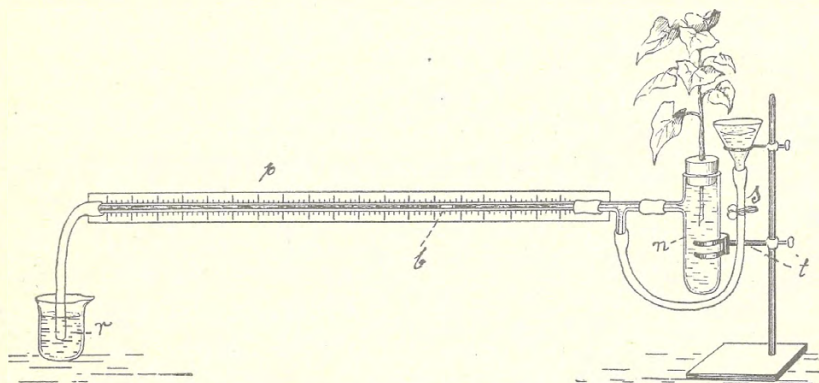
7. Próby doświadczalnego oznaczania wielkości ssania, powodowanego przez parowanie liści.

Już z doświadczeń Böhma i Askenazego, które wykazały podnoszenie się rtęci pod wpływem parowania do wysokości ponad ciśnienie barometryczne, wynika, że w naczyniach i cewkach może powstawać pod wpływem parowania istotnie ujemne ciśnienie, t. j. mniejsze od 0. Ale doświadczenia te nawet po ulepszeniu ich przez Huleta, Ursprung'a i Nordhausena nie mogły jeszcze posłużyć do określenia maksymalnej wielkości siły ssania, bo kres podnoszenia się rtęci w tych doświadczeniach nie był tu spowodowany niedostateczną wielkością siły ssania, do jakiej gałązka jest zdolna, ale wdzieraniem się powietrza między wodę i gałązkę. Byłoby zatem pożądane znalezienie innych metod, któreby pozwoliły określić maximum ujemnego ciśnienia, jakie może powstawać w wodzie, podnoszącej się w naczyniach i cewkach pod wpływem parowania liści. Próbę takiego określenia podjął Renner¹⁾, porównywując zapomocą potetometru ssanie, wywołane przez parowanie, ze ssaniem określonej wielkości, wytworzonym przez pompę. Potetometr miał formę przedstawioną na rycinie 9. Do pomiarów wielkości ssania służyła rurka kapilarna z podziałką p , w której wskaźnikiem była bańka powietrza b , znajdująca się w wodzie, wypełniającej kapilarę. Naczyńko n , służące do pomieszczenia

stwierdzając ponadto, że przerwy lub bańki powstawały w tych słupkach wody dopiero sztucznie, na skutek zranienia łądygi lub usunięcia żywych komórek, otaczających ściany naczyń i cewek. Wykazał on, jak dzięki dotychczasowym metodom przygotowywania obiektu do badań (ucinięcie), bańki powietrza zostawały wprowadzane do dróg wodnych, przerywając ich jedności, która istniała w normalnie parującej roślinie. Badania Bodego stanowią bardzo poważne poparcie teorii kohezyjnej ruchu wody. (M. K.).

¹⁾ Renner, »Experimentelle Beiträge zur Kenntniss der Wasserbewegung« Flora 1911. S. 171-247 i Ber. d. d. bot. Gesellsch. 30, 1912. Str. 576.

rośliny, było z boku połączone z rurką kapilarną, pozatem zapomocą węża kauczukowego, opatrzonego ściskaczem *s*, złączone z lejkiem napełnionym wodą, z którego przez otwarcie ściskacza można było doprowadzać wodę do kapilary, a przez obniżenie lejka przesunąć bańkę powietrza w kapilarze ku naczynku. W czasie doświadczenia nie można dopuścić, aby bańka *b* została wessana do naczynka; za każdym więc razem, gdy przesunęła się zbyt-
 nio w stronę naczynka, otwierano ściskacz *s* i napełniano kapilarę wodą z lejka, przez co bańka odepchnięta została do



Ryc. 9. Potetometr Rennera.

drugiego końca rurki, tak, że pomiar mógł się rozpoczynać na nowo. W miarę wsysania wody przez roślinę, bańka *b* poruszała się w stronę naczynka. Z pomocą ruchomej rączki *t* dawało się naczynko z rośliną obracać. Przez obrót o 90° roślina ustawiała się poziomo, przez obrót o 180° pionowo, wierzchołkiem na dół; wtedy można ją było zanurzyć w podstawione naczynie z wodą, albo umieścić w przestrzeni parą wodną nasyconej i przez to bądź całkowicie zahamować parowanie, bądź też silnie je zmniejszyć, aby się przekonać, jak to oddziaływa na pobieranie wody. Próby z tym potetometrem wykazały, że rośliny, wzięte z kultur wodnych i trzymane w nim przez jakiś czas, czy to w całości z korzeniami, czy jako ścięte gałązki, nie przestają pobierać wody jeszcze i wtedy, gdy ich parowanie zostało zupełnie zahamowane, bo i wtenczas jeszcze bańka powietrza, służąca za wskaźnik pobierania wody, przesuwa się ku naczynku, a szybkość tego przesuwania zmniejsza się bardzo powoli. Ta obserwacja wskazuje, że parowanie wywołuje w drogach, któremi się woda ku pędowi porusza, pewien nie-

dobór wody, pewne ssanie, które trwa czas dłuższy, nawet wtedy gdy parowanie zupełnie już ustało.

Zamiast przez parowanie ulistnionego pędu możemy wywołać ssanie w drogach wodnych w ten sposób, że odetniemy ulistnioną część pędu, a na pozostałą podstawową część bezlistną założymy rurkę kauczukową i przez nią, z pomocą pompki będziemy ssać wodę z potetometru. Także przy takim ssaniu bańka powietrza będzie się w kapilarze przesuwiała ku naczynku, tak samo jak wskutek parowania liści. W ten sposób można porównać ssanie, wywołane przez parowanie liści, ze ssaniem, powodowanym przez pompkę o określonym, zmniejszonym ciśnieniu. Takie porównanie wtedy, gdy dopływ wody równy jest parowaniu, wykazuje, że pompka powoduje szybsze przesuwanie się wody w potetometrze niż parowanie. Renner np. obserwował, że gałązka długości 3 m, o części bezlistnej 2-metrowej, powodowała przesuwanie się wskaźnika w potetometrze o około 23 mm na minutę. Po odcięciu wierzchołka ulistnionego, mającego 110 cm długości, pozostała podstawa bezlistna gałązki, 190 cm długa i ta wywoływała dalej przesuwanie się wskaźnika z szybkością 3 mm na minutę, a gdy ją połączono z pompką i wywołano ssanie 65 cm rtęci, to dalsze przesuwanie się wskaźnika następowało z szybkością 36 mm na minutę, więc było $1\frac{1}{2}$ razy większa niż wywołane przez parowanie. Po skróceniu części podstawowej przez obcięcie do 50 cm, pompka powodowała przesuwanie się wskaźnika z szybkością 140 mm na minutę. Sam szczyt ulistniony, o 110 cm długości, założony na potetometr wywołał przez transpirację ruch wskaźnika o szybkości 22 mm na minutę. Z tych liczb widzimy, że przesuwanie się wskaźnika pod wpływem pompki było znacznie szybsze, niż pod wpływem parowania, stąd wniosek, że ssanie, wywołane w tych warunkach przez parowanie, było stale mniejsze od 1 atmosfery, mniejsze nawet od 60 cm rtęci ujemnego ciśnienia.

Inaczej mają się rzeczy wtedy, gdy woda w swojej drodze ku parującym liściom napotyka na znacznie większe opory, jeżeli np. zwięźmy światło naczyn przez założenie na łodygę ściskacza, to w tym przypadku ssanie transpiracyjne rychło dochodzi do wielkości bardzo znacznej. I tak: liść ciemiernika białego (*Helleborus niger*), założony przez Rennera na potetometr, przesuwał wskaźnik w rurce kapilarnej o 12 mm na minutę. Po ściśnięciu ogonka ściskaczem szybkość przesuwania zmniejszyła się

narazie na 8 mm, ale potem znów zaczęła się zwiększać, po 16 minutach doszła do 6.8 mm, po 46 minutach do 9.3 mm i na tej szybkości utrzymywała się czas dłuższy. Nagłe zmniejszenie się pobierania wody, a potem ponowne jej zwiększenie, aż do pewnej wielkości, która zostawała już stałą, objaśnia się łatwo tem, że po założeniu ściskacza opór, jaki woda napotykała przy przesuwaniu się, tak się zwiększył, że ssanie, jakie poprzednio wystarczało do przesuwania wody z szybkością 12 m/m na minutę, teraz już do tego nie wystarczało i dlatego szybkość znacznie się zmniejszyła. Następstwem tego zmniejszenia było to, że wskutek przewagi parowania nad pobieraniem wody, niedobór wodny stopniowo się zwiększał, co pociągało za sobą zwiększenia się ssania, a proporcjonalnie z niem coraz szybsze przesuwanie się wody przez zaciśnięte miejsce dróg wodnych. Gdy doszło do tego, że szybkość przesuwania wody wystarczała już do pokrywania strat przez parowanie, ustalała się ona, co nastąpiło po 3 kwadransach. Gdy teraz liść ścięto, a zostawiono sam ogonek, ten ssał jeszcze dalej z szybkością 1-go mm. Gdy teraz założono na ten ogonek wąż pompki i puszczono ją w ruch przy stanie manometru, wykazującym ssanie 60 cm, szybkość przesuwania się wskaźnika wzrosła na 1.6 mm, więc tylko o 0.6 mm na minutę. Odrącając także i przy ssaniu przez parowanie (które wynosiło 9.3 mm na minutę) 1 mm na ssanie ogonka, znaleziono wielkość ssania wskutek parowania liścia z proporcji $0.6:60 = 8.3:X$, $X = 830$ cm rżęci, czyli około 11 atmosfer. W innych doświadczeniach znajdował Renner w podobny sposób wielkość ssania przed wędnięciem bądź mniejszą bądź większą, niekiedy dochodzącą nawet do 1500 cm rżęci, czyli około 20 atmosfer.

Te obliczenia oparte są na przypuszczeniu, że przy pokonywaniu takich oporów szybkość przesuwania się wskaźnika w potetometrze jest proporcjonalna do wielkości ssania. Na poparcie tego przypuszczenia przytacza Renner następujące doświadczenie z gałązką bzu tureckiego, 50 cm długą. Ta gałązka, założona na potetometr, dawała przesunięcia wskaźnika podane poniżej: (p. tabelkę na str. 176).

Widzimy tu zatem prawie ścisłą proporcjonalność między wskazaniem potetometru a wielkością ssania, t. j. ujemnego ciśnienia, wywołanego przez pompkę.

O ileby nie podlegało wątpliwości, że metodę, używaną przez Rennera do oznaczania wielkości transpiracyjnego ssania, na-

dobór wody, pewne ssanie, które trwa czas dłuższy, nawet wtedy gdy parowanie zupełnie już ustało.

Zamiast przez parowanie ulistnionego pędu możemy wywołać ssanie w drogach wodnych w ten sposób, że odetniemy ulistnioną część pędu, a na pozostałą podstawową część bezlistną założymy rurkę kauczukową i przez nią, z pomocą pompki będziemy ssać wodę z potetometru. Także przy takim ssaniu bańka powietrza będzie się w kapilarze przesuwała ku naczynku, tak samo jak wskutek parowania liści. W ten sposób można porównać ssanie, wywołane przez parowanie liści, ze ssaniem, powodowanym przez pompkę o określonym, zmniejszonym ciśnieniu. Takie porównanie wtedy, gdy dopływ wody równy jest parowaniu, wykazuje, że pompka powoduje szybsze przesuwanie się wody w potetometrze niż parowanie. Renner np. obserwował, że gałązka długości 3 m, o części bezlistnej 2-metrowej, powodowała przesuwanie się wskaźnika w potetometrze o około 23 mm na minutę. Po odcięciu wierzchołka ulistnionego, mającego 110 cm długości, pozostała podstawa bezlistna gałązki, 190 cm długa i ta wywoływała dalej przesuwanie się wskaźnika z szybkością 3 mm na minutę, a gdy ją połączono z pompką i wywołano ssanie 65 cm rtęci, to dalsze przesuwanie się wskaźnika następowało z szybkością 36 mm na minutę, więc było $1\frac{1}{2}$ razy większa niż wywołane przez parowanie. Po skróceniu części podstawowej przez obcięcie do 50 cm, pompka powodowała przesuwanie się wskaźnika z szybkością 140 mm na minutę. Sam szczyt ulistniony, o 110 cm długości, założony na potetometr wywołał przez transpirację ruch wskaźnika o szybkości 22 mm na minutę. Z tych liczb widzimy, że przesuwanie się wskaźnika pod wpływem pompki było znacznie szybsze, niż pod wpływem parowania, stąd wniosek, że ssanie, wywołane w tych warunkach przez parowanie, było stale mniejsze od 1 atmosfery, mniejsze nawet od 60 cm rtęci ujemnego ciśnienia.

Inaczej mają się rzeczy wtedy, gdy woda w swojej drodze ku parującym liściom napotyka na znacznie większe opory, jeżeli np. zwięzimy światło naczyń przez założenie na łodygę ściskacza, to w tym przypadku ssanie transpiracyjne rychło dochodzi do wielkości bardzo znacznej. I tak: liść ciemiernika białego (*Helleborus niger*), założony przez Rennera na potetometr, przesuwał wskaźnik w rurce kapilarnej o 12 mm na minutę. Po ściśnięciu ogonka ściskaczem szybkość przesuwania zmniejszyła się

narazie na 8 mm, ale potem znów zaczęła się zwiększać, po 16 minutach doszła do 6.8 mm, po 46 minutach do 9.3 mm i na tej szybkości utrzymywała się czas dłuższy. Nagle zmniejszenie się pobierania wody, a potem ponowne jej zwiększenie, aż do pewnej wielkości, która zostawała już stałą, objaśnia się łatwo tem, że po założeniu ściskacza opór, jaki woda napotykała przy przesuwaniu się, tak się zwiększył, że ssanie, jakie poprzednio wystarczało do przesuwania wody z szybkością 12 m/m na minutę, teraz już do tego nie wystarczało i dlatego szybkość znacznie się zmniejszyła. Następstwem tego zmniejszenia było to, że wskutek przewagi parowania nad pobieraniem wody, niedobór wodny stopniowo się zwiększał, co pociągało za sobą zwiększenia się ssania, a proporcjonalnie z niem coraz szybsze przesuwanie się wody przez zaciśnięte miejsce dróg wodnych. Gdy doszło do tego, że szybkość przesuwania wody wystarczała już do pokrywania strat przez parowanie, ustalała się ona, co nastąpiło po 3 kwadransach. Gdy teraz liść ścięto, a zostawiono sam ogonek, ten ssał jeszcze dalej z szybkością 1-go mm. Gdy teraz założono na ten ogonek wąż pompki i puszczono ją w ruch przy stanie manometru, wykazującym ssanie 60 cm, szybkość przesuwania się wskaźnika wzrosła na 1.6 mm, więc tylko o 0.6 mm na minutę. Odrzucając także i przy ssaniu przez parowanie (które wynosiło 9.3 mm na minutę) 1 mm na ssanie ogonka, znaleziono wielkość ssania wskutek parowania liścia z proporcji $0.6:60 = 8.3:X$, $X = 830$ cm rtęci, czyli około 11 atmosfer. W innych doświadczeniach znajdował Renner w podobny sposób wielkość ssania przed wędnięciem bądź mniejszą bądź większą, niekiedy dochodzącą nawet do 1500 cm rtęci, czyli około 20 atmosfer.

Te obliczenia oparte są na przypuszczeniu, że przy pokonywaniu takich oporów szybkość przesuwania się wskaźnika w potetometrze jest proporcjonalna do wielkości ssania. Na poparcie tego przypuszczenia przytacza Renner następujące doświadczenie z gałązką bzu tureckiego, 50 cm długą. Ta gałązka, założona na potetometr, dawała przesunięcia wskaźnika podane poniżej: (p. tabelkę na str. 176).

Widzimy tu zatem prawie ścisłą proporcjonalność między wskazaniem potetometru a wielkością ssania, t. j. ujemnego ciśnienia, wywołanego przez pompkę.

O ileby nie podlegało wątpliwości, że metodę, używaną przez Rennera do oznaczania wielkości transpiracyjnego ssania, na-

Przy ssaniu pompką z siłą:	Przesunięcie wskaźnika wynosiło:	Proporcja wymagałaby:
59 cm rtęci	15 mm	15 mm
30 „	10.5 „	7.6 „
19 „	5.5 „	4.8 „
40 „	10 „	10.1 „
59 „	14 „	15 „

leży uznać za zupełnie poprawną, to doświadczenia jego dowodziłyby, że istotnie w drogach wodnych może powstawać pod wpływem parowania ssanie, wynoszące kilka, lub nawet kilkanaście atmosfer, a więc wystarczające do doprowadzenia wody do szczytów najwyższych drzew, nawet wtedy, gdyby na przebiegu dróg wodnych nie było żadnych innych sił, przyczyniających się do podtrzymania tego ruchu wody. Jeżeli tak było, to teoria kohezyjna zyskałaby w doświadczeniach Rennera silną podporę i co najmniej trzeba by na podstawie tych doświadczeń przypuścić, wbrew temu co swego czasu sam utrzymywał, że podnoszenie się wody do szczytów najwyższych drzew bez współdziałania żyjących komórek nie jest niemożliwe. Zanimbyśmy atoli uznali doświadczenia Rennera za miarodajne pod tym względem, trzeba by się nam w pierw rozpatrzyć w tem, o ile jego obliczenia ujemnego ciśnienia w elementach, stanowiących drogi wodne, są w pełni uzasadnione. Renner w swoich obliczeniach powołuje się, jak widzieliśmy, na to, że szybkość przesuwania się wskaźnika w rurce potetometrycznej pod wpływem ssania pompką przez bezlistną część gałązki, z założonym ściskaczem, jest proporcjonalna do wielkości ssania, wskazanej przez manometr. Wobec tego przyjmuje Renner, że ta proporcjonalność stosuje się także w tej samej mierze i do przesuwania się wskaźnika potetometru pod wpływem transpiracji tejże gałązki. Jest to możliwe, ale bynajmniej nie pewne. Ssanie pompką wywierane jest na całość przekroju gałązki czy ogonka liściowego, a więc zarówno na otwarte przez ściecie naczynie i cewki, jak na żyjące komórki, jak wreszcie na przestwory międzykomórkowe, zaś ssanie transpiracyjne działa jedynie na zawartość naczyń i cewek, od chwili założenia gałązki na potetometr już nie przecinanych. Nie można z góry przesądzać, że przecięcie tkanek, stanowiących drogi wodne, t. j. naczyń i cewek nie zmieniło podatności na ssanie płynącej w nich wody, w jaki sposób ta

zmiana nastąpiłaby musiała, nie wiemy, ale nie mamy na to żadnego dowodu, że nie miała miejsca, a tem samem nie ma też dowodu i na to, że obliczenia Rennera są słuszne. Wobec tego nie można się dziwić, że przyjęcie, jakiego wywody Rennera doznały u różnych fizjologów, interesujących się teorjami ruchu wody, nie było jednakowe. Przychylnie, choć nie bez pewnych zastrzeżeń, odnosi się do nich Jost¹⁾, wszelkiego uzasadnienia odmawia im Ursprung²⁾ pośrednie stanowisko zajmuje Nordhausen³⁾. Ten ostatni sam wykonywał potetometryczne pomiary szybkości ruchu wody w kapilarze, wywołanego przez transpirację z jednej, a przez działanie pompki z drugiej strony, modyfikując tylko sposób wprowadzania oporów dla tego ruchu, a to przez to, że, zamiast używać ściskacza do zwięzania światła naczyń, umieszczał między gałązką a naczynkiem potetometru cylinder z gliny plastycznej, albo z drzewa iglastego. W przeciwieństwie do Rennera znajdował Nordhausen, że przy ssaniu pompką ruchu potetometru nie są dość prawidłowe, tak, że według niego obliczanie z nich ujemnego ciśnienia w drogach wodnych parującej rośliny nie jest dość miarodajne. Wielkość ciśnienia ujemnego na przebiegu dróg wodnych, którą metodą Rennera znajdował Nordhausen, podlegała wahaniom bez porównania większym, niż u Rennera, a obok tego była na ogół znacznie mniejszą, niż znajdowana przez Rennera. Nordhausen podaje ciśnienie ujemne średnio na 4—5 atmosfer, gdy Renner w swoich obliczeniach znajdował czasem 15—20 atmsf., a niekiedy nawet do 1.000 atmosfer. Choćby nawet owe kolosalne ssania, jakie znajdował rzekomo Renner, były tylko złudzeniem, pochodzącym z niedostatecznego uwzględnienia różnic jakościowych, jakie zachodzą między ssaniem pompką, a ssaniem transpiracyjnem, to przecież doświadczenia te, jak niemniej i doświadczenia Nordhausena, a nawet i Ursprunga, stwierdzające podnoszenie się rtęci pod wpływem transpiracyjnego ssania do ogólnej wysokości 108 cm, wykazują, że bądź co bądź transpiracja może wywoływać w elementach, stanowiących drogi wodne, ujemne ciśnienia przynajmniej kilkakrotnie większe od 1-ej atmosfery. Skoro tak, to powinniśmy także w budowie

¹⁾ Jost, »Vorlesungen über Pflanzenphysiologie«. Wyd. III. Jena, 1913. S. 94.

²⁾ Ursprung, Ber. d. d. bot. Gesellsch. 31, 1913, str. 401 i 33, 1915. Str. 112.

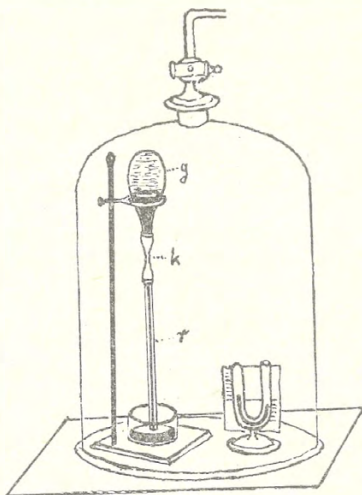
³⁾ Nordhausen, Ber. d. d. bot. Gesellsch. 34, 1916, str. 619. Jahrb. für wiss. Bot. 58, 1917. Str. 294 i 60, 1921. Str. 307.

naczyń i cewek znaleźć odpowiednie przystosowania zgodne z owem potężnem ssaniem, jakie tam przypuszczamy, zwłaszcza wtedy, gdy roślina cierpi niedostatek wody. Każdy botanik zna dobrze budowę naczyń i cewek, a w szczególności owe charakterystyczne zgrubienia jamkowe, siatkowate, wężownicowate, pierścieniowate i t. p., które znakomicie wzmacniają ścianki naczyń i cewek i nie dopuszczają do ich zakłębnięcia się pod wpływem choćby bardzo znacznego ciśnienia. Między owymi częściami zgrubiałemi znajdują się cienkie miejsca błony w tych elementach, przez które woda przechodzi z wszelką łatwością z jednego elementu do drugiego, utrzymując przez to jednościągłość słupów wody mimo poprzegradzania błonami. Te cienkie miejsca zajmują, bez narażenia naczyń i cewek na zgniecenie, powierzchnię bardzo znaczną, dzięki temu, że jak po raz pierwszy wykazał znakomity nasz anatom, prof. Rothert, owe zgrubienia złączone są z zewnętrzną częścią błony nie całą swoją powierzchnią, ale tylko mocno zwężoną jej częścią. Taka budowa odpowiada doskonale zarówno utrzymywaniu się jednościągłości słupa wody, jak i łatwemu wydostawaniu się jej nazewnątrz, jak wreszcie i wytrzymałości naczyń i cewek na działanie sił, któreby je zgnieść i światło ich zamknąć mogły. Choćbyśmy nie przyjmowali w całości teorii kohezyjnej ruchu wody, a tylko przyznali ssaniu transpiracyjnemu znaczniejszy udział w ruchu wody, to i tak musielibyśmy przyznać, że siły te są bardzo znaczne.

Dawniej wyobrażano sobie, że w tych urządzeniach chodzi tylko o zapobieżenie możliwości zamknięcia, czy nadmiernego zwężenia światła naczyń, gdy się w nich zmniejszy ciśnienie poniżej 1-ej atmosfery, czy to przez ciśnienie sąsiednich komórek, będących w stanie turgoru, czy też przez ciśnienie powietrza, znajdującego się w przestworach międzykomórkowych; dzisiaj, po wykazaniu z największem prawdopodobieństwem ssania transpiracyjnego, t. j. ciśnienia ujemnego, dochodzącego niekiedy do kilku, a może nawet kilkunastu atmosfer, musimy przyjąć, że ścianki naczyń muszą być zabezpieczone przed skutkami tego znacznego ujemnego ciśnienia, jakie w razie niedostatku wody może w nich zapanować. Takie wysokie ujemne ciśnienia musiałyby już same przez się, bez jakiegokolwiek zewnętrznego ciśnienia, wywoływać zakłębnięcie ścianek i zamknięcie, a przynajmniej zacieśnienie światła naczyń. Że takie następstwo jest fizyczną koniecznością, udowodnił w bardzo

prosty sposób Steinbrinck w cytowanej już przez nas pracy nad spoiistością płynów, a to zapomocą aparaciku, przedstawionego na ryc. 10. Kolba *g*, połączona szczelnie wężykiem kauczukowym *k* z rurką szklaną *r*, wypełniona jest, wraz z tą rurką,

częścią wygotowaną wodą, częścią rtęcią tak, że po odwróceniu jej i zanurzeniu rurki *r* w naczynko z rtęcią, rtęć wypełnia całą rurkę *r* i szyjkę kolby *g*, a sama woda resztę kolby. Pod ciężarem słupka rtęci *r* i ciśnieniem zewnętrznego powietrza wąż kauczukowy, łączący rurkę z kolbą, zostaje spłaszczony, a to spłaszczenie pozostaje bez zmiany także wtenczas, gdy z klozsa, którym cały aparacik jest nakryty, wypompujemy całkowicie powietrze tak, że w manometrze obok umieszczonym rtęć w ramieniu otwartem i zamkniętem stanie na tym samym poziomie. Otóż to spłaszczenie węża kauczukowego, zachowujące się bez zmiany w próżni, nie może już pochodzić ze ściśnięcia go ciśnieniem atmosferycznym, ale może jedynie być następstwem ssania, spowodowanego ciężarem słupa rtęci w rurce *r*. Takie same skutki musiałyby nastąpić wskutek ssania transpiracyjnego w naczyniach, przewodzących wodę, gdyby ich ścianki nie były od tego zabezpieczone znanymi zgrubieniami.



Ryc. 10. Doświadczenie Steinbrincka, wykazujące zakłębienie się ścian rurki kauczukowej *k*, mimo braku zewnętrznego ciśnienia, jedynie pod wpływem ujemnego ciśnienia słupa rtęci *r*.

8. Czy jest prawdopodobnem, aby ujemne ciśnienie i kohezja same jedne stałe utrzymywały ruch wody?

Powyżej widzieliśmy, że w warunkach utrudnionego dopływu wody mogą powstawać w drogach wodnych ujemne ciśnienia, które prawdopodobnie wystarczyłyby do doprowadzenia wody do szczytów najwyższych drzew, atoli tak wielkie ssanie bywało obserwowane tylko w warunkach pewnego niedostatku wody, kiedy liście były blizkie wędnięcia i nie można tego

przenosić także i na te warunki, w których liście są w stanie pełnego turgoru i dopływ wody mniej więcej równoważy parowanie. Owszem, w tych warunkach, nawet podług doświadczeń Rennera, ssanie powodowane przez parowanie jest mniejsze, niż wywoływane przez pompkę, a więc mniejsze od 1-ej atmosfery. Z tego wynika, że samo to ssanie nie wystarczyłoby do podtrzymywania ruchu wody, zdolnego do zrównoważenia straty, spowodowanej przez parowanie. Już ta okoliczność nie przemawia za tem, żeby ssanie transpiracyjne, łącznie z kohezją, mogło samo jedno wystarczyć do podtrzymania ruchu wody w wysokich drzewach, niemniej jednak może w tym ruchu odgrywać bardzo doniosłą rolę. Postaramy się rozpatrzyć, na czem ono może polegać.

Jakkolwiek w rozdziale o parciu korzeniowem widzieliśmy, że pobieranie wody przez korzenie i wypychanie jej do naczyń i cewek może się odbywać zupełnie niezależnie od parowania wody przez liście i doprowadzanie jej w drogach wodnych nieraz do wysokości, odpowiadającej kilku atmosferom, a niekiedy i wyżej, to przecież widzieliśmy, że w wielu przypadkach z pieńków po ścięciu rośliny woda wcale nie wypływa, a i tam, gdzie wypływa najobficiej, wypływ ten jest o wiele mniejszy, niż ilość wody, jaką roślina nietknięta przedtem wyparowywała. Z tego wielce prawdopodobnym jest wniosek, że parowanie rośliny pobudzało korzenie roślin do pobierania wody z ziemi o wiele energiczniejszego niż to, które bez jego współdziałania mogło mieć miejsce. Nietrudno jest zrozumieć, w jaki sposób może się to dokonać.

Dla objaśnienia wypychania wody do naczyń i cewek z komórek do nich przytykających musieliśmy przypuścić, że zachodzą procesy, wskutek których wartość osmotyczna jest w tych komórkach po stronie przytykającej do naczyń stale mniejsza, niż po stronie sąsiadującej z komórkami doprowadzającymi wodę, pobieraną z ziemi. W tym przypadku woda mogła być wypychana do naczyń, choć w ich wnętrzu panowało ciśnienie równe, lub nawet w czasie parcia korzeniowego większe od atmosferycznego. Widzieliśmy, że połączenie pieńka z pompką zwiększa, choć nieznacznie, wyciekanie z niego wody. Ale pompka zmniejsza ciśnienie w naczyniach co najwyżej do wielkości bliskiej 0, więc ciągle jeszcze dodatniej. Tymczasem przekonaliśmy się, że pod wpływem transpiracji woda może być w naczyniach rozciągana, t. j. sprowadzana

do ciśnienia istotnie ujemnego, czasem kilku atmosfer. Otóż jeżeli w naczyniach korzenia, przytykających do komórek, doprowadzających wodę, powstanie pod wpływem ssania transpiracyjnego ujemne ciśnienie, to musi to mieć taki sam skutek, jak gdyby w komórkach, przytykających do naczyń, wartość osmotyczna po stronie dotykającej naczyń zmniejszyła się o wielkość, odpowiadającą ujemnemu ciśnieniu wody w tych naczyniach, albo też jakgdyby w tych naczyniach zamiast wody znalazł się jakiś roztwór o wartości osmotycznej, równej temu ujemnemu ciśnieniu¹⁾. Następstwem tego musi być oczywiście wypchnięcie, czy jeżeli kto woli, odciągnięcie pewnych ilości wody z komórki do przylegającego do niej naczynia. Wskutek tego nastąpi w komórce zwiększenie jej ogólnej osmotycznej wartości i, co o wiele ważniejsze, zmniejszenie jej turgoru, bo zmniejszenie nasycenia jej wartości osmotycznej²⁾. Następstwem tego musi być odciągnięcie pewnej ilości wody od sąsiednich, bardziej nazewnątrz położonych komórek, co znowu pociąga za sobą odciąganie jej od dalej leżących i tak dalej, aż do komórek skórki i włosków korzeniowych, które odciągają znowu wodę cząsteczkom ziemi. Jest tedy rzeczą zupełnie zrozumiałą, że im silniejsze będzie parowanie liści, tem większy wystąpi niedobór wody na jej drogach, tem w wyższym stopniu będzie się ona tu znajdowała w stanie rozciągniętym, tem większe będzie w następstwie tego wydzielanie się wody ze śródskórni do naczyń i w ślad za tem idące pobieranie wody z gleby. Gdy parowanie staje się słabszem, a woda wciąż przez komórki żyjące korzenia jest do naczyń i cewek doprowadzana, to ów stan jej rozciągnięcia maleje, ciśnienie jej w naczyniach i cewkach, najprzód korzenia, a potem i coraz wyżej leżących części łodyg, zbliża się do 0, potem staje się już wartością dodatnią, choć jeszcze mniejszą od ciśnienia atmosferycznego, wreszcie pod wpływem sił, wywołujących parcie korzeniowe, przewyższa wartość ciśnienia atmosferycznego i powoduje objawy płaczu na częściach zranionych, lub wydzielanie kropelek wody z wypotników liścia. Nie ma żadnych do tego powodów, aby siłom, wywołującym parcie

¹⁾ Ściśle mówiąc, roztwór o sile ssącej, równej temu ujemnemu ciśnieniu (M. K.).

²⁾ Autor zaznacza tu z naciskiem to, co później podniósł Ursprung, że siła ssąca zależy nietylko od wartości osmotycznej, ale od ciśnienia turgorowego, że więc jest $S = W - P$. (M. K.).

korzeniowe, odmawiać zupełnie udziału w podtrzymywaniu normalnego ruchu wody podczas choćby najsilniejszego jej parowania i Dixon idzie niezawodnie za daleko, jeżeli swą teorię ruchu wody chce wyłącznie oprzeć na ssaniu transpiracyjnym i kohezji cząstek wody i to nie tylko w naczyniach i cewkach, ale i w żyjących komórkach korzenia. Samodzielne, niezależne od ssania transpiracyjnego działanie korzeni, nie jest żadną teorią, ale faktem, objawiającym się zarówno płaczem pieńków po ściętych roślinach, jak i parciem korzeniowem. Niema żadnego powodu do przypuszczenia, żeby ta czynność korzenia, która odbywa się po odcięciu od niego pędu, nie miała mieć miejsca w roślinie nietkniętej, ile że przecie objawia się ona wydzielaniem kropelek wody z liści nietkniętych roślin, gdy atmosfera jest dość wilgotna. Wobec tego wątpić nie można, że jest ona tak samo czynna i podczas najsilniejszej transpiracji, a tylko czynność pobierania wody przez korzenie jest wtedy wzmożona przez transpiracyjne ssanie. Dlatego nie sądzę, aby Dixon miał rację, gdy chce sprowadzić cały ruch wody w roślinie od korzeni do liści prawie że wyłącznie do transpiracyjnego ssania i spoistości cząstek wody, a turgorowi żyjących komórek przypisuje tylko rolę usztywnienia ścian komórek żyjących i ochronienia ich od zakłębnięcia przez ssanie transpiracyjne (»In this respect the osmotic pressure acts just in the same way as a number of internal supports keeping the cell turgid and preventing it from collapsing under the tension of the solvent, which drags the water across the cell«¹⁾). Za przekonywujący dowód, że w pobieraniu wody przez korzenie silnie parujących roślin, ssanie transpiracyjne i spoistość cząstek wody nie wystarczają, może służyć wzmiankowany już wyżej fakt, że w warunkach silnego parowania roślina, normalnie w ziemi zakorzeniona, więdnie, mimo dostatku wilgoci w ziemi, jeżeli ziemię oziębimy do temperatury mało co wyższej od 0°C. W ssaniu transpiracyjnym i kohezji cząstek wody nic się tu nie zmieniło, turgor komórek korzenia pozostał także bez zmiany, powstrzymane lub mocno ograniczone zostały tylko procesy życiowe, z którymi widocznie prawidłowe pobieranie wody przez korzenie jest związane. Gdy się ziemia znów rozgrzeje, roślina wraca do pierwotnej jędrności, bez osobnego

¹⁾ Dixon, »Transpiration and the Ascent of Sap«. Progressus rei botanicae. Tom III. Jena, 1910.

podlewania ziemi, w której tkwią jej korzenie. Tak więc uznając w pełni doniosłość ssania transpiracyjnego i spoistości cząstek wody dla pobierania i ruchu wody w roślinie, nie godzimy się na przyznanie tym czynnikom monopolu w tym względzie, ale sądzimy, że w pobieraniu wody z ziemi niemniej ważną rolę odgrywają także i te siły, których działanie rozpatrywaliśmy szczegółowo w rozdziale o parciu korzeniowym.

9. Wielkość ssania transpiracyjnego w liściach i jego zmiany.

Zaznaczyliśmy już, że warunkiem ruchu wody pod wyłącznym wpływem transpiracyjnego ssania i spoistości cząstek wody musi być odpowiednia wielkość siły osmotycznej komórek liściowych, przytykających do naczyń, doprowadzających wodę. Wielkość ta musi być wystarczającą do przesuwania jednociągłego słupa wody, równego wysokości rośliny, a to mimo oporów i tarć, jakie się temu przesuwaniu przeciwstawiają. Jest rzeczą zupełnie jasną, że nie chodzi tu o całkowitą wartość osmotyczną komórek, stykających się z naczyniami, ale tylko o tę jej część, która nie jest nasycona wodą już pobraną. Choćby w danej komórce wartość osmotyczna była największa, jeżeli ona jest już zupełnie nasycona, t. j. gdy komórka jest w pełnym turgorze, odpowiadającym wartości osmotycznej, to nie będzie ona stykającej się z nią wody więcej pobierała. Dopiero gdy komórka przez parowanie utraci część wody i turgor nie będzie już odpowiadał wartości osmotycznej, zacznie ona na nowo wodę pobierać, o ile temu nie przeciwstawi się działanie jakich innych sił, wodę zatrzymujących. W przypadku pobierania wody przez korzenie przeciwstawiać się temu mogą własności osmotyczne i hygroskopowe ziemi, w przypadku pobierania wody z naczyń przez komórki śródliścia—ujemne ciśnienie wody w tych naczyniach. To ujemne ciśnienie może być z jednej strony powodowane ciężarem jednociągłych słupów wody, przytykających do korzeni śródliścia, z drugiej przezwyciężaniem tarcia i oporów, jakie woda napotyka w swem przesuwaniu się ku liściom. Tylko wtedy, gdy ów niedobór turgoru w komórkach śródliścia jest większy, niż ujemne ciśnienie wody w naczyniach liścia, pobieranie wody z naczyń przez te komórki jest możliwe. Im skąpiej woda do naczyń liścia dopływa, tem ujemne ciśnienie hydrostatyczne,

jakie w nich panuje, staje się większe, tem większego potrzeba niedoboru turgorowego w komórkach śródliścia, aby je przewyciężyć, a gdy to ujemne ciśnienie w naczyniach stanie się większe, niż to, jakie odpowiada pełnej wartości osmotycznej komórek śródliścia, musi ono spowodować ich plazmolizę, więc i więdnienie liścia. Jest rzeczą zupełnie jasną, że im większą jest wartość osmotyczna parujących komórek śródliścia, tem więcej mogą one utracić wody bez ulegnięcia plazmolizie, tem bardziej ujemne ciśnienie będzie się podnosić w naczyniach, zaniż komórki same ulegną plazmolizie. To też takie rośliny, które ze względu na stanowisko, na jakim rosną, skąpo są w wodę zaopatrywane, odznaczają się szczególnie wysoką wartością osmotyczną żyjących komórek w liściach (np. rośliny pustynne [Fitting]). Wielkość ujemnego ciśnienia w naczyniach i cewkach liści i całej zresztą rośliny zależy w każdej chwili od wielkości niedoboru wody w komórkach śródliścia w stosunku do ich wartości osmotycznej, ten zaś zależy z natury rzeczy od szybkości parowania wody z liści i od szybkości jej dopływu do naczyń i cewek tychże. Im większe parowanie i powolniejszy dopływ wody do liści, tem większe owo ujemne ciśnienie w drogach wodnych. Ponieważ zarówno warunki parowania, jak i pobierania wody z ziemi, dopływu jej do liści, nietylko są w różnych miejscowościach, w różnym klimacie i u różnych roślin różne, ale i w jednej i tej samej miejscowości, u tego samego osobnika roślinnego ulegają daleko idącym zmianom, zależnie od pory roku i dnia, przebiegu pogody i t. p., więc rozumie się samo przez się, że także u jednej i tej samej rośliny to hydrostatyczne ciśnienie wody w jej drogach musi ulegać zmianom, idącym bardzo daleko. Te stosunki są dawno i dobrze znane u roślin zielnych w granicach pozytywnego ciśnienia mniejszego i większego od jednej atmosfery. Liczne w tym względzie doświadczenia wykonał Höhnel¹⁾, wykazując, jak rtęć wnika do naczyń, gdy gałązkę po gorącym dniu nachylimy i utniemy pod rtęcią; w tym fakcie mamy dowód, że panowało w naczyniach ciśnienie mniejsze od 1-ej atmosfery. Nad ranem, u tej samej rośliny, nic podobnego stwierdzić nie możemy, przeciwnie, w wielu przypadkach u tych samych roślin, u których wieczorem rtęć wnikała do naczyń,

¹⁾ Höhnel, »Beiträge zur Kenntniss der Luft- und Saftbewegung in der Pflanze«. Jahrb. f. wiss. Bot. T. 12, 1879.

nad ranem woda wyciskana była w postaci kropelek z zakończeń nerwowych, co dowodzi wyraźnie, że wtedy panowało tu ciśnienie większe od atmosferycznego. Za czasów doświadczeń Höhnela była mowa o ciśnieniu ujemnem tylko w znaczeniu ciśnienia mniejszego od atmosferycznego; ciśnienia ujemnego w dzisiejszem zrozumieniu, t. j. ciśnienia, polegającego na rozciąganiu wody przez odciąganie jej z naczyń, w których woda nie zostawała już pod żadnem ciśnieniem pozytywnem, wówczas jeszcze nie znano. Skoro dziś wiemy, że takie prawdziwie ujemne ciśnienie w elementach, stanowiących drogi wodne, istnieć może i bywa doniosłym czynnikiem w podnoszeniu się wody, to byłoby rzeczą bardzo ważną móc oznaczyć zmiany jego wielkości u tej samej rośliny, znajdującej się w rozmaitych warunkach parowania i pobierania wody. Oznaczenie potetometryczne wielkości tego ujemnego ciśnienia w chwili, kiedy roślina zaczyna więdnąć, nawet gdyby nie podlegało żadnym metodycznym wątpliwościom, wskazywałoby mogło tylko maximum, do jakiego to ciśnienie dojść może, ale ujemne ciśnienie w drogach wodnych, w czasie kiedy roślina jest zupełnie jędrna, jest od tego maksymalnego niezawodnie o wiele mniejsze. Szczególniej ciekawem byłoby wiedzieć, jakby się ułożyło ciśnienie hydrostatyczne w naczyniach u szczytu wysokich drzew, w chwili zupełnego zahamowania ich transpiracji. Gdyby istotnie, jak chcą krańcowi zwolennicy teorii kohezynnej, wstępowanie soków odbywało się wyłącznie pod wpływem ssania transpiracyjnego i kohezji cząstek wody, to zdawałoby się, że w razie zahamowania transpiracji ruch wody trwałby powinien tylko tak długo, dopóki niedobór turgoru w komórkach liści, przytykających do naczyń, nie zrównałby się z ciężarem jednociągłego słupa wody, przytykającego do tych komórek, a więc i wtedy musiałby w komórkach panować dość znaczny niedobór turgoru w stosunku do wartości osmotycznej. Czy tak jest istotnie, jest więcej niż wątpliwe, nawet nieprawdopodobne; u wielu roślin zielnych wiemy napewno, że tak nie jest, że przeciwnie ciśnienie negatywne przechodzi w pozytywne i powoduje wyciskanie płynącej wody. U drzew naszych takie pozytywne ciśnienie w elementach dróg wodnych panuje na wiosnę przed rozwinięciem się liści, wywołując znane objawy płaczu, więc też niema żadnego dobrego powodu do tego, aby ruch wody w czasie parowania kłaść wyłącznie na karb transpiracyjnego ssania i kohezji, a negować czynny współ-

udział tych sił, które wywołują parcie korzeniowe, bo dla czegożby działanie tych sił miało być zatrzymane wtedy, gdy drzewo jest pokryte liśćmi i paruje. Zresztą, gdybyśmy pod tym względem mieli jakiegokolwiek wątpliwości, to musiałyby one zniknąć wobec obserwacji płaczu u drzew pierwotnych lasów w chwili, gdy są one w pełni bujnie ulistnione. Wielka wilgotność powietrza, przechodząca nieraz znacznie 90% całkowitego nasycenia, powoduje, że parowanie roślinności, nie wyłączając drzew, jest tu nader słabe, a w naczyniach ich panuje znaczne ciśnienie dodatnie, powodujące wypacanie liśćmi wody płynnej, które tu znacznie przenosi ilość wody wyparowanej. Szczególniej ciekawe są tu pomiary manometryczne Fabera¹⁾, dokonane na różnych drzewach w Tjibodas na Jawie niedaleko Buitenzorgu, które wykazywały na manometrach osadzonych w wysokości 1 metra od ziemi, u drzew w pełni ulistnionych, ciśnienie pozytywne nieraz bardzo znaczne, bo dochodzące np. u *Machilus nimosia* do 5.8 atmosfer, u *Mangletia glauca* do 6.8 atm. u *Ficus variegata* do 5-u atm. i t. p. Podczas nocy dochodzi nieraz do tak obfitego wydzielania kropel wody z liści, że możnaby przypuszczać, że to deszcz pada. Te same drzewa w razie dłuższej słonecznej pogody mają wykazywać w swych drogach wodnych wyraźne ssanie. Skoro i u naszych roślin spotykamy się z podobnymi objawami dodatniego lub ujemnego ciśnienia w elementach dróg wodnych tej samej rośliny, zależnie od pory dnia i roku i przebiegu pogody, to niema żadnego dobrego powodu do tego, aby czynnemu działaniu korzenia odmawiać wszelkiego i nawet ważnego udziału w podtrzymywaniu pobierania i ruchu wody, choćby w czasie najsilniejszej transpiracji. Ssanie transpiracyjne wzmacnia tylko działanie tych sił w korzeniu, które bez udziału ssania prowadzą do wytworzenia mniejszego lub większego parcia korzeniowego, czasem nie dochodzącego nawet do przewyższenia ciśnienia atmosferycznego, ale ssanie, samo przez się, nie jest wyłącznym czynnikiem pobierania wody, choćby podczas najenergiczniejszego parowania. Spółdział żyjących komórek korzenia w pobieraniu i ruchu wody nie może podlegać żadnej wątpliwości. Chodziło tylko jeszcze o to, czy obok żyjących komórek korzeni mają także w podtrzymywaniu ruchu wody

¹⁾ Faber, »Physiologische Fragmente aus einem tropischen Urwald«. Jahrb. f. wiss. Bot. Tom 56, 1915. S. 199—220.

udział komórki żyjące, rozłożone wśród całych dróg wodnych w łądych na przestrzeni między korzeniami i liśćmi, czy też cały ten ruch odbywa się wyłącznie pod wpływem transpiracyjnego ssania i tych sił, które wywołują parcie korzeniowe.

10. Pomiaru manometryczne ciśnienia * w drogach wodnych.

W ustępie 5 pod tyt. »Współdział żyjących komórek«, omawialiśmy różne dane, przemawiające za tem, że te same czynniki, które wywołują parcie korzeniowe, działają także i w całym pniu drzewnym, że mianowicie czynne tu są prawdopodobnie komórki miękiszu drzewnego i promieni rdzeniowych. W rozpatrywaniu tej sprawy doszliśmy do zapatrywania, że nie mamy stanowczych dowodów na to, że trwale zaopatrywanie korony liściowej w dostateczną ilość wody jest niemożliwe bez współdziałania tych żyjących komórek na przebiegu pnia, ale także i odwrotnie niema dowodu, aby współdziałanie tych komórek w ruchu wody było wykluczone, albo choćby tylko zbędne. Rozpatrywania nasze udowodniły wprawdzie poniekąd, że ssanie transpiracyjne może być dość wielkie, aby mogło doprowadzić wodę, pobraną przez korzenie, do szczytów drzew, ale nie dowiodły bynajmniej, że w rzeczywistości ono samo łącznie z działaniem korzeni to czyni, a żyjące komórki, rozsiane w pniu wzdłuż dróg wodnych, nie biorą w tym ruchu wody żadnego udziału.

Jeżeliby ruch wody podczas transpiracji odbywał się wyłącznie pod wpływem transpiracyjnego ssania, to w kierunku od dołu do góry powinno ono być coraz większe. Wielkość tego ssania w różnych wysokościach pnia drzew próbowano niejednokrotnie oznaczać przez zakładanie w różnych wysokościach drzewa manometrów. Oczekiwać było można, że przewyżka wysokości rtęci w ramieniu, zwróconem ku drzewu, powinna być tem większa, im wyżej manometr jest założony. Tymczasem takiej prawidłowości nie znajdowano. Gdy założono na tem samym drzewie szereg manometrów w różnych wysokościach, okazywało się, że stan ich niewiele między sobą się różnił i do tego zdarzało się, że raz wyżej, drugi raz niżej leżący manometr większe wykazywał ssanie. Naturalnie, że zwolennicy teorii kohezyjnej mogli się powoływać i istotnie powoływali się na to, że takie pomiary manometryczne nie są

i nie mogą być pomiarami siły ssania w niektórych naczyniach i cewkach dróg wodnych, bo podczas zakładania manometru te naczynia zostają otwarte i wewnątrz ich wprowadzone w zetknięcie z ciśnieniem atmosferycznym, jednakże mimo to oczekiwaiby należało, że tam, gdzie ujemne ciśnienie wody w drogach wodnych jest większe, przecież odbije się to na silniejszym wciąganiu wody w manometrach. Jednakże przyznać trzeba, że pewne w tym kierunku wnioski wyprowadzać trudno.

Obserwacje nad stanem manometrów, umocowanych w różnych wysokościach drzewa, zyskały większe znaczenie dla teorii ruchu wody dopiero przez doświadczenie Reindersa¹⁾. Ten autor umocowywał na pieńkach ściętych bocznych gałęzi u jarzębia (*Sorbus latifolia*) szereg manometrów ponad sobą i przez kilka dni obserwował ich stan, nie znajdując w nim żadnej prawidłowości: wszystkie manometry okazywały ssanie, ale niezależne od ich położenia. Skoro potem zabito gałąź główną zapomocą pary na całej długości, na której były umocowane manometry, od razu wystąpiła ta prawidłowość, że im manometr znajdował się wyżej, tem większe okazywał ssanie. Z tego autor wnosił, że w drewnie zabitem podnoszenie się wody zależy od transpiracyjnego ssania, w żywym także od działania żyjących komórek.

W innym doświadczeniu z bzem tureckim, gdzie umocowano ponad sobą 5 manometrów, a po dłuższem obserwowaniu ich stanu zabito pień tylko tam, gdzie był umocowany drugi zrzędu manometr, jedynie tenże okazywał znaczne większe ssanie, stan innych nie przedstawiał żadnej prawidłowości. Szczególniej ciekawe jest doświadczenie na dereniu, gdzie założono dwa manometry na pieńkach dwóch bocznych gałęzi, oddalonych od siebie o 66 cm. Miejsca, na których te pieńki z manometrami były osadzone, zabito parą na przestrzeni 10—12 cm, pozostawiając część pnia między nimi przy życiu. Na razie manometry zachowywały się tak, jakby wszystko było zabite, t. j. wykazywały ssanie w górnym manometrze znacznie wyższe niż w dolnym, ale po 5 dniach to zachowanie się zmieniło i manometry tak, jak na żyjącem drewnie, nie wykazywały żadnej prawidłowości. Autor przypuszcza, że część

¹⁾ Reinders, »Sap-raising forces in living wood«. Proceedings Kon. Akad. v. Wetenschappen, Saturday January 29, 1911.

żyjąca pnia między manometrami ucierpiała także podczas zabijania części, na których manometry były osadzone i to było powodem, że manometry zachowywały się początkowo tak, jak na drzewie zabitem, potem powróciła ona do normalnego żyjącego stanu i brała już udział w podtrzymywaniu ruchu wody.

Te doświadczenia zdają się wykazywać, że jednak w drzewie żywym ruch wody przebiega inaczej niż w martwym, co by potwierdzało przypuszczenie, że żyjące komórki na przebiegu dróg wodnych biorą udział w dostarczaniu energii do podtrzymywania ruchu wody.

Wszystkie te rozważania razem wzięte wykazują, że ruch wody w roślinie od korzeni do liści jest zjawiskiem bardzo skomplikowanym, w którym spóldziałają różne czynniki i nie sądzę, aby spór między teorią witalistyczną, a teorjami czysto fizycznymi, musiał być koniecznie rozstrzygnięty na korzyść wyłącznie jednej lub drugiej strony i raczej wszystko za tem przemawia, że każdy z sześciu punktów, któreśmy kolejno rozważali, jako możliwe czynniki ruchu wody, ma swoje znaczenie dla przebiegu tego procesu.

11. Źródło energii czynnej w ruchu wody.

Jeżeli idzie o źródło energii, pośredniczącej w ruchu wody, to nie może ulegać wątpliwości, że największa jej część pochodzi z ciepła, zużywającego się do parowania. Renner oblicza, że $\frac{1}{1000}$ tej energii może już wystarczać do podniesienia wody z ziemi do poziomu, na którym się parowanie odbywa, ale z drugiej strony wszystko, cośmy mówili o parciu korzeniowym, o dodatnim ciśnieniu, występującem nieraz na przebiegu dróg wodnych, o wypacaniu kropel wody, nie pozwala wątpić, że energia, dostarczana przez czynności żyjących komórek, ma także udział w podtrzymywaniu ruchu wody. Że w mechanice ruchu wody dużo jest jeszcze rzeczy niejasnych, tego dowodzą choćby te daleko idące przeciwieństwa w różnych teorjach, stawianych dla wyjaśnienia tego ruchu. Naszkicowany wyżej bieg myśli badawczej u różnych autorów wskazuje, że za każdym zdobyciem nowych faktów zmieniały się nieraz zgruntu zapatrywania na mechanizm biegu procesu, bo każdy autor starał się wyzyskać jak najobszerniej poczynione przez siebie spostrzeżenia i z ich punktu widzenia objaśniać, o ile

można, cały proces. Jest to następstwem naturalnej dążności umysłu ludzkiego do uogólniania, bez której nie byłoby prawdziwej nauki, lecz tylko zbiór luźnych, niepowiązanych z sobą spostrzeżeń. Ta dążność do uogólnienia jest zupełnie uzasadniona i słuszna, ale staje się też ona jednym z najpoważniejszych źródeł błędów, w jakie popada nauka.

Wszystkie teorie ruchu wody, jakie dotąd postawiono, w takie błędy popadały w mniejszym lub większym stopniu. Tylko bardzo staranny, ale w praktyce niełatwy do przeprowadzenia krytycyzm może zmniejszyć niebezpieczeństwo popadania w takich uogólnieniach w błędy nieraz daleko idące.

12. Mechanizm wypełniania się rezerwoarów wodnych w liściach.

Na zakończenie tego rozdziału o mechanizmie ruchu wody w roślinach powiemy jeszcze słówko o tem, jak sobie możemy pomyśleć sposób wypełniania się wodą tak zwanych tkanek wodnych, które czy to jako tkanka podskórkowa, czy jako wielowarstwowa skórka, czy też nawet jako zwykła skórka, gromadzi w sobie pewien zapas wody, aby ją potem w razie niedostatku odstępować komórkom asymilującym śródliścia. Ponieważ te tkanki nie stykają się bezpośrednio z naczyniami, doprowadzającymi wodę, ale tylko z zielonemi komórkami śródliścia, przeto woda, która je wypełnia, mogła się do nich dostać tylko przez te zielone komórki. Można by się dopatrywać pewnej trudności doprowadzania tym komórkom wody przez zielone komórki w tem, że ich wartość osmotyczna jest zawsze niższą od wartości osmotycznej komórek zielonych. Ale należy pamiętać o tem, że nawet pobieranie wody czystej przez komórki, choćby o wysokiej wartości osmotycznej, o tyle tylko może się odbywać, o ile ta wartość nie jest w całości nasyciona. Odwrotnie, nawet komórki o bardzo małej wartości osmotycznej mogą odciągać wodę komórkom o wartości wysokiej, jeżeli niedobór turgoru w stosunku do wartości osmotycznej jest u pierwszych większy niż u drugich. Jeżeli np. wartość osmotyczna komórek śródliścia odpowiada 12-u atmosferom, wartość osmotyczna komórek tkanki wodnej lub skórki tylko 4-em atmosferom, to gdy turgor komórek zielonych wynosi 11 atmosfer, a więc jest tylko o jedną atmosferę mniejszy niż przy zupełnem nasyceniu, a turgor komórek wodnych lub skór-

ki 2 atmosfery, t. j. brakuje mu do nasycenia wartości osmotycznej 2 atmosfer, to te komórki tkanki wodnej będą odciągały komórkom zielonym wodę tak długo, dopóki niedobór turgorowy w stosunku do wartości osmotycznej u obu kategorii komórek nie będzie jednakowy¹⁾. Atoli do tego, żeby się komórki skórki, czy warstwy wodnej, mogły należycie wypełnić wodą, doprowadzaną przez naczynia i zielone komórki liści, trzeba koniecznie, aby niedobór turgoru w zielonych komórkach był znacznie niższy, niż wartość osmotyczna komórek, mających się wodą wypełnić. A ponieważ niedobór turgoru w komórkach śródliścia jest w ścisłym związku z ujemnem ciśnieniem w naczyniach liści, to wynika z tego, że komórki skórki i tkanek wodnych nie mogłyby się wypełnić wodą, gdyby w naczyniach liści panowało stale znaczniejsze ujemne ciśnienie, co znowu sprzeciwia się, przynajmniej w odniesieniu do roślin z tkankami wodnymi, pojmowaniu ruchu wody jako wyłącznego skutku transpiracyjnego ssania i kohezji (spoiwości) cząsteczek wody. Rola rezerwoarów wodnych w liściach przedstawia się zupełnie zrozumiale wtedy, jeżeli zgodnie z całym szeregiem faktów przyjmujemy, że w naczyniach, doprowadzających wodę do liści, ciśnienie hydrostatyczne ulega daleko idącym zmianom i zależnie od stosunku parowania do pobierania wody przez korzenie, bywa ujemne, albo dodatnie. Gdy transpiracja jest słaba, a korzenie nie przestają energicznie wody pobierać, ujemne ciśnienie w elementach dróg wodnych stale się zmniejsza, dochodzi do 0 i przechodzi nawet w dodatnie. Teraz komórki zielone śródliścia, stykające się z temi elementami dróg wodnych, pobierają z nich wodę, dochodzą do peł-

¹⁾ »Niedobór turgoru«, jak już zaznaczono w przypisku na str. 118, określa się obecnie mianem »siły ssącej« S , którą oblicza się z wzoru $S = W - P$, gdzie różnic $W - P$ stanowi właśnie ów »niedobór turgorowy«.

Przyjmując dane autora dla komórek śródliścia: wartość osmotyczną $W_1 = 12$ atm., ciśnienie turgorowe $P_1 = 11$ atm., zaś dla komórek tkanki wodnej: $W_2 = 4$ atm. i $P_2 = 2$ atm., otrzymamy z powyższego wzoru:

$$\text{Siła ssąca komórek śródliścia: } S_1 = 12 - 11 = 1 \text{ atm.}$$

$$\text{Siła ssąca komórek tkanki wodnej: } S_2 = 4 - 2 = 2 \text{ atm.}$$

Ponieważ siła ssąca komórek tkanki wodnej (S_2) jest większa, niż siła ssąca komórek śródliścia (S_1), więc tkanka wodna musi odciągać wodę z komórek śródliścia, mimo, że ma znacznie niższą wartość osmotyczną.

Nazwa »siła ssąca« wyraża bardziej poglądowo znaczenie tej niezmiernie ważnej wielkości, aniżeli »niedobór turgoru« i obecnie powszechnie jest przyjęta (M. K.).

nego turgoru, odpowiadającego ich całkowitej wartości osmotycznej. O ile więc komórki tkanki wodnej i skórki nie są w pełnym turgorze, muszą z natury rzeczy odciągać wodę komórkom śródliścia, jako zupełnie wodą nasyconym i stopniowo także dochodzić do pełni turgoru, odpowiadającego ich wartości osmotycznej. Gdy teraz, z nastaniem pory przyjaźniejszej dla parowania, komórki zielonego śródliścia tracą wodę obficie i wywołują znowu ujemne ciśnienie w naczyniach liściowych, to mogą obok tego znowu odciągać wodę z tkanek wodnych, a wobec daleko większej wartości osmotycznej zielonych komórek może to nawet doprowadzić do chwilowej plazmolizy komórek tkanki wodnej, trwającej do czasu, kiedy wobec zmniejszonego parowania niedobór turgorowy komórek śródliścia stanie się mniejszy, niż wartość osmotyczna komórek tkanki wodnej.

Omówiliśmy bardziej szczegółowo badania mechanizmu pobierania i krążenia w roślinie gazów i wody, chcąc dać przykłady toku myśli, jaki przewodniczy badaniom nad wyjaśnieniem czynności fizjologicznych na podstawie praw fizycznych. Przykłady te są tem bardziej pouczające, że wykazują nam, jak fizjolog zmuszony jest nieraz do wykonywania doświadczeń czysto fizycznych już to dlatego, aby przez naśladowanie tego, co przypuszcza, że się dzieje w roślinie, kontrolować słuszność swoich koncepcyj i hipotez, już nawet dlatego, że niekiedy nie znajduje w literaturze i podręcznikach fizycznych dość jasnego przedstawienia pewnych zjawisk fizycznych, z którymi się spotyka w badaniu życia rośliny.

Spotkaliśmy się z takimi właśnie doświadczeniami fizycznymi w badaniach Browna i Escomba nad mechanizmem pobierania gazów, a zwłaszcza bezwodnika węglowego przez liście roślin, w doświadczeniach Ohno nad krążeniem gazów pod wpływem parowania liści u lotosu, a nadewszystko w epokowych doświadczeniach Pfeffera nad ciśnieniem osmotycznym, które on podjął dla objaśnienia turgoru komórek roślinnych, a które, jak wiadomo, stały się podwaliną teorii roztworów, a poniekąd i całej chemji fizycznej. Przypominamy dalej doświadczenia Askenazego, Hulleta, Dixona, Steinbricka nad kohezją między cząsteczkami wody, konstruowanie 3-metrowego lewaru rtęciowego przez Steinbrincka, wykazanie przez tegoż, że ujemne ciśnienie w rurach zdolne jest samo przez się, niezależnie

od ciśnienia zewnętrznego, wywołać zakłębienie rury. Wszystko to były doświadczenia czysto fizyczne, wykonane na martwych materiałach, celem zużytkowania obserwowanych w nich zjawisk fizycznych do wytłumaczenia ruchu wody w roślinie, ale doświadczenia, które obok tego miały niemałe znaczenie i dla rozwoju samej fizyki.

Tak więc fizjolog, nietylko spożytkowuje dla objaśnienia zjawisk życia roślinnego spostrzeżenia i rozmaite pomiary, wykonane przez zawodowych fizyków, ale nieraz sam wkracza w zakres pracy, należącej do fizyków, dla uzupełnienia wiadomości o takich zjawiskach fizycznych, które fizjologa szczególnie interesują, a które przez zawodowych fizyków były poniekąd zaniedbywane.

Byłoby rzeczą bardzo pociągającą w ten sposób, jak przedstawiliśmy tok badań nad sprawą pobierania i krążenia gazów i wody, pokusić się także o przedstawienie badań nad mechanizmem wszystkich innych, przynajmniej najważniejszych procesów fizjologicznych, ale byłoby to poniekąd to samo, co napisać cały obszerny podręcznik fizjologii roślin, opracowany tylko w sposób nieco odmienny od dotychczas praktykowanego. Może ułożenie takiego podręcznika nie byłoby bez korzyści, ale mnie już na to ani sił, ani życia nie starczy. Kontentując się zatem bardziej wyczerpującym przedstawieniem badań nad dwoma wyżej przedstawionymi zjawiskami, ograniczę się w dalszym ciągu, co do innych procesów, jedynie do krótkiego naszkicowania zadań, jakie się co do nich nastroczą.

ROZDZIAŁ III.

MECHANIZM POBIERANIA SOLI MINERALNYCH I INNYCH CIAŁ Z ROZTWORÓW I GLEBY.

Mówiliśmy dużo o współprzepuszczalnych własnościach protoplazmy komórki roślinnej. Gdyby ta współprzepuszczalność była bezwzględna, to do wnętrza komórki mogłaby się dostawać sama tylko woda, już więc sam fakt pobierania z gleby całego szeregu składników pokarmowych dowodzi, że ta współprzepuszczalność jest tylko względna, że rozmaite ciała mogą się nie tylko przez błony, ale i przez protoplazmę dostawać do wnętrza komórki. I oto następuje zaraz szereg ważnych pytań dla mechanizmu żywienia się rośliny, jako to:

1) jakie ciała i w jakim stopniu mogą się przez protoplazmę przedostawać, a jakie nie?

2) które części protoplazmy najbardziej opierają się przenikaniu przez nie ciał rozpuszczonych w wodzie?

3) z jakimi własnościami i z jaką budową protoplazmy jest jej przepuszczalność lub nieprzepuszczalność dla tych ciał związana?

4) jakie są czynniki, regulujące ilość danych składników, pobieranych przez komórkę i w jaki sposób jest możliwe, że wewnątrz komórki gromadzi się nieraz ilość pewnego składnika procentowo wiele razy przewyższająca jego zawartość w ośrodku, z którego ten składnik jest przez roślinę czerpany?

5) o ile i w jaki sposób komórka sama może współdziałać w przeprowadzaniu pewnego ciała, które się w jej otoczeniu znajduje w stanie nieodpowiednim dla jego pobierania, w taki stan, w którym go pobierać może i jaki jest wogóle mechanizm pobierania ciał trudno w wodzie rozpuszczalnych?

Każde z tych pytań wymaga osobnej odpowiedzi, a nieraz dłuższego szeregu badań, potrzebnych dla jej uzyskania i mo-

żemy odrazu powiedzieć, że odpowiedzi, jakie na te pytania dzisiejsza nauka dać może, są jeszcze bardzo niewystarczające.

Nie wdając się w daleko idące szczegóły, dotyczące tych żywo dzisiaj dyskutowanych pytań, naszkicujemy tylko niektóre drogi, jakimi się w tych badaniach posługujemy i najogólniejsze rezultaty, do których one zdają się prowadzić.

1. Stopień przepuszczalności protoplazmy dla różnych ciał. Sposoby badania¹⁾.

a) Metody plazmolityczne. Najpewniejsza, i przynajmniej w pewnych przypadkach do ilościowych badań nad przepuszczalnością nadająca się, drogą jest posiłkowanie się obserwowaniem plazmolizy i deplazmolizy komórki.

Wiemy, że plazmoliza polega na współprzepuszczalności protoplazmy dla roztworów ciał, które ją wywołują. O ile protoplazma komórki jest dla roztworu pewnego ciała dokładnie współprzepuszczalna, to z chwilą, gdy wartość osmotyczna tego roztworu stanie się większą, niż wartość osmotyczna komórki w nim pogrążonej, rozpoczyna się jej plazmoliza. Trwa ona czas nieograniczony, natomiast jeżeli ciało rozpuszczone przenika przez protoplazmę, choćby w bardzo małym stopniu, to plazmoliza tej protoplazmy wprawdzie następuje także, ale jeżeli nie była zbyt silna, to po pewnym czasie wyrównywa się i komórka, leżąc w tym samym roztworze, odzyskuje swój turgor.

Dzieje się to tem szybciej, im słabszą była plazmoliza i im większa jest przenikliwość protoplazmy dla tego ciała. To odzyskiwanie turgoru przez komórkę nazywamy deplazmolizą. Szybkość tej deplazmolizy może nam służyć za miarę przepuszczalności protoplazmy dla danego ciała.

Tą miarą posługiwali się *Lepeszkina* i *Tröndle*.

Metoda Lepeszkina i Tröndlega. Wnikanie ciała plazmolizującego do wnętrza komórki, które po plazmolizie wywołuje deplazmolizę, rozpoczyna się nie wtedy dopiero, kiedy komórka uległa plazmolizie, ale już od samego początku, gdy została

¹⁾ Zagadnieniom, omawianym w ustępie niniejszym i następnym, poświęcona jest doskonała monografia *Stilesa*, gdzie przedstawione są także wyniki licznych nowszych badań. *W. Stiles, Permeability, London 1924.*

wprowadzona w zetknięcie się z jego roztworem. Wskutek tego wnikania potrzebna jest do wywołania plazmolizy przez takie ciało, które do komórki wnika, większa koncentracja molarna roztworu, aniżeli wtedy, gdy ciało plazmolizujące komórkę wcale do niej nie wnika, t. j. gdy protoplazma względem jego roztworu jest doskonale wóółprzepuszczalna.

Istotna wartość osmotyczna komórki jest ta, którą znajdujemy, używając do jej splazmolizowania roztworu takiego ciała, które wcale przez protoplazmę nie przechodzi. Takim jest np., przynajmniej w wielu przypadkach, cukier trzcinowy. Oznaczmy tę wartość literą P . Jak wiemy to $P = 0.082 n T$, gdzie n w tym przypadku oznacza stężenie molarne cukru. Teoretycznie powinno się otrzymać taką samą wartość dla P przy użyciu do plazmolizy roztworu jakiegobądź nieelektrolitu, zawierającego w litrze n jego cząsteczek, albo elektrolitu, zawierającego ni cząsteczek i jonów. Tak też jest istotnie, o ile mamy do czynienia z ciałami, dla których protoplazma jest bodaj przybliżenie nieprzenikliwa. Jeżeli jednak podczas doświadczenia plazmolitycznego, część tego ciała przeniknie przez protoplazmę do komórki, to powiększy ona jej wartość osmotyczną tak, że znaleziona zapomocą tego roztworu wartość osmotyczna komórki P_1 będzie większa od P . Różnica $P_1 - P$, t. j. różnica między wartością osmotyczną, znalezioną zapomocą roztworu danego ciała o koncentracji molarnej ni , a wartością teoretycznie dla tej koncentracji obliczoną, czyli, co na jedno wyjdzie, znalezioną zapomocą roztworu cukru o koncentracji n , będzie miarą przenikliwości protoplazmy dla tego ciała w danych warunkach. Można zatem przyjąć, że $P_1 - P = \mu P_1$ gdzie μ możemy przyjąć za współczynnik przenikliwości protoplazmy danego ciała. W przypadku roztworów, względem których protoplazma jest doskonale wóółprzepuszczalna, $\mu = 0$ więc $P_1 = P$. W innych przypadkach, gdy pewne ciało może przez protoplazmę przechodzić, $\mu > 0$, a mianowicie $\mu = \frac{P' - P}{P'} =$
 $= 1 - \frac{P}{P'} = 1 - \frac{0.082 n T}{0.082 n' i T} = 1 - \frac{n}{n' i}$. Tröndle¹⁾ znalazł, że komórki śródliscia bukszpanu zaczynały się plazmolizować pod wpływem roztworu cukru trzcinowego o koncentracji

¹⁾ Tröndle, »Der Einfluss des Lichtes auf die Permeabilität des Protoplasmas« Jahrb. f. wiss. Bot. T. 48, 1910.

$n = 1.200$, zaś pod wpływem roztworu soli kuchennej o koncentracji $n = 0.837$; przyjmując współczynnik dysocjacji dla tego ostatniego roztworu $i = 1.70$ znajdziemy współczynnik przepuszczalności dla soli kuchennej w warunkach doświadczenia:

$$\mu = 1 - \frac{1.20}{0.838 \times 1.90} = 1 - \frac{1.20}{1.425} = 1 - 0.842 = 0.158$$

Ciekawą jest rzeczą, że przepuszczalność protoplazmy tych samych komórek dla tego samego ciała nie jest wcale jednakowa, ale może ulegać daleko idącym zmianom w zależności od zewnętrznych warunków, np. w doświadczeniach Tröndlego przepuszczalność protoplazmy komórek śródliscia dla soli kuchennej zależała w wysokiej mierze od oświetlenia. Na świetle ta przepuszczalność, t. j. wartość dla μ wzrastała, w ciemności znowu malała. Te zmiany ulegały daleko idącym wahaniom zależnie od natężenia światła, czasu jego działania, naświetlenia poprzedniego lub zupełnej ciemności i t. p. Tröndle badał szczegółowo te zmiany, a z osiągniętych rezultatów wyprowadził bardzo interesujące wnioski, dotyczące zjawisk heljotropicznych.

W badaniach przepuszczalności protoplazmy powyżej wskazaną metodą plazmolityczną dla różnych ciał nie jest rzeczą obojętną po jakim czasie, od chwili włożenia skrawków do roztworu, badamy je na wywołaną przez te roztwory plazmolizę, bo jasną jest rzeczą, że im dłużej skrawki leżą w danym roztworze, tem cząstki jego, mogące przenikać przez protoplazmę, w większej ilości wnikną do komórek, tem zatem owo P_1 względnie $n_1 i$ znajdziemy większe.

Chcąc mieć liczby ze sobą porównywalne, trzeba zawsze trzymać skrawki w roztworze przez jednakowy przeciąg czasu; Tröndle wybrał, zresztą zupełnie dowolnie, 25 minut. Jeżeli skrawek trzymamy w roztworze znacznie dłużej, to często się zdarza, że plazmoliza, która po 25 minutach występowała wyraźnie, potem nie znajdujemy wcale, bo pod wpływem wniknięcia do komórki wielkiej ilości cząstek tego ciała wartość osmotyczna komórek tak wzrosła, że pod jej wpływem komórka odzyskała turgor w całości. Tak się rzecz ma między innymi np. z roztworem soli kuchennej, chlorku potasowego, saletry i t. p. Tak samo z roztworem jakiegobądź innego ciała, mogącego wnikać przez protoplazmę. Do takich należą, obok

wyżej wymienionych, roztwór mocznika lub gliceryny, w których pierwotnie powstająca plazmoliza znika jeszcze prędzej, niż w roztworze soli kuchennej lub saletry; do takich także należą glikole, amidy, lub kwasy tłuszczowe, w których powstająca plazmoliza znika jeszcze szybciej niż w roztworze mocznika lub gliceryny, a wreszcie jest cały szereg takich ciał, które, w jakimkolwiek stężeniu byśmy je użyli, nie wywołują wcale plazmolizy. Do takich należą jednowodorotlenowe alkohole, np. zwykły alkohol etylowy, a także aldehyd, alkaloidy i t. p. Te ciała są osmotycznie także czynne, tak samo jak plazmolizujące, ale plazmolizy nie wywołują dlatego, że z wszelką łatwością przechodzą przez protoplazmę.

Metoda Fittinga. Zamiast obliczać współczynnik przepuszczalności w sposób wyżej omawiany, używany przez Lepeszkina i Tröndlego, można oznaczać szybkość wnikania plazmolizującego ciała przez protoplazmę prosto przez obserwowanie, po jakim czasie od włożenia skrawka do roztworu plazmolizującego pojawiają się, a po jakim znikają, pierwsze ślady plazmolizy. Tę metodę do wielkiej dokładności doprowadził Fitting¹⁾, używając, za przykładem de Vriesa za materiał do badań skórkę dolnej strony liści dobownika (*Tradescantia discolor*). Przyrządził on szeregi roztworów ciała badanego, których stężenia różniły się między sobą tylko o 0.0025 cząsteczek gramowych i wkładał do nich tabliczkowate kawałki skrawków skórki wyżej wspomnianej rośliny. Po 15 minutach badał, w których płynach i w jakiej stosunkowej ilości komórki uległy plazmolizie. Oznaczał więc przez *pl* płyny, w których wszystkie komórki skrawka uległy plazmolizie, przez ∞ te, których przeważna większość komórek była splazmolizowana, przez $\frac{3}{4}$ te, w których $\frac{3}{4}$ komórek, przez $\frac{1}{2}$, gdzie połowa, przez *v*, gdzie niektóre tylko nieliczne, przez *gv*, gdzie bardzo nieliczne komórki okazywały plazmolizę. Po tem pierwszym badaniu Fitting ponawiał badanie plazmolizy po dalszych 15 minutach, potem po dalszej półgodzinie, po godzinie, znów po godzinie, po 2 godzinach i t. d. obserwując, jak postępuje zmniejszanie się liczby splazmolizowanych komórek przy leżeniu skrawków w roztworach różnych stężeń. Z takich obserwacyj nad wnikaniem saletry okazywało się, że już przy drugim badaniu,

¹⁾ Fitting, »Untersuchungen über die Aufnahme von Salzen in die lebende Zelle«, Jahrb. f. wiss. Botaniik. T. 56. 1915. S. 1—84.

t. j. po $\frac{1}{2}$ godzinie od włożenia skrawków do roztworu saletry, w płynach zwłaszcza mniej stężonych, następowało widoczne zmniejszenie się liczby splazmolizowanych komórek. Tak np. w jednym z doświadczeń Fittinga w płynie zawierającym 0.1 cząsteczek gramowych saletry, po 15 minutowym leżeniu uległa splazmolizowaniu połowa ogólnej liczby komórek, po dalszych 15 minutach, t. j. po półgodzinnym leżeniu w tym płynie, już tylko bardzo nieliczne komórki były splazmolizowane, a po dalszej półgodzinie już wszystkie odzyskały turgor. W temże doświadczeniu w płynie, zawierającym 0.1025 cząsteczki gramowej saletry, po upływie 15 minut było splazmolizowane $\frac{3}{4}$ wszystkich komórek, po dalszych 15 minutach tylko połowa, po dalszej półgodzinie tylko bardzo nieliczne, a po dalszej godzinie już wszystkie odzyskały turgor. Oczywiście, że to zmniejszanie się, względnie zupełne znikanie plazmolizy podczas leżenia skrawków w roztworach saletry, daje się objaśnić tylko wnikaniem jej do wnętrza komórki, które, zwiększając wartość osmotyczną tejże, przywraca stopniowo jej turgor.

Kilkugodzinna obserwacja takich skrawków, umieszczonych w roztworach saletry różnego stężenia, wykazywała, że po upływie dłuższego czasu deplazmoliza nie postępuje już z tą samą szybkością jak w pierwszej godzinie, t. j. wnikanie saletry, po dłuższem leżeniu skrawków w jej roztworze, następuje już znacznie wolniej, niż w pierwszej godzinie. To zmniejszanie się przenikliwości dla saletry, względnie innej soli, następuje wskutek działania na protoplazmę tych soli, w których skrawek leży, bo jeżeli, zamiast w ich roztworze, skrawek leży w wodzie przez taki sam przeciąg czasu, to leżenie to albo wcale nie wpływa na zmniejszenie jej przenikliwości względem soli, albo tylko minimalnie. Tak samo, mniej więcej w tym samym stopniu jak dla saletry, jest protoplazma przenikliwa dla chlorku lub bromku potasowego, prawie tak samo dla chlorku i bromku sodowego i dla azotanu sodowego, cokolwiek tylko mniej dla chlorku lub bromku litowego. Natomiast znacznie mniej przenikliwa jest dla siarczanu potasowego lub sodowego.

Dla soli wapniowych, magnezowych, barowych, a z reguły strątowych, wydaje się protoplazma być zupełnie nieprzenikliwa, bo plazmoliza przez nie wywołana nie ulega po dalszem przebywaniu skrawków w ich roztworach zmniejszeniu, czasem

tylko i to w minimalnym stopniu, zmniejsza się plazmoliza w roztworze soli strątowych. W roztworze soli barowych splazmolizowane niemi komórki, po krótkim już czasie, bo po 1—do 1½ godziny obumierają. Mimo tych obserwacji nad zachowaniem się komórek w roztworach soli ziem alkalicznych nieprzepuszczalność protoplazmy względem nich musi być tylko względną, skoro przecież obecność tych soli w komórkach roślinnych nie może ulegać wątpliwości, więc nie można też wątpić, że te sole magnezowe, czy wapniowe musiały się przez protoplazmę przedostać. Jako bezpośrednie doświadczenia, wskazujące przenikliwość soli magnezowych i wapniowych przez protoplazmę, możemy uważać nieogłoszone dotąd doświadczenia Leopolda Zaleskiego¹⁾, wykazujące analitycznie, że cały szereg roślin wydziela korzeniami w kulturach wodnych zarówno magnez jak wapń.

Także z pomocą metody plazmolitycznej, używanej przez Fittinga, można było stwierdzić, że przepuszczalność względem tego samego ciała i tej samej tkanki nie zawsze jest jednakowa, ale ulega stosownie do warunków pewnym zmianom. Wprawdzie w doświadczeniach Fittinga na skórce dobownika (*Tradescantia virginica*) nie dawał się wykazać wpływ oświetlenia, który tak wydatnie występował w doświadczeniach Tröndlego na zielonych komórkach liści bukszpanu lub lipy, ale za to Fitting obserwował wyraźnie wpływ pory roku na przepuszczalność protoplazmy. W jesieni przepuszczalność jej dla soli była daleko mniejsza niż w lecie.

*Metoda Rysselbergha*²⁾. Plazmolitycznie przepuszczalność protoplazmy dla różnych ciał można jeszcze badać w ten sposób, że się dane komórki doprowadza do pewnego stopnia plazmolizy zapomocą nieprzenikającego przez protoplazmę roztworu cukru, o stężeniu tylko co wystarczającym dla wywołania plazmolizy, a potem przenosi się skrawki do roztworów izotonicznego stężenia innych ciał, których przenikanie chcemy badać. Im łatwiej dane ciało przenika przez protoplazmę, tem prędzej następuje deplazmoliza. W ten sposób znajdował np.

1) Ogłoszone w r. 1927: L. Zaleski, »O wędrowaniu mineralnych składników pokarmowych podczas wzrostu rośliny«. Pamiętnik Państw Instytutu Nauk. Gosp. Wiejsk. w Puławach. T. VIII. 1927.

2) Van Rysselberghe, »Influence de la température sur la perméabilité du protoplasme vivant pour l'eau et les substances dissoutes«. Bulletin de l'Académie Belg. (Sciences). 1901.

Rysselberghe, że komórki skórki dobownika (*Tradescantia discolor*) splazmolizowane roztworem cukru, deplazmolizowały się w temperaturze 20°C w izotonicznych roztworach:

saletry, po 8 godzinach,
mocznika, po 2 godzinach 10 minutach,
gliceryny, po 2 godzinach.

Podług tego mocznik i gliceryna przenikają mniej więcej cztery razy prędzej przez protoplazmę niż saletra, natomiast w roztworze cukru pozostawała plazmoliza bez zmiany, co znaczy, że cukier wcale przez protoplazmę nie przenikał.

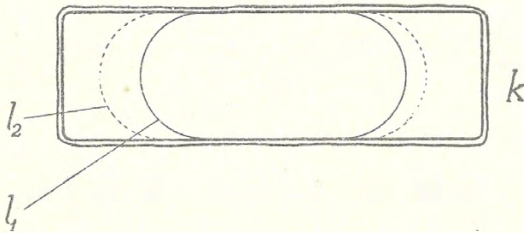
Tak samo jak wnikanie wody, tak i wnikanie ciał, w wodzie rozpuszczonych, przez protoplazmę, o ile ta jest dla nich przenikliwa, zależy w wysokiej mierze od temperatury, tak, że np. Rysselberghe znajdował, że pod wpływem tego samego roztworu w temperaturze 20°C, wnikanie następowało siedm razy szybciej niż w temperaturze 0°, a cztery razy szybciej jak w temperaturze 6°C. Z tego wynika, że doświadczenia porównawcze nad przenikaniem różnych ciał przez protoplazmę winny być przeprowadzane w jednakowej temperaturze.

Metoda Höflera. Poza wyżej przedstawionemi sposobami oznaczania z pomocą deplazmolizy wnikania ciał, będących w roztworach, przez protoplazmę do wnętrza komórki, mamy jeszcze jeden ilościowy sposób, podany niedawno przez Höflera¹⁾, o czym mówiliśmy na str. 67. Widzieliśmy tam, że ten autor, zamiast w zwykły sposób wyszukiwać stężenie roztworu, wywołującego pierwsze ślady plazmolizy, oznacza wartość osmotyczną zapomocą roztworu bardziej stężonego, o dokładnie określonej koncentracji, któryby wystarczył do wywołania całkowitego odstawania protoplazmy od błony i przybrania przez nią regularnej, zaokrągłej formy, której objętość i stosunek do pierwotnej objętości komórki mogą być dokładnie mikrometrycznie wymierzone. Wartość osmotyczną komórki u progu jej plazmolizy znajdziemy wtedy, mnożąc ten stosunek przez koncentrację cząsteczkogramową płynu, zapomocą którego wywołaliśmy plazmolizę, więc podług wzoru $O = O_p \cdot \frac{V_p}{V}$, w którym O jest szukaną wartością osmotyczną u progu plaz-

¹⁾ Höfler »Permeabilitätsbestimmung nach der plasmolitischen Methode«. Ber. d. deutsch. bot. Gesell. B. 36. J. 1918. S. 419.

molizy, O_p wartością osmotyczną roztworu, użytego do wywołania całkowitej plazmolizy, której wielkość V_p wymierzaliśmy w stosunku do objętości komórki V .

W zupełnie podobny sposób, jak wartość osmotyczną komórki u progu plazmolizy, możemy także wymierzyć nową wartość osmotyczną, jaką komórka splazmolizowana przybierze po pewnym czasie leżenia w roztworze, podczas deplazmolizy, wskutek wnikania do niej cząsteczek ciała, które wywołało plazmolizę. Następuje podczas tej deplazmolizy zwiększenie się objętości skurczonego protoplastu, które da nam miarę ilości cząsteczek gramowych, jakie między pierwszym a drugim odczytaniem wniknęły przez protoplazmę do soku komórkowego. Przypatrzmy się temu bliżej. Wyobraźmy sobie walcowatą komórkę k , której objętość, łatwo dająca się mikrometrycznie oznaczyć,



Ryc. 11. Schemat komórki, ulegającej plazmolizie.
Według Höflera.

niech będzie V . Komórkę tę włożyliśmy do roztworu saletry o koncentracji C . Po upływie pewnego czasu, np. 20 minut, stwierdziliśmy, że protoplast odstał całkowicie od błony, zaokrąglił się i przybrał regularną formę, oznaczoną ciągłą linią l_1 . W tej chwili wartość osmotyczna soku wynosi O_1 ¹⁾, stosunek jego objętości w stanie obecnym V_1 do objętości komórki pierwotnej V wynosi G_1 , zatem $O_1 = G_1 C$. Podczas leżenia w roztworze saletry cząsteczki tejsze wnikają przez protoplazmę do soku, zwiększając jego wartość osmotyczną, np. po upływie pewnego czasu z O_1 na O_2 . To powoduje oczywiście pobieranie wody i zwiększenie objętości protoplastu do granicy, oznaczonej linią kropkowaną l_2 . Stopień plazmolizy zmniejszył się teraz z G_1 na G_2 , a wartość osmotyczna zwiększyła się z O_1 na O_2 . Zwiększenie wartości osmotycznej, t. j. ilość cząsteczek gramowych saletry, jaka wnikła przez protoplazmę między pierwszym a drugim odczytaniem, wyrazi się różnicą $O_2 - O_1 = (G_2 - G_1)C$. Po pewnym czasie można zro-

1) O_1 odnosi się do soku komórki, znajdującej się w stanie granicznej plazmolizy, t. j. wtedy, gdy sok wypełniał jeszcze całą objętość V komórki.

bić trzecie odczytanie, później czwarte i t. d. i za każdym razem z różnic $O_3 - O_2 = (G_3 - G_2)C$, $O_4 - O_3 = (G_4 - G_3)C$ i t. d. oznaczyć z postępującej deplazmolizy ilość wnikażącej między jednym a drugim odczytaniem saletry. Dzieląc za każdym razem różnicę między dwoma następującymi po sobie odczytaniami przez czas między nimi, możemy bliżej oznaczyć szybkość i bieg wnikania cząsteczek przez protoplazmę.

Zapomocą powyżej opisanej metody przeprowadził Höfler¹⁾ szczegółowe badania nad przepuszczalnością protoplazmy komórek łodygi *Tradescantia elongata* dla saletry, i rzecz godna uwagi, że przeciętne liczby, zresztą dość silnie się wahażące, wykazywały wysoką zgodność z temi, jakie znajdował Fitting swoją metodą obserwowania plazmolizy granicznej na liściach *Tradescantia discolor*.

b) Metody chemiczne. Jeżeli naturalny jakiś barwik w komórce zmienia zabarwienie, gdy włożymy skrawek do jakiegoś rozcieńczonego kwasu lub zasady, to mamy prawo stąd wnosić, że ten kwas lub ta zasada wniknęły przez protoplazmę do komórki. Przez traktowanie roztworami niektórych ciał np. kofeiny, antipiryny w wielu komórkach możemy wywołać tworzenie się pewnych strąków. Polega to na strącaniu przez te ciała garbników rozpuszczonych w soku komórkowym. Oczywiście jest to dowód, że te ciała wnikają przez protoplazmę do soku komórkowego. Szczególniej łatwo daje się obserwować wnikanie do komórek niektórych barwników anilinowych, bo one gromadzą się w komórkach nieraz w bardzo znacznej ilości, bądź barwiąc równomiernie sok komórkowy, bądź tworząc skupienia w protoplazmie. To pobieranie barwników bywa tak silne, że np. niewielka ilość wodnych roślin, takich jak moczarka (*Elodea*), rzęsa (*Lemna*) albo wywłócznik (*Myriophyllum*), może prawie zupełnie pochłonąć, a więc całkiem prawie odbarwić znaczniejszą ilość roztworu barwnika np. błękitu metylenowego. Jakkolwiek ta zdolność pobierania i gromadzenia w sobie barwników przez komórkę roślinną nie ma dla jej życia bezpośredniego znaczenia, to jednak była ona, za przykładem Pfeffera, przedmiotem licznych badań, bo naoczność procesów, jakie się tu odbywają, ułatwia niezmiernie badania, a rezultaty znalezione mogą służyć za wskazówkę co do tego, jaki może być przebieg i me-

¹⁾ K. Höfler, »Über die Permeabilität der Stängelzellen von *Tradescantia elongata* für Kalisaltpeter«. Ber. der. deut. bot. Gesell. T. 36, 1918. Str. 423.

chanizm pobierania także takich ciał, które stanowią istotne pokarmy rośliny.

c) Metody analityczne. O przechodzeniu do wnętrza, komórki cząsteczek stałych, znajdujących się w roztworach wprowadzonych w zetknięcie z częściami roślinnymi, możemy także wnosić z ubytku tych cząstek w samych płynach. Przed chwilą mówiliśmy, że moczarka, rzęsa, albo *Azolla* może prawie całkowicie odbarwić roztwór błękitu metylenowego, chłonec z niego barwnik. Śledząc kolorymetrycznie to odbarwianie, możemy przez to badać przebieg pobierania i jego zależność od różnych warunków. Ale tak samo można analitycznie stwierdzić pobieranie przez roślinę jakiegobądź składnika pokarmowego. Przyrządzając płyn o znanym składzie i oznaczając jego ilość i skład po upływie pewnego czasu jego zetknięcia z korzeniami jakiejś rośliny, możemy się dowiedzieć, wiele samej wody, a wiele ciała, lub ciał w niej rozpuszczonych, roślina z tego płynu pobrała. Tą metodą posługiwał się już de Saussure w swojej słynnej pracy »Recherches chimiques sur la végétation« z r. 1804 i przekonał się, że roślina pobiera wodę i ciało w niej rozpuszczone w innym stosunku niż ten, w jakim je otrzymuje w roztworze. Wolf w ten sam sposób przekonał się, że z roztworów bardzo rozcieńczonych pewnych soli korzenie roślin mogą pobierać cząsteczki rozpuszczone silniej niż samą wodę, tak, że płyn pozostały staje się bardziej rozcieńczony niż był pierwotnie, natomiast roztwory tej samej soli, użyte w wyższym stężeniu, zachowują się odwrotnie, t. j. rośliny pobierają wodę z nich szybciej niż cząstki w niej rozpuszczone i pozostały płyn staje się bardziej stężony.

Ta metoda jest ważna nie tylko z tego względu, że z jej pomocą można się przekonać o tem, jaki wybór robi roślina, mając do dyspozycji roztwór, zawierający mieszaninę różnych ciał, ale przede wszystkim także dlatego, że możemy nią uzyskać pewne dane, co do tego, jak odbywa się pobieranie elektrolitów z ich roztworów. Jak wiemy roztwory elektrolitów zawierają częściowo cząsteczki, które były pierwotnie rozpuszczone, częściowo jony powstałe z dysocjacji tych cząsteczek. Ta dysocjacja cząstek na jony jest tem silniejsza, im roztwór jest bardziej rozcieńczony. Gdy więc roślina styka się z roztworem jakiegoś elektrolitu, to styka się ona w mniejszej tylko części z całkowitemi cząsteczkami danej soli, w większej zaś z jego katjonami i anjonami. Tylko przez badanie

zmian, jakie w płynie zachodzą, możemy wyprowadzać wnioski co do tego, co roślina z tego płynu pobiera. O ileby pobierała całe cząsteczki, albo katjony i anjony w jednakowej ilości, reakcja roztworu pozostaje bez zmiany; o ile będzie przeważało pobieranie katjonów albo anjonów, następuje zakwaszanie się albo alkalizowanie płynu, oczywiście tem silniejsze, im większą będzie przewaga pobierania jednego jonu nad pobieraniem drugiego.

Mówiąc w pierwszym tomie o przydatności różnych związków azotu na pokarm dla roślin, widzieliśmy w wielu doświadczeniach małą do tego przydatność soli amonowych i przekonaliśmy się, że jest to następstwem nadmiernego zakwaszania się pożywki wskutek przewagi w pobieraniu jonów amonowych nad pobieraniem anjonów. Vorbrodt¹⁾ w swoich badaniach nad przemianą związków azotowych u kropidlaka, przekonał się, że nawet z azotanu amonowego jony amonowe są bez porównania silniej pobierane niż jony NO_3 .

To samo znajdował Leopold Zaleski²⁾ u kukurydzy w pewnych okresach jej rozwoju.

Obszerne studia nad pobieraniem jonów z różnych elektrolitów przez rozmaite, tak lądowe jak i wodne rośliny przeprowadzał Pantanelli³⁾, analizując każdorazowo płyn znanego pierwotnego składu, z którym przez pewien czas te rośliny znajdowały się w zetknięciu. Okazało się, że na 130 różnych użytych kombinacjach roztworów z roślinami tylko w 13 przypadkach oba jony były jednakowo pobierane i płyn pozostawał obojętny, we wszystkich innych przeważało pobieranie jednego lub drugiego jonu i płyn zakwaszał się albo alkalizował. Zakwaszanie się pozostałego płynu było częstsze, ale i alkalizowanie się nie było rzadkością. W największej ilości przypadków potas był silniej pobierany niż odpowiedni anjon, z fosforanów jon HPO_4 był prawie zawsze silniej pobierany niż odpowiedni katjon. Podczas gdy, jak widzieliśmy, Vorbrodt

¹⁾ Vorbrodt, »O przeróbce azotu i fosforu w grzybni kropidlaka«. Rozprawy Wydz. mat.-przyrod. Polskiej Akademji Umiejętności. Serja B. Tom 49, str. 223 - 300.

²⁾ L. Zaleski. »Badania nad pobieraniem azotu soli amonowych i azotanów przez wyższe rośliny«, Rozprawy Wydz. Mat. przyrod. Polskiej Akademji Umiejętności. Serja B. T. 62.

³⁾ Pantanelli, »Über Jonenaufnahme« Jahrb. f. wiss. Bot. Tom 56. Str. 680 - 730.

i Zaleski znajdowali, że kropidlak i kukurydza pobierały z NH_4NO_3 jon NH_4 znacznie silniej niż jon NO_3 , to Pantanelli znajdował, że ciecierzycy (*Cicer arietinum*) jonu NH_4 z roztworu tej soli niepobierała wcale, korzystała tylko z jonu NO_3 . Widzimy zatem jak rozmaicie mogą się zachowywać różne rośliny. A doświadczenia Zaleskiego z kukurydzą wykazują, że nawet jedna i ta sama roślina może się zachowywać w różnych okresach swego rozwoju niejednakowo, bo, zakwaszając naogół roztwór azotanu amonowego, alkalizuje go w okresie kwitnienia. Jeżelibyśmy teraz zapytali, czy roślina pobiera zawsze tylko zdysocjowane jony, czy może także pobierać i całe niezdisocjowane cząsteczki roztworów, to wobec tego, że w otoczeniu rośliny znajdują się zarówno jony, jak i całe cząsteczki, niema żadnego dobrego powodu do tego, abyśmy mieli wykluczać możliwość pobierania przez korzenie roślin także całych cząsteczek, tyle tylko napewno wiemy, że bywają także pobierane i oddzielne jony, pochodzące z dysocjacji tych cząsteczek. Wszystko to wskazuje, że mechanizm pobierania pokarmów przez rośliny jest bardzo skomplikowany, bo jasną jest rzeczą, że owe zmiany, jakie roślina wywołuje w składzie swojej pożywki, mogą znowu ze swej strony oddziaływać na dalszy przebieg żywienia się rośliny, gdyż zakwaszenie pożywki może znowu ułatwiać rozpuszczanie pewnych składników z otoczenia, alkalizowanie lub wytrącanie z roztworów innych składników, a jedno i drugie może wpływać na zdrowotność rośliny, więc tem samem i na dalszy przebieg jej żywienia się i rozwoju.

2. Które części protoplazmy decydują o jej przepuszczalności dla cząstek stałych?

Nie jest bynajmniej rzeczą konieczną ani nawet prawdopodobną, aby protoplazma pewnej komórki była w całej swojej masie jednakowo przepuszczalną dla ciał rozpuszczonych w wodzie. Przeciwnie, wiele przemawia za tem, że o wnikaniu lub niewnikaniu pewnych ciał do wnętrza komórki decyduje nie-tyle cała protoplazma, ile warstewki tejsze, odgraniczające ją z jednej strony odzewnątrz, t. j. od błony komórkowej, z drugiej odzewnątrz, t. j. od soku komórkowego. Te warstewki nazywamy błonkami protoplazmatycznymi, a więc błonką czy warstwą skórną protoplazmy i błonkami wodniczkowymi. Za tem, że błonka skórną jest miarodajną dla wnikania cząstek

stałych z roztworu do protoplazmy przemawia obserwacja nad wnikaniem barwników. O ile jakiś barwnik nie wnika do komórki roślinnej, to zatrzymywany jest już przez ową warstewkę skórną, o ile zdoła się przez nią przedostać, to już potem łatwo się w protoplazmie rozchodzi. Wobec tego można przypuścić, że także o tem, czy jakieś ciało może z protoplazmy na zewnątrz dyfundować, decyduje to, o ile warstewka skórną jest dlań przenikliwa. Ta warstewka skórną daje się pod mikroskopem z pomocą silniejszych powiększeń dokładnie dostrzec jako jednociągłą, przejrzystą, bez żadnej ziarnistości błoną, złożoną z samej hyaloplazmy. Szczególniej wyraźnie występuje ona podczas plazmolizy, gdy protoplazma od błony odstaje, przyczem jest ona jeszcze delikatnemi niteczkami złączona z błoną, co świadczy o wielkiej przyczepności i lepkości jej substancji. Taką błoną plazmatyczną odgranicza protoplazmę od wodniczek. Niektórzy autorowie jak De Vries i Went przypisywali tym wodniczkom samodzielną podobną jak mają jądra i chromatofory, twierdząc, że i one także tylko przez dzielenie się mogą powstawać. Było to przypuszczenie dosyć dowolne, które musiałyby upaść, gdyby się udało wywoływać sztucznie tworzenie się wodniczek w protoplazmie. Istotnie udawało się to stale Pfefferowi, na plazmodjach śluzowców, zapomocą kryształków gipsu lub asparaginy. Wobec tego przypisywanie ściankom wodniczek samodzielnosci musiało odpaść.

Aby jakieś ciało dostało się zewnątrz do soku komórkowego w wodniczkach, trzeba, żeby się przedostało tak przez błonkę skórną do protoplazmy, jak i przez błonkę wodniczkową protoplazmy do soku komórkowego. Nie jest bynajmniej rzeczą wykluczoną, że w pewnych przypadkach następuje tylko przechodzenie pewnego ciała przez błonkę do protoplazmy, a przechodzenie z protoplazmy do soku komórkowego nie ma miejsca. Taki przypadek zdaje się niekiedy zdarzać z cukrem trzcinowym. Widzieliśmy, że roztwór tego cukru w stężeniu, choćby cokolwiek wyższem od wartości osmotycznej soku komórkowego, wywołuje plazmolizę, która nawet po długim czasie utrzymuje się bez zmiany, z czego musimy wnosić, że cukier nie przedostaje się zewnątrz do soku komórkowego, bo, gdyby to miało miejsce, plazmoliza powoliby się wyrównywała i nastąpiłaby deplazmoliza. Ale z drugiej strony doświadczenie uczy nas, że gdy liść, niezawierający

skrobi w komórkach śródliścia, trzymamy przez dłuższy czas na roztworze cukru, to nawet w ciemności skrobia powstaje w komórkach jego śródliścia, co nie ma miejsca, gdy go trzymamy na wodzie. Należałoby stąd wnosić, że cukier dostarczył materiału na wytworzenie skrobi, więc musiał wnikać do protoplazmy. Zachodzi zatem przynajmniej pozorna sprzeczność między wnioskami, jakie się następują z obserwowania owej długotrwałej plazmolizy, wywoływanej przez roztwór cukru, a temi, jakieby wynikały z tworzenia się skrobi na koszt cukru w liściach. Być może, że ta sprzeczność objaśnia się tem, że cukier przedostaje się przez warstwę skórną do protoplazmy, ale błonka wodniczki nie przepuszcza go do soku komórkowego i uniemożliwia deplazmolizę, którą cukier musiałby wywołać, gdyby się dostawał do soku komórkowego.

3. Od czego zależy przenikanie lub nieprzenikanie pewnego ciała do wnętrza komórki?

Na to pytanie można ogólnie tyle odpowiedzieć, że decydować o tem musi okoliczność, czy i o ile to ciało jest rozpuszczalne w zewnętrznej błonie protoplazmatycznej. Bez takiej rozpuszczalności nie możemy sobie wyobrazić przenikania do wnętrza komórki, tak samo, jak nie moglibyśmy przypuścić przechodzenia przez jakąś jednociągłą błonę gazów, któreby się w niej nie rozpuszczały. Bezwodnik węglowy przez błonę kauczukową, wodór przez blaszkę palladową przechodzić mogą stosunkowo łatwo dlatego, że się w nich rozpuszczają, tak samo musi być i z przenikaniem różnych ciał przez błonę plazmatyczną. Gdy zauważono, że szczególnie łatwo do wnętrza komórki wnikają takie ciała, które są łatwo rozpuszczalne w lipidach, zaczęto przypuszczać, że lipoidy, takie jak cholesteryna lub lecytyna, wchodzi w skład błony plazmatycznej. Ale ta hipoteza nie może wystarczyć, bo sole mineralne, dostające się bądźco bądź do wnętrza komórek, są rozpuszczalne raczej w wodzie, niż w lipidach, dlatego przypuszczano też jakąś bardzo skomplikowaną budowę owych błonek plazmatycznych, któreby naksztalt mozaiki złożone były z lipoidów i pęczliwych cząstek białkowatych; wogóle powiedzieć można, że nasze pojęcia o budowie owych błon plazmatycznych w związku z ich przepuszczalnością dla ciał, mogących wnikać do wnętrza komórek, nie wychodzą poza zakres przypuszczeń, narazie

bardzo problematycznych i trudnych do jakiegokolwiek skontrolowania doświadczalnego.

4. Jak reguluje się ilość pobieranych składników i w jaki sposób możliwe jest gromadzenie się ich w komórce?

Różna przepuszczalność protoplazmy względem rozmaitych ciał jest jednym, ale nie jedynym czynnikiem warunkującym ich pobieranie do wnętrza komórek roślinnych. Z chwilą gdy po obu stronach błonki plazmatycznej koncentracja danego ciała się wyrówna, powinnyby podług praw dyfuzyjnych ustać dalsze jego pobieranie; jeżeli zaś trwa dalej i doprowadza do znacznego nagromadzenia tego ciała w komórce, to muszą zachodzić dalsze czynniki, które ponownie zmieniają doprowadzoną do równowagi koncentrację, lub też działają wbrew tej równowadze. Trzeba tu jednak rozróżnić dwa w pewnym względzie odmienne procesy: z jednej strony przenikanie danego ciała przez całą protoplazmę z obu jej błonkami do soku komórkowego i jego gromadzenie się w tymże soku, z drugiej zaś dostawanie się pobieranego ciała tylko do protoplazmy i zużytkowanie go w tejże. Już sama znaczna wartość osmotyczna soku komórkowego dowodzi, że różne ciała rozpuszczalne w wodzie muszą się do niego przez błonkę wodniczkową z protoplazmy przedostawać. Te ciała mogą dochodzić do protoplazmy zewnątrz, albo mogą się w niej same wytwarzać, a potem przenikać do soku komórkowego i w nim się gromadzić. To gromadzenie się wymaga osobnego objaśnienia, które dać niezawsze jest rzeczą łatwą i które niezawsze może być jednako. Naoczne i zrozumiałe jest gromadzenie się barwników, np. błękitu metylenowego w komórkach. Z bardzo rozcieńczonego roztworu np. 0·01% mogą komórki rzęsy, *Azoll*i, liście moczarki lub wywłócznika (*Myriophyllum*) nagromadzić w soku swych komórek do 1% błękitu metylenowego, zabarwiając się silnie. Mechanizm polega tu poprostu na łączeniu się błękitu metylenowego z garbnikami soku komórkowego i tworzeniu z niemi połączeń, wprawdzie rozpuszczalnych w wodzie, ale niezdolnych do dyfundowania przez błonki plazmatyczne. Istotnie, jeżeli umieścimy rzęsę na roztworze nie samego błękitu metylenowego, ale jego połączenia z garbnikiem, to jakkolwiek taki roztwór ma kolor zupełnie ten sam co roztwór samego błękitu mety-

lenowego, to jednak korzonki rzęsy pozostają w nim bezbarwne, co dowodzi, że nie mogą pobierać takiego połączenia. Wobec tego zrozumiałem jest, że barwnik, nagromadzony w takim połączeniu w komórkach, nie może z nich dyfundować nazewnątrz, tak dalece, że choćby roślinki były potem przeniesione do czystszej wody, ich korzonki pozostają stale zabarwione. Ale jeżeli do wody dodać nieco kwasu cytrynowego, który rozkłada połączenia błękitu metylenowego z garbnikami, to barwnik, uwolniony z nich w ten sposób, dyfunduje nazewnątrz i korzonki się odbarwiają.

W podobny sposób, jak błękit metylenowy przez garbniki, mogą być niezawodnie związane także inne ciała, przenikające do komórki przez łączenie się z jakimiś związkami, znajdującymi się w soku komórkowym i przez to gromadzić się w nim w stężeniu, wielokroć razy przewyższającym stężenie ich w płynie, z którego są pobierane. Oczywiście, w każdym szczegółowym przypadku byłoby wskazane zbadać osobno, na czym takie związanie polega, jakim jest związek w postaci którego dane ciało gromadzi się w komórce. W wielu przypadkach jest to zadanie bardzo trudne, a nieraz zapewne o tyle nierozwiązalne, że właściwa przyczyna gromadzenia się pewnego ciała w komórce polegać tu może jeszcze zgoła na czym innym, niż na takim wiązaniu. Zdarza się np. nieraz, że w soku komórkowym roślin rosnących na środowisku, zawierającym zaledwo drobny ułamek procentu azotanów, gromadzi się ilość saletry przynosząca 1%, tak samo bywa niekiedy z chlorkiem potasowym. Otóż trudno byłoby sobie wyobrazić w jakieby połączenia owa saletra, albo ów chlorek potasowy mogły przechodzić w soku komórkowym, aby się uchronić od dyfundowania nazewnątrz. Wprawdzie możnaby przypuścić, że w soku komórkowym znajdują się pewne koloidy, które adsorbują owe azotany lub chlorki, ale jest to bardzo mało prawdopodobne, tem bardziej, że doświadczenia nad własnościami adsorbcyjnymi ziemi ornej, które polegają na tworzeniu połączeń adsorbcyjnych z koloidami ziemi, wykazały, że właśnie jony NO_3 i Cl nie ulegają wcale absorpcji. O wiele prawdopodobniejszym jest, że gromadzenie się azotanów, czy innych soli mineralnych, w soku komórkowym w koncentracjach znacznie przewyższających stężenie roztworów, z których te sole są pobierane, polega na czynnej interwencji żyjącej protoplazmy, wykonywującej pracę wpychania tych soli do soku

komórkowego, z którego one potem, z powodu małej przenikliwości błonki wodniczkowej komórki, nie mogą dość łatwo dyfundować nazewnątrz¹⁾. Że protoplazma żyjąca odgrywa pewną czynną rolę regulującą we wnikaniu i wydzielaniu cząstek stałych do komórki i z komórki nawet wbrew równowadze osmotycznej, tego dowodzą liczne doświadczenia Nathansa²⁾, z których jedno przytoczymy. Kawałek bulwy georginji wkładał on do 1% roztworu podsiarczanu sodowego i trzymał w nim kilka dni. Pokazało się, że sól ta była przez ów obiekt pobierana, ale tylko tak długo, dopóki jej koncentracja w soku komórkowym nie doszła do 0.3%. Gdy potem ów obiekt przeniesiono do płynu, który miał także koncentrację 0.3%, część soli wydyfundowała ze skrawka bulwy do otaczającego płynu, powiększając jego stężenie ponad to, które panowało w komórkach. Jest w tem widoczny dowód czynnej interwencji protoplazmy, która może regulować swą przenikliwość nawet wbrew osmotycznej równowadze. Że taka interwencja żyjącej protoplazmy może w procesach osmotycznych mieć doniosłe znaczenie dla pobierania i krążenia pokarmów, nie ulega wątpliwości, a w tej interwencji niezawodnie ważną jest zdolność przystosowania zmian w przenikliwości błon plazmatycznych dla ciał w wodzie rozpuszczonych do potrzeb rośliny. W doświadczeniach Tröndlego widzieliśmy już przykład takich zmian w przenikliwości w zależności od oświetlenia.

Ale musimy sobie jasno zdawać z tego sprawę, że przez przyjęcie takiej czynnej interwencji protoplazmy żyjącej w regulowaniu przenikania cząstek pewnych ciał przez błonki plazmatyczne, nie dajemy jeszcze istotnego mechanicznego objaśnienia tego przenikania, bo musi nam się tu odrazu nastęczyć dalsze pytanie, w jaki sposób ta interwencja protoplazmy się odbywa, jakie procesy do niej prowadzą. To jest już pytanie, na które narazie odpowiedzieć nie umiemy³⁾.

Zaznaczyliśmy już, że nie wszystko, co przejdzie przez błonę

1) Por. G. E. Briggs, »The Accumulation of Electrolytes in Plant Cells.— A suggested Mechanism.« Proc. Roy. Soc. London. B. 107. Str. 248. 1930.

2) Nathansohn, 1) »Über Regulationserscheinungen im Stoffaustausch,« 2) »Über die Regulation der Aufnahme anorganischer Salze durch die Knollen von Dahlia.« Jahrb. f. wiss. Botanik, Bd. 38 i 39. 1903 i 1904.

3) Por. A. V. Hill, »Membrane Phenomena in Living Matter: Equilibrium or Steady State.« Colloid Science applied to Biology.« Faraday Soc. Discussion, 1930.

komórkową i zewnętrzną błonkę plazmatyczną musi się dostać do soku komórkowego. Jest najzupełniej możliwe, że pewne ciało, przedostawszy się do komórki, rozchodzi się tylko po protoplazmie, a nie dostaje się wcale do soku komórkowego, a że protoplazma jest siedliskiem przemian chemicznych, więc to ciało, ulegając przeróbce i zmieniając swą formę, nie będzie już tamowało dalszego jego pobierania z zewnątrz; w ten sposób jest możliwe, że z bardzo rozcieńczonego roztworu pewnego ciała może roślina czerpać bardzo wielkie jego ilości. Wobec tego jest rzeczą zupełnie zrozumiałą, że morskoczyn z wody morskiej, zawierającej procentowo minimalne ilości jodków i bromków, gromadzą w sobie znaczne ilości tych ciał.

Ponieważ protoplazma jest ciałem koloidalnym i jako takie musi być obdarzona zdolnością adsorbowania pewnych ciał, więc nawet niezależnie od dalszej przeróbki może ona z roztworów, z jakimi się styka, gromadzić w sobie ilości tych ciał znacznie większe, niż te, które odpowiadają stężeniu roztworów, z których są czerpane. Wnikające przez błonę plazmatyczną cząsteczki zostają przez cząstki koloidalne protoplazmy zaadsorbowane, a w ich miejsce mogą wnikać nowe, aż póki nie nastąpi równowaga, wyrażająca się znanym wzorem adsorbcyjnym.

Oczywiście, że o ile cząstki, wnikające z zewnątrz i zaadsorbowane przez koloidy protoplazmy, uległy przeróbce, to równowaga adsorbcyjna zostanie znowu naruszona, nastąpi nowe wnikanie cząstek z zewnątrz, ponowna ich adsorbacja, ponowna przeróbka i t. d. tak, że pobieranie pewnych składników z zewnątrz i ich przeróbka przez procesy chemiczne, odbywające się wewnątrz komórek, będą w najściślejszej zależności od własności adsorbcyjnych protoplazmy względem ciał pobieranych przez komórke.

Jeżeli tak jest istotnie w stosunku do pewnego ciała, to jest rzeczą przynajmniej prawdopodobną, że przebieg jego pobierania będzie też zależał od tych wszystkich czynników, od których zależą procesy adsorbcyjne, a więc np. w pewnych granicach od koncentracji roztworu, z którego pobieranie danego ciała się odbywa. Należałoby się spodziewać, że ta zależność odpowiadać będzie prawom adsorbcji. Nieliczne dane analityczne, jakie w tym względzie posiadamy, zdają się to potwierdzać, ale są one dotąd zbyt skąpe i dalsze badania eksperymentalne w tym kierunku byłyby niezmiernie pożądane

i mogłyby się wiele przyczynić do wyjaśnienia mechanizmu pobierania pokarmów przez rośliny.

5. Mechanizm pobierania ciał trudno rozpuszczalnych.

W rozdziale o badaniu formy, w jakiej składniki pokarmowe bywają pobierane, zaznaczyliśmy, że nieraz roślina pobiera te składniki ze związków, które same przez się są w wodzie bardzo trudno rozpuszczalne i uruchamiają się dopiero przez różne czynniki, działające w glebie, a między innymi także przez wpływ samych korzeni roślinnych z nimi się stykających. Wspominaliśmy już tam o znanem doświadczeniu Sachsa, wykazującym zdolność korzeni do nagryzania płytek oszlifowanego marmuru lub fosforytu w miejscach stykania się z nimi. Mamy w tem niewątpliwy dowód udziału korzeni w rozpuszczaniu trudno rozpuszczalnych składników gleby. Teraz chodziłoby nam o wyjaśnienie mechanizmu tego rozpuszczania. Ponieważ wspomniane ciała, bardzo trudno rozpuszczalne w wodzie, rozpuszczają się o wiele łatwiej w kwasach, więc nasuwa się przypuszczenie, że korzenie roślin wydzielają jakieś kwasy, które działają rozpuszczająco. To przypuszczenie uważano przez dłuższy czas jako pewnik, tak dalece, że gdy usiłowano w celach analitycznych znaleźć rozczynnik, któryby na ziemię działał podobnie jak korzenie, to badano kwasotę soku, wyciskanego z korzeni różnych roślin, a znajdując, że ona odpowiada kwasowości 1—2% roztworu kwasu cytrynowego, używano takiego właśnie roztworu tego kwasu do sporządzania wyciągów z gleby, których analiza służyłaby do oceniania jej zasobności w składniki pokarmowe w stanie dla roślin przystępnym. Jednak zauważyć należy, że kwasowość soku, wyciśniętego z korzeni, nie może służyć za miarę kwasowości wydzielin korzeniowych. Czy i w jakiej mierze jakieś kwasy są istotnie przez korzenie wydzielane nazewnątrz, o tem trzeba się było dopiero doświadczalnie przekonać. Zadanie to podjął Czapek¹⁾. Wykiełkowane roślinki zanurzał on korzeniami w małej ilości wody, albo trzymał je na wilgotnej bibule, a potem badał te podłoża na ewentualne wydzieliny odpowiednimi odczynnikami,

¹⁾ F. Czapek, »Die Lehre von den Wurzelausscheidungen«. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 29. 1896.

bądź bezpośrednio, bądź po zagęszczeniu płynu do małej objętości. W tych wydzielinach znajdował stale potas i kwas fosforowy, często magnez, rzadziej wapno. Z kwasów organicznych znajdował prawie stale kwas mrówkowy, ale nie wolny, tylko w postaci soli, w jednym przypadku kwas szczawiowy, także jako sól. Stale, jak to zgóry można było przewidzieć, wydzielają korzenie, jak zresztą wszystkie części roślinne, kwas węglowy, będący produktem oddychania. Korzenie, zanurzone w roztworze lakmusu, czerwienią go po pewnym czasie, ale to zaczerwienienie znika przez gotowanie, co dowodzi, że ono nie pochodzi od jakiegoś organicznego kwasu, ale poprostu od kwasu węglowego. Poza kwasem węglowym tylko jeszcze kwaśny fosforan potasowy można było uważać za stałą kwaśną wydzielinę korzenia.

Taki skład wydzielin skłaniał Czupka do przypuszczenia, że tworzenie odcisków na płytach marmuru pochodzić musi głównie, a może nawet jedynie, od kwasu węglowego. Jeżeli tak jest, to tylko takie ciała mogłyby się pod wpływem korzeni rozpuszczać, które są rozpuszczalne także w wodzie nasyconej kwasem węglowym. By się o tem przekonać, przygotowywał sztuczne płyty, mieszając w równych częściach palony gips z różnemi nierozpuszczalnymi węglanami lub fosforanami. Taką mieszaninę po zarobieniu z wodą wylewał na szklane płyty. Po zakrzepnięciu masy otrzymał z niej płytki, które po stronie zetknięcia ze szkłem były gładkie, jakby oszlifowane. Gdy takie płytki umieszczono na spodzie wazonika, w którym zasiewano rośliny, otrzymywano na nich, w razie jeżeli były sporządzone z mieszaniny gipsu, węglanu wapnia i fosforanu wapnia, takie same odciski korzeni, jak te, które się otrzymuje na oszlifowanym marmurze. Na płytkach z samego gipsu nie tworzyły się odciski, ale odwrotnie, miejsca, po których czołgały się korzenie, były nieco wzniesione ponad resztę powierzchni płytki, tak jakby w tych miejscach materiał płytki był ochraniały od rozpuszczania. Jeżeli płytka sporządzona była z gipsu i fosforanu glinowego, to także nie była nagryzana przez korzenie, co kazałoby przypuszczać, że fosforan glinowy nie jest przez korzenie roślin rozpuszczany, a tem samem i pobierany. Fosforan glinowy, w przeciwieństwie do wapniowego, jest prawie nierozpuszczalny w wodzie nasyconej bezwodnikiem węglowym, a nawet w wodzie zakwaszonej kwasem octowym. W tej równoległości między rozpuszczalnością materiału w wo-

dzie nasyconej bezwodnikiem węglowym, a nagryzaniem przez korzenie płyt z niego sporządzonych, widział Czapek potwierdzenie swego przypuszczenia, że zdolność swoją do nagryzania płytek marmuru zawdzięczają korzenie tak dobrze, jak wyłącznie, wydzielanemu przez siebie bezwodnikowi węglowemu. Bezwodnik węglowy, jako roztwór, może się istotnie gromadzić w powierzchniowych komórkach korzeni w znacznie większych ilościach, nie tylko przez ich własne oddychanie, ale także przez dyfundowanie przez nie nazewnątrz bezwodnika węglowego, wytwarzanego przez oddychanie komórek w głębi położonych. To przesylenie powierzchniowych komórek kwasem węglowym czyni zrozumiałym, że węglan i fosforan wapniowy, z którymi się te komórki bezpośrednio stykają, właśnie w miejscach tego zetknięcia ulegają nagryzaniu. To nagryzanie jest znakomicie ułatwione przez to, że to, co zostało rozpuszczone, jest zaraz wessane przez korzonki, więc cząstki płytki stykają się stale z roztworem kwasu węglowego, zawierającym bardzo mało rozpuszczonych cząstek mineralnych.

Jeżeli atoli nie podlega wątpliwości, że kwas węglowy, wytwarzany przez oddychanie korzeni, jest ważnym czynnikiem pobierania przez nie trudno rozpuszczalnych w wodzie związków, to bynajmniej z tego nie wynika, aby w tym procesie nie miały udziału jeszcze jakieś inne czynniki. Przedewszystkiem należy zauważyć, że choć korzenie wszystkich roślin wytwarzają kwas węglowy przez oddychanie, to jednak widzieliśmy już dawniej, że w zdolności korzystania ze związków trudno rozpuszczalnych zachodzą między różnymi roślinami bardzo daleko idące różnice. Przypominamy, że Priansznikow wykazał, że w kulturach piaskowych zboża, mianowicie żyto, jęczmień, pszenica, owies prawie wcale nie korzystały z kwasu fosforowego, dodanego do piasku w postaci mączki fosforowej, podczas gdy tataraka, gorczyca, łubin, groch korzystały z tego źródła wcale dobrze, bo dawały plon, dochodzący do 60%, a nawet 80% tego, jaki otrzymano w kulturach zasilonych fosforanem potasowym. Te różnice pomiędzy zbożami z jednej strony, a np. tatarką lub gorczycą z drugiej, nie pochodzą od silniejszego rozwinięcia korzeni u tych ostatnich, bo ono np. u tataraki stale wielkie nie jest, zatem pochodzić muszą od różnic w rozpuszczającym działaniu korzeni różnych roślin. Naturalnie byłoby pożądanem zbadanie porównawcze oddychania korzeni u obu tych grup roślin, jednak zgóry

przewidywać można, że mało jest prawdopodobnem, aby różnice pod tym względem były tak wielkie, żeby mogły objaśnić tak bardzo niejednakowe zachowanie się ich wobec mączki fosforytowej.

Równoległość między działaniem rozpuszczającym wody, nasyconej kwasem węglowym, na pewne ciała, a nagryzaniem płytek, sporządzonych z gipsu i fosforanu wapniowego z jednej, a fosforanu glinowego z drugiej strony, niezupełnie jest przekonywująca, bo choć płytki z fosforanu glinowego nie były nagryzane, to przecież Prianisznikow zapomocą kultur piaskowych wykazał, że fosforan glinowy może roślinom dostarczyć kwasu fosforowego. I tak plon prosa wynosił bez kwasu fosforowego niespełna 1 gram, z fosforanem potasowym 33 gr., z fosforanem glinowym 21 gr., czyli $\frac{2}{3}$ tego, co wtedy, gdy kwas fosforowy był podany roślinie w formie zupełnie łatwo rozpuszczalnej. Jeżeli tedy fosforan glinowy jest w wodzie, nasyconej bezwodnikiem węglowym, tak mało rozpuszczalny, jak to podnosi Czapek, to korzenie roślinne muszą jeszcze w jakiś inny sposób wpływać na jego rozpuszczanie. Sam Czapek przypuszcza możliwość działania, znajdowanego przezeń w wydzielinach korzeniowych fosforanu 1-o potasowego, a to w ten sposób, że mógłby on z chlorkami wytwarzać wolny kwas solny w myśl wzoru $\text{KH}_2\text{PO}_4 + \text{KCl} = \text{K}_2\text{HPO}_4 + \text{HCl}$, który mógłby działać roztwarzająco. Atoli temu działaniu trudno byłoby przypisać jakąś donioślejszą rolę w roztwarzaniu fosforytów. W najlepszym razie mogłoby ono rozpuścić ilość P_2O_5 , odpowiadającą wydzielonemu fosforanowi 1-o potasowemu, więc ostateczny efekt tego działania dla pobierania kwasu fosforowego byłby żaden. Zresztą samo wydzielanie fosforanu 1-o potasowego przez korzenie niekielkujących, ale już rozwiniętych roślin jest wątpliwe. W roślinach kielkujących, z jakimi pracował Czapek, kwas fosforowy nagromadzony jest obficie w materiałach zapasowych ziarna, odczepia się więc od nich, wędruje po całej młodej roślince i dlatego z jej korzonków, o ile są pogrążone w wodzie, może się wydzielić. Aby takie wydzielanie miało miejsce w późniejszych okresach rozwoju, w czasie kiedy właśnie korzenie kwas fosforowy obficie pobierają zewnątrz, jest rzeczą więcej niż wątpliwą.

Prędzej już możnaby przypuścić, że korzenie, jakkolwiek kwasów organicznych wcale nazewnątrz nie wydzielają, mają przecież przesiąknięte niemi do pewnego stopnia błony i zo-

stają z niemi w bezpośrednim zetknięciu, niemal jakby były przerośnięte cząsteczkami ziemi i dlatego oddziałują na nie rozpuszczająco. Ale nadewszystko działanie rozpuszczające korzeni na trudno rozpuszczalne składniki gleby, z którymi się stykają, może być pośrednie. Widzieliśmy wyżej (str. 205), że mamy bezpośrednie analityczne dowody na to, że z roztworów elektrolitów, w największej liczbie przypadków, katjony i anjony są nie w jednakowej mierze przez roślinę pobierane i że najczęściej katjony są pobierane szybciej niż anjony; jeżeli tak jest, to musi to powodować, że w otoczeniu korzeni powstaje pewien nadmiar anjonów, powodujący zakwaszenie ośrodka. Kwas, powstały w ten sposób z obojętnej soli, może oddziaływać rozpuszczająco na składniki trudno rozpuszczalne, przylegające do korzenia. Jeżeli przytem pobierane katjony danej soli są w roślinie energiczniej pobierane niż anjony, to przewaga w pobieraniu katjonów będzie tem większa i zakwaszenie środowiska tem znaczniejsze, a tem samem i rozpuszczające działanie korzeni tem silniejsze. Mówimy w takim razie, za przykładem Adolfa Mayera, że sól jest fizjologicznie kwaśna, gdy zaś energiczniej pobierane są anjony, następuje alkalizowanie środowiska w otoczeniu korzenia, wtedy mówimy, że sól jest fizjologicznie alkaliczna; gdy wreszcie pobieranie katjonów i anjonów i spożytkowanie ich przez rośliny jest równomierne, powiadamy, że sól jest fizjologicznie obojętna.

Jest rzeczą zupełnie zrozumiałą, że zakwaszenie bezpośredniego otoczenia korzenia, wskutek przewagi pobierania katjonów nad pobieraniem anjonów, może w wysokiej mierze ułatwić pobieranie trudno rozpuszczalnych składników takich jak węglany, lub fosforany ziem alkalicznych, albo jak fosforan glinowy. Istotnie, doświadczenia badaczy rosyjskich, mianowicie Prianisznikowa i jego uczniów w Moskwie, a Kosowicza w Petersburgu, wykazały, że tak jest, przynajmniej odnośnie do pobierania kwasu fosforowego z materiałów bardzo trudno rozpuszczalnych, jakimi są fosforyty. Wspomnieni badacze znaleźli, że nawet zboża, które normalnie prawie wcale z mączki fosforytowej nie mogą korzystać, korzystają z niej w dość znacznej mierze, jeżeli równocześnie podłoże będzie zasilone azotem nie w formie samej tylko saletry, ale w formie azotanu amonowego, albo mieszaniny saletry i siarczanu amonowego. Bardzo pouczające jest pod tym względem następujące doświadczenie uczniów Prianisznikowa w kulturach piaskowych

ośsa. Kwas fosforowy dany był bądź w formie mączki fosforytowej, bądź jako fosforan jednopotasowy, a azot, bądź jako azotan sodowy, bądź jako mieszanina tegoż z siarczanem amonowym, bądź wreszcie jako azotan amonowy. W tych kulturach otrzymano następujące ilości suchej masy ośsa, a w nich procenty kwasu fosforowego:

	Ilość suchej masy	% P_2O_5 w suchej masie	Ogólna ilość pobranego P_2O_5 w %
P_2O_5 jako fosforyt; Azot jako $NaNO_3$	6.95 gr.	0.09%	0.0062 gr.
„ „ „ $\frac{1}{2}$ „ $NaNO_3$			
„ „ „ $\frac{1}{2}$ „ $(NH_4)_2SO_4$	20.5 „	0.57%	0.1168 „
„ „ „ $\frac{1}{4}$ „ $NaNO_3$			
„ „ „ $\frac{3}{4}$ „ $(NH_4)_2SO_4$	19.2 „	0.92%	0.1766 „
„ „ „ cały „ $(NH_4)_2SO_4$	1.65 „	1.46%	0.0231 „
„ „ „ „ „ NH_4NO_3	18.9 „	0.56%	0.1058 „
„ „ KH_2PO_4 „ „ $NaNO_3$	19.8 „	0.53%	0.1049 „

Widzimy, że plony na mączce fosforytowej, jako źródle kwasu fosforowego, wtedy tylko były równie wysokie, jak na fosforanie potasowym, gdy azot był dany w formie azotanu amonowego, albo w formie mieszaniny saletry i siarczanu amonowego. Gdy azot był dany wyłącznie w postaci saletry, plony były wtedy tylko wysokie, gdy kwas fosforowy był dany w formie fosforanu potasowego, a natomiast bardzo niskie i bardzo ubogie w kwas fosforowy, gdy ten był dany w formie mączki fosforytowej. Widocznie niski plon pochodził tu z niedostatku kwasu fosforowego, spowodowanego nierozpuszczalnością mączki fosforytowej. Istotnie ilość przyswojonego przez roślinę kwasu fosforowego była bardzo mała, bo roślina zawierała tylko 0.09% P_2O_5 , a cała ilość pobranego z fosforytu kwasu fosforowego wynosiła wszystkiego 6 mg P_2O_5 . Jeszcze znacznie niższy był plon wtedy, gdy azot obok mączki fosforytowej był dany w formie siarczanu amonowego, ale to już nie było następstwem niedostatku kwasu fosforowego, bo plony były w ten kwas procentowo bardzo bogate, piętnastokrotnie bogatsze niż wtedy, gdy azot był dany w formie saletry: Przyczyna tego niskiego plonu musiała być tu zatem inną, było nią mianowicie nadmierne zakwaszenie środowiska kwasem siarkowym uwolnionym z siarczanu amonowego, które szkodziło roślinie. Natomiast wysokie plony z fosforytem były wtedy, gdy użyto za źródło azotu mieszaniny saletry i siarczanu amonowego, bo

powstawała koło korzeni dostatecznie kwaśna reakcja, aby roz-
 twarzać mączkę fosforytową i uprzystępnąć roślinom jej kwas
 fosforowy, ale nie tak kwaśna, aby to roślinom szkodziło.
 Kwaśna reakcja była tu zmniejszana przez jony sodowe tych
 cząstek saletry, których jony NO_3 były przerabiane przez ro-
 śliny, inaczej mówiąc była neutralizowana przez fizjologiczną
 alkaliczność azotanu sodowego. Widzimy, że kwas fosforowy
 był tem obficie pobierany przez roślinę, im większa część
 azotu znajdowała się w formie siarczanu amonowego. Gdy sta-
 nowił on $\frac{3}{4}$ azotu, rośliny zawierały 0.92% P_2O_5 , gdy tylko
 połowę, 0.47% P_2O_5 swojej suchej masy.

Mniej więcej tak samo, jak wtedy, gdy azot znajdował się
 jako mieszanina w połowie w postaci saletry, a w połowie w po-
 staci siarczanu amonowego, rozwijał się owies wobec mączki
 fosforytowej wtedy, gdy azot dany był w postaci azotanu amon-
 owego. W tym przypadku jego sucha masa zawierała prawie
 taką samą ilość P_2O_5 , przyswojonego z mączki fosforytowej,
 bo 0.53%. To działanie roztwarzające azotanu amonowego mog-
 łoby się poniekąd wydawać dziwne, bo przypuszczaćby było
 można, że azotan amonowy, którego oba jony mogą dostarczać
 roślinie azotu, uważałyby należało za sól fizjologicznie obo-
 jętną, a więc nie nadającą się do roztwarzania mączki
 fosforytowej. Ale zauważyć należy, że fakt pobierania i prze-
 rabiania przez roślinę zarówno jonów NH_4 , jak NO_3 nie prze-
 sądza bynajmniej o tem, że one oba są pobierane z równą
 szybkością, i otóż doświadczenia Leopolda Zaleskiego¹⁾ wy-
 kazują, że w wielu przynajmniej przypadkach jony NH_4 są
 pobierane prędzej niż jony NO_3 tak, że ośrodek, zawierający
 azot w formie azotanu amonowego, jest umiarkowanie zakwa-
 szony, co czyni nam zrozumiałem roztwarzające działanie azo-
 tanu amonowego na mączkę fosforytową. Zachodzi tu zatem
 taki sam przypadek, jak wtedy, gdy azot jest dany w połowie
 w postaci saletry, a w połowie w postaci siarczanu amono-
 wego.

Widzieliśmy, że obok zakwaszenia zdarza się także, choć
 rzadziej, alkalizowanie środowiska w miejscach jego zetknię-
 cia z korzeniami, gdy anjony są energiczniej pobierane przez
 korzenie niż katjony (np. w przypadku pobierania azotu z saletry
 chilijskiej). Otóż nie jest nie do pomyślenia, że i to może po-

¹⁾ Zaleski Leopold. L. c. Str. 159.

służyć do ułatwienia pobierania niektórych pokarmów ze składników gleby trudno dla roślin przystępnych, mianowicie o ile idzie o pobieranie składników pokarmowych z minerałów krzemianowych. Wiadomo, że te minerały krzemianowe pod wpływem alkaliów mogą ulegać rozkładowi, więc możnaby przypuścić, że także alkalizowanie środowiska w bezpośrednim otoczeniu korzeni mogłoby się przyczynić do ułatwienia pobierania składników pokarmowych z takich minerałów krzemianowych. Niestety, nie mamy dotąd żadnych doświadczalnych danych, któreby mogły potwierdzić lub zaprzeczyć takiemu przypuszczeniu. Przeprowadzenie odpowiednich doświadczeń w tym kierunku byłoby niezawodnie bardzo pożądane.

6. Mechanizm pobierania składników pokarmowych ze związków adsorbcyjnych gleby.

Mechanizm pobierania składników pokarmowych omawialiśmy dotychczas tak, jakby one tylko znajdowały się z jednej strony w gotowym roztworze, z drugiej jako drobne cząsteczki minerałów trudno rozpuszczalnych, z których się gleba składa. Ale dla zrozumienia mechanizmu pobierania pokarmów podnieść jeszcze trzeba, że bardzo znaczna, jeśli nie przeważna, część składników, pobieranych przez roślinę z gleby, znajduje się jeszcze w innej formie, pośredniej pomiędzy roztworem, a bardzo trudno przystępnymi roślinie cząstkami pierwotnych minerałów, z których się gleba wytworzyła, t. j. w stanie t. zw. związków adsorbcyjnych, albo powiedzmy ogólnie związków koloidalnych gleby.

Wiadomo oddawna, że gdy roztwory niektórych soli mineralnych wprowadzimy w zetknięcie z ziemią, to pewna ilość jonów tych soli zostaje przez ziemię pochłonięta, przyczem w wielu przypadkach, ale niezawsze, równoważna ilość innych jonów przechodzi z ziemi do roztworu. Tę zdolność ziemi pochłaniania pewnych ciał z ich roztworów nazywamy zdolnością adsorbcyjną ziemi. Od połowy zeszłego stulecia bardzo wielu uczonych zajmowało się badaniem tej własności adsorbcyjnej i toczyło żywe spory o jej naturę. Od prac B e m m e l e n a (1888), które, nawiasem mówiąc, miały epokowe znaczenie dla ugruntowania rozwoju nauki o koloidach, przyjęło się prawie powszechnie zapatrywanie, że absorbcja polega na tworzeniu się

pomiędzy ciałami adsorbowanymi, a koloidami ziemi tak zwanych związków adsorbcyjnych. W różnicy od chemicznych, związki adsorbcyjne nie mają stałego składu, ale skład ich zależy od szeregu czynników zewnętrznych, działających podczas ich tworzenia się, a więc od temperatury, od stosunku między ilością ciała adsorbującego do ilości roztworu, od czasu, przez który się ze sobą stykają, a nadewszystko od koncentracji roztworu. Dokładna znajomość wszystkiego, co nam wiadomo o własności adsorbcyjnej ziemi, jest dla fizjologa roślin rzeczą nader ważną, szczegóły pod tym względem znaleźć można w każdym podręczniku chemji rolniczej, tu zaznaczymy tylko to, co jest dla mechanizmu pobierania pokarmów z gleby przez rośliny najważniejsze. A więc podkreślamy szczególnie, że ziemia absorbuje z roztworu głównie katjony, z anjonów zaś tylko HPO_4 , natomiast jonów Cl' , SO''_4 , NO'_3 nie absorbuje wcale. Z katjonów absorbuje najsilniej K' , NH'_4 , i Na' , o wiele słabiej Ca'' i Mg'' . Mimo absorpcji samych tylko katjonów, roztwór, z którego absorpcja się dokonywa, pozostaje objętny, gdyż w miejsce zaabsorbowanych przechodzą z ziemi do roztworu inne katjony w równoważnej ilości. Jeżeli zatem dana ziemia absorbuje potas z jakiegoś roztworu jego soli, to w jego miejsce przechodzą z ziemi do roztworu równoważne ilości sodu, magnezu, a szczególnie wapnia. Odwrotnie znowu, jeżeli ziemia znajdzie się w zetknięciu z roztworem gipsu, to część wapna z tego roztworu zostaje przez ziemię pochłonięta, a z ziemi przechodzi do roztworu równoważna ilość innych katjonów, między którymi znajduje się potas. Tak więc absorpcja katjonów z roztworu chlorku, azotanu, siarczanu polega na wymianie tych katjonów na inne, które z ziemi przechodzą do roztworu. W ten sposób ta absorpcja uruchamia pewne składniki, zawarte w glebie i powoduje, że rozpuszczają się one w wilgoci ziemi w większej ilości, niżby się rozpuściły w takiej samej ilości czystej wody. Tak więc dodatek do ziemi pewnych soli, rozpuszczalnych w wodzie, oddziałują na żywienie się roślin w dwojaki sposób, raz przez to, że zasila roztwór, krążący w ziemi, w ten składnik, który ta sól zawiera, a nadto przez to, że zasila go jeszcze w ten składnik, który przez podwójną wymianę przechodzi w miejsce zaabsorbowanego z ziemi do roztworu. Nastęrcza się teraz pytanie, jakie to są te związki gleby, z którymi sole roztworu, wprowadzonego w zetknięcie z ziemią, wchodzą w wymianę

katjonów? Otóż wszystkie przeprowadzone bardzo liczne badania przemawiają za tem, że to są ciała, będące w stanie koloidalnym, i że są niemi najczęściej glinokrzemiany wodne o ogólnych własnościach zeolitów, potem krzemiany koloidalne i wreszcie próchniany. Najważniejszy udział w absorbcji z podwójną wymianą, jak to już w r. 1850 przekonywujacemi doświadczeniami starał się udowodnić Way, przypada owym glinokrzemianom, mniejszy krzemianom i próchnianom koloidalnym.

Ale niezawsze absorbcja katjonów połączona jest z podwójną wymianą. Jeżeli roztwór wprowadzony w zetknięcie z ziemią zawiera te katjony nie w formie chlorków, azotanów lub siarczanów, ale w formie wodorotlenków, węglanów lub fosforanów, a więc w połączeniu z wodą lub słabemi kwasami, albo też, jeżeli ziemia nie zawiera połączeń, z któremi by podwójna wymiana mogła nastąpić, to katjony związków, znajdujących się w roztworze, są absorbowane bez takiej wymiany, a więc bez przechodzenia z ziemi do roztworów równoważnej ilości innych katjonów. Przy takiej formie absorbcji anjony są bądźto także częściowo absorbowane (np. anjon HPO_4), bądź też pozostają w roztworze, albo jako sole kwaśniejsze od pierwotnych, albo nawet jako wolne kwasy. Ta absorbcja katjonów bez podwójnej wymiany polega także na łączeniu się ich z ciałami koloidalnemi, znajdującemi się w ziemi, jednak wchodzą tu w grę nie ciała koloidalne, już do pewnego stopnia nasycone katjonami, ale takie, które są od nich wolne. Innemi słowy powiedzieć można, że absorbcja z podwójną wymianą zależy niejako od soli kwasów koloidalnych, znajdujących się w ziemi, a absorbcja katjonów bez podwójnej wymiany od kwasów koloidalnych wolnych. W tym względzie, jak wykazały badania Bemmela, Königa i innych, wchodzą w grę szczególnie kwas krzemowy i kwasy próchnicowe, które, pochłaniając katjony z roztworów odpowiednich soli, tworzą z niemi absorbcyjne połączenia. Gdy takie połączenia raz się utworzą, mogą znów wymieniać zawarte w nich katjony na inne i absorbować te ostatnie także z roztworów ich chlorków, azotanów lub siarczanów.

Zdolność absorbcyjna różnych gleb względem katjonów jest bardzo niejednakowa; jedne z nich mogą tych katjonów absorbować o wiele więcej, niż drugie. Oczywiście zależy to od obfitości, w jakiej się w danej glebie znajdują owe koloidalne

ciała, od których absorbcja zależy, mogą też być gleby, które absorbują silnie zarówno z podwójną wymianą, jak i bez niej, są inne (np. kwaśne torfy), które absorbują bardzo silnie bez podwójnej wymiany, a tylko słabo z podwójną wymianą. Wszystko to zależy od tego, jak wiele w danej ziemi jest owych ciał koloidalnych i o ile one są już nasycone pewnymi katjonami. Gdy ich jest dużo, a ich własność absorbcyjna jest w znacznej mierze nasycona, np. wapnem, mogą one silnie absorbować potas, sól, amon z roztworów ich chlorków, siarczanów, azotanów, wymieniając je na wapno. Gdy te koloidy o własnościach kwasowych są w bardzo małym tylko stopniu nasycone katjonami, np. torfy wyżynne, ubogie w wapno, wtedy ich zdolność absorbowania z podwójną wymianą jest minimalna, ale zato bardzo silnie mogą absorbować katjony z roztworów wodorotlenków, węglanów, lub fosforanów, bez podwójnej wymiany. Jeżeli byśmy jeszcze zapytali, skąd się biorą w glebie ciała koloidalne, które podczas absorbcji mogą być wymieniane na inne, to ogólnie można powiedzieć tyle, że powstają one podczas wietrzenia minerałów krzemianowych, skałotwórczych, takich jak skalenie, miki, augity i t. p.

Składniki, znajdujące się w połączeniu z takimi ciałami koloidalnymi, bez względu na to czy powstały one już podczas wietrzenia, czy zostały pochłonięte z roztworów jakichś soli, z którymi ziemia została wprowadzona w zetknięcie, są tedy w stanie tak zwanych połączeń absorbcyjnych i mają zdolności znacznie odmienne niż te, które posiadają choćby najbardziej rozdrobnione cząsteczki minerałów pierwotnych. Odnaczają się one tem, że woda choćby czysta, a tem więcej taka, która zawiera znaczniejsze ilości bezwodnika węglowego, rozpuszcza je potrochu małemi ilościami, o wiele łatwiej, niż wtedy, gdy stanowiły one jeszcze pierwotne minerały krzemianowe. Kwas solny, choćby rozcieńczony, zabiera je niemal w całości i, jak już wzmiankowano, mogą się one wymieniać na inne jony przy zetknięciu się z roztworami soli, tem samem rozpuszczają się pod ich wpływem jeszcze łatwiej, niż w wodzie. Wobec tego te składniki pokarmowe, które znajdują się w takich związkach adsorbcyjnych z koloidami, są dla roślin bez porównania przystępniejsze, niż te, które zawarte są w pierwotnych minerałach, bo z jednej strony stanowią nieustanne źródło, z którego roztwór składników pokarmowych w glebie może się uzupełniać, z drugiej zaś w bez-

pośrodku zetknięciu z korzeniami ulegają stosunkowo łatwo omówionemu wyżej, rozpuszczającemu je działaniu i chłonięciu przez nie. To chłonięcie może być ułatwione jeszcze przez wymianę katjonów między korzeniami a owymi połączeniami adsorbcyjnymi koloidów ziemi. Im koloidy ziemi bardziej są nasycone pewnym składnikiem, tem łatwiej go oddają, czy to wilgoci ziemi, czy wprost korzeniom roślinnym. To też wiadomo, że zdarza się, że małe stosunkowo dawki nawozów, wcale nie wywołują zwyżki plonów, a w nieco większych dawkach te same nawozy działają skutecznie. Zachodzi to wtenczas, gdy ziemia ma bardzo silną zdolność adsorbcyjną, wskutek tego małe dawki tak silnie są przez koloidy ziemi zatrzymywane, że korzenie nie są w stanie z nich korzystać i dopiero większe nasylenie tej zdolności przez znaczniejsze dawki nawozowe powoduje łatwiejsze oddawanie zaabsorbowanego składnika korzeniom roślinnym.

Wspomnieliśmy, że obok katjonów może ulegać absorpcji także jon kwasu fosforowego. Tu jako przyczynę przyjąć musimy raczej tworzenie się zwykłych, trudno rozpuszczalnych związków chemicznych, jak fosforanu 2-u lub 3-wapniowego, lub magnezowego, fosforanu glinowego i żelazowego, choć tworzenie się połączeń adsorbcyjnych i tu wykluczone nie jest. Mimo tych nieco odmiennych przyczyn absorpcji kwasu fosforowego taki zaabsorbowany kwas łatwiej jest rozpuszczalny i łatwiej dla korzeni roślin przystępny, niż kwas fosforowy cząstek fosforytów lub apatytów, będących pierwotnem źródłem kwasu fosforowego każdej gleby. Pochodzi to z daleko większego rozdrobnienia cząstek takich świeżo podczas absorpcji utworzonych fosforanów, a często kłaczkowatej galaretowatej ich formy.

Poza roztworami w wilgoci ziemi, poza koloidalnymi połączeniami adsorbcyjnymi i poza rozdrobnionymi cząstkami mineralnymi, wszystkie składniki pokarmów mineralnych znajdują się jeszcze w szczątkach roślinnych i zwierzęcych, znajdujących się w każdej glebie i to tak w szczątkach, mających jeszcze uorganizowaną strukturę, jak i w tak nazwanej próchnicy. Niektóre z tych składników znajdują się jako części składowe pewnych związków organicznych, np. siarka w materjach białkowatych, fosfor w tychże materjach, w nukleinie, lecytynie, fitynie, inne w formie bliżej nieokreślonej. Z tych szczątków roślinnych mogą niektóre składniki wprost przechodzić

do roztworu i być stąd pobierane przez roślinę, inne dopiero wtedy są uruchomione i stają się przystępne dla roślin, gdy materia organiczna uległa rozkładowi pod wpływem mikroorganizmów, w każdym jednakże razie składniki mineralne zawarte w szczątkach organizmów, dawniej żyjących na tej glebie, stanowią poważne źródło pokarmów roślinnych, naogół łatwiej dla korzeni roślin przystępnych, niż te, które są zawarte w cząstkach minerałów.

Znajomość własności próchnicy, procesów w niej zachodzących, rozkładu, jakiemu ona ulega, jest dla fizjologa bardzo ważna, tem więcej, że nietylko jest ona źródłem pokarmów, ale także ważną odgrywa rolę w uprzystępnianiu roślinom składników samej gleby. Rozkład szczątków roślinnych i zwierzęcych odbywa się pod wpływem mikroorganizmów glebę zamieszkujących. Ale te mikroorganizmy mają także bardzo znaczny wpływ na procesy wietrzenia, więc na uruchamianie dla roślin składników pokarmowych, zawartych w minerałach. Ten wpływ bakteryj na procesy wietrzenia minerałów, niezależnie od interesu, jaki budzi w fizjologu ze względu na pobieranie pokarmów przez korzenie roślin, jest sam przez się zagadnieniem fizjologicznym, bo dotyczy mechanizmu żywienia się bakteryj, które przecież także są roślinami. Obszerne i bardzo ciekawe badania w tym względzie zawdzięczamy prof. Bassalikowi.

7. Mechanizm pobierania trudno rozpuszczalnych składników organicznych.

Poniekąd mówiliśmy o tym mechanizmie podczas rozpatrywania badań nad żywieniem się grzybów i bakteryj (w tomie pierwszym), kiedy podnieśliśmy, że w największej liczbie przypadków niezbędnym warunkiem należytego pobierania pokarmów przez grzyby hodowane na naturalnych środowiskach, jak na żyjących innych roślinach, lub ich szczątkach, jest zdolność rozpuszczania różnych, z natury prawie nierozpuszczalnych, substancyj. Dla wyjaśnienia natury tego rozpuszczania uczeni podejmują starania około wydzielenia z danej rośliny tego ciała, które działa rozpuszczająco i przeprowadzają badania nad jego naturą i warunkami najskuteczniejszego działania. Dotychczasowe badania wskazują niewątpliwie na to, że te ciała mają charakter enzymów, że zatem bywają bardzo różne, zależnie

od tego, jakie ciała mają rozpuszczać, a działanie ich zależy od wszystkich czynników, od jakich zależy działanie enzymów. W wyosabnianiu ich i badaniu posługujemy się temi samemi metodami, jak w wyosabnianiu enzymów wogóle, gdziekolwiekby one były, więc stosujemy sporządzanie wyciągów wodnych, lub rozcieńczonych gliceryną, strącanie alkoholem, powtórne rozpuszczanie i strącanie i t. d.

Roślinami, u których enzymy mają największe znaczenie w pobieraniu pokarmów, są grzyby i bakterje, przyczem jak już mówiliśmy w innem miejscu (rozdział o pobieraniu pokarmów węglowych przez grzyby, tom I), rozpuszczające działanie wytwarzanych przez nie enzymów może mieć znaczenie nietylko dla tego grzyba, który te enzymy wytwarza, ale i dla innych podobnych istot, które same nie wytwarzają potrzebnych dla rozpuszczenia danego ciała enzymów, ale korzystają z materiałów rozpuszczonych przez inne grzyby.

Poza grzybami i bakterjami zdarzają się także wyższe rośliny, karmiące się pewnemi materjami organicznemi, które, aby mogły służyć za pokarm, muszą być uprzednio rozpuszczone. Pominiey tu pasorzyty na innych roślinach, takie jak kaniańka, zaraza, a także półpasorzyty, takie jak dzwonec, gnidosz i t. p. a zwrócimy tylko uwagę na tak zwane rośliny mięsożerne, które, żywiąc się wogóle normalnie, okazjnie karmią się także drobnemi owadami, chwytanemi zapomocą właściwych organów, o których już była mowa w I tomie przy rozpatrywaniu badań nad włoskami i gruczołami. Te owady więzną lub topią się w wydzielinach odpowiednich gruczołów, poczem ich materje białkowate zostają rozpuszczone i przez odpowiednie gruczoły wessane. Nad mechanizmem tego rozpuszczania przeprowadzano już wiele badań. W pierwszym rzędzie nastęrczało się pytanie, czy rozpuszczanie części składowych uwięzionego owadu następuje przez własne wydzieliny rośliny, czy może pod wpływem bakteryj, zagnieżdżających się na zwłokach schwytaných owadów. Oczywiście, dla rozstrzygnięcia tego pytania trzeba było poddawać materiał badaniom na bakterje, albo też zbierać aseptyczne wydzieliny rośliny do szklanych naczynek, np. probówek, dodawać do tego wyjałowionego białka i badać, kontrolując aseptyczność, czy zostaje ono rozpuszczone i czy pojawiają się w płynie produkty jego rozkładu. Dalej należało, o ile się dało, badać skład owych wydzielin rośliny, zawartość w nim enzymu i kwasów, warunkujących

jego działanie i zależność tego składu od różnych podrażnień, jakich doznawały wydzielające je gruczoły.

Badania, przeprowadzane w tym kierunku za przykładem Darwina, wykazały, że w niektórych przynajmniej przypadkach bakterje żadnego udziału nie biorą w trawieniu zdobyczy np. u dzbanecznika (*Nepenthes*), ciecz, wydzielana przez gruczoły na spodzie znanych dzbanuszków i zbierająca się w tychże, nietylko sama zdolna jest do rozpuszczania białka, ale działa nawet antyseptycznie na bakterje, co już samo przez się wyklucza udział bakteryj w trawieniu utopionych w tej cieczy owadów. Z drugiej strony zdarzają się odwrotnie takie przypadki, że bakterje przeważną albo wyłączną rolę odgrywają w trawieniu schwytej zdobyczy. Tak np. w znanych pęcherzykach pływacza (*Utricularia*) niema żadnych gruczołów, któreby wytwarzały jakieś trawiące wydzieliny i owady, które się tam przypadkowo dostaną i giną, nie mogąc się stamtąd wydobyć, stają się przedewszystkiem pastwą bakteryj, a dopiero rozłożone przez nie, zdają się być spożytkowane przez rośliny.



POLSKA AKADEMIA NAUK
BIBLIOTEKA
Instytutu im. M. Nenckiego

808

DRUKARNIA
KASY im. MIANOWSKIEGO
WARSZAWA, PALAC STASZICA