

ROCZNIK

WYDZIAŁU FILOZOFICZNEGO
UNIwersytetu Jagiellońskiego

TOM I, ZESZYT II

1930—1934

POD REDAKCJĄ

PROF. DRA ZDZISŁAWA JACHIMECKIEGO

KRAKÓW 1935

NAKŁADEM WYDZIAŁU FILOZOFICZNEGO UNIW. JAGIELL.

ROCZNIK
WYDZIAŁU FILOZOFICZNEGO
UNIwersytetu Jagiellońskiego

TOM I, ZESZYT II

1930—1934

POD REDAKCJA

PROF. DRA ZDZISŁAWA JACHIMECKIEGO

KRAKÓW 1935
NAKŁADEM WYDZIAŁU FILOZOFICZNEGO UNIW. JAGIELL.

DRUKARNIA UNIWERSYTETU JAGIELLOŃSKIEGO POD ZARZĄDEM J. FILIPOWSKIEGO.

Od Redakcji.

Drugi zeszyt I tomu Rocznika Wydziału filozoficznego U. J. zawiera trzy prace naukowe z zakresu Astronomji, Filologii germańskiej i Psychogenetyki, które przedstawiono Redakcji w trakcie drukowania pierwszego zeszytu po złożeniu odpowiednich działów.

L. STANKIEWICZÓWNA

WYZNACZENIE ORBIT PLANETOID 1262 (SNIADOCKIA) I 1263 (VARSAVIA)

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie pewnej metody wyznaczenia orbity małej planetki na podstawie dużej ilości obserwacji, pochodzących z pobliza jednej opozycji. Wzory tej metody są w znacznej części nowe, wyprowadzone przez prof. Banachiewicza. Zostały one zaczerpnięte głównie z krakowskich wykładów p. prof. Banachiewicza, wygłoszonych w roku ak. 1931/32, a częściowo z jego rozprawy: »Méthodes arithmométriques de la correction des orbites«. (Acta Astronomica Sér. c. Vol. 1, 71—86, 1929). Obok zestawienia wzorów podaję tutaj rachunki wykonane dla planetek 1933 FE i 1933 FF odkrytych na drodze fotograficznej przez p. Arenda w Uccle. (Astronomisches Rechen-Institut, Zirkular Nr. 748)¹. Planetki te otrzymały później numery 1262, 1263 i nazwy: Sniadeckia i Varsavia (p. Sprawozdania z czynności i posiedzeń Polskiej Akademji Umiejętności Tom XXXVIII Nr 8. Październik 1933).

Rachunek orbity planetki 1933 FE (Sniadeckia), który w pracy tej prawie w całości przedstawiam, składa się z kilku odrębnych części, a mianowicie: 1) Obliczenie orbity z 3-ch pozycyji (wykonane w przeciągu jednego dnia wspólnie z p. K. Steinsem z Rygi, bawiącym na studjach w Krakowie), 2) obliczenie efemerydy w celu umożliwienia dalszego obserwowania planetki (ogłoszona w R I Nr. 772), 3) poprawienie elementów metodą warjacji odległości geocentrycznych przy pomocy dalszych obserwacji, 4) od-

¹ W dalszym ciągu oznaczam: skrótem RI — Astr. Rechen-Institut Zirkular — skrótem AN — Astronomische Nachrichten, AAc — Acta Astronomica Sér. c.

tworzenie wszystkich zaobserwowanych pozycji, 5) poprawienie elementów metodą współczynników różniczkowych przy pomocy wszystkich obserwacji, 6) ostateczne odtworzenie obserwacji. W przypadku planетки 1933 FF (Varsavia) rachunek biegł innymi etapami. Ażeby nie powtarzać rzeczy podobnych, przytaczam na końcu same wyniki poszczególnych części rachunku, któremi były: 1) wyznaczenie elementów z 3-ch pozycji, 2) obliczenie efemerydy (R I Nr. 772), 3) ponowne wyznaczenie elementów z 3-ch pozycji obranych wygodnie wśród danych z całego okresu obserwacyjnego, 4) odtworzenie obserwacji, 5) poprawienie elementów przy pomocy wyznaczenia ich z 3-ch pozycji, z których jedna została nieco zmieniona, 6) ostateczne odtworzenie obserwacji. (Elementy i ostatnie $O - C$ są podane w A N 251; 133, 134, 138),

W toku rachunku zostały zastosowane krakowiany t. j. macierze prof. Banachiewicza. Stosowanie symboliki krakowianowej jest z wielu względów pożyteczne; wzory zyskują prostotę, rachunek przejrzystość, a co zatem idzie zmniejsza się prawdopodobieństwo popełnienia błędu.

Zestawienie wzorów.

I. Wyznaczenie orbity z 3-ch pozycji.

Metoda wyznaczenia orbity z 3-ch pozycji, którą poniżej przedstawię w całości wzięta jest z wykładów prof. T. Banachiewicza. Początkowe jej wzory, aż do wyznaczenia współrzędnych prostokątnych planety są to wzory metody Gaussa-Encke'go, dostosowanej do rachunków arytmometrycznych, w dalszej części występują wzory prof. Banachiewicza,

a) *Pozycje wyjściowe.* Danymi wyjściowymi do rachunku orbity planetoidy odkrytej na kliszy i obserwowanej fotograficznie są t. zw. pozycje astrograficzne. Są to współrzędne sferyczne równikowe (α, δ) topocentryczne, odniesione do położenia osi układu na początku roku i wolne od aberracji gwiazd stałych, wespół z momentem obserwacji, wyrażonym w czasie uniwersalnym bez uwzględnienia aberracji planetarnej.

b) *Wyznaczenie stałych wielkości pomocniczych.* Stałymi wielkościami pomocniczymi nazywam te wielkości, które w trakcie rachunku niepodlegają kolejnym przybliżeniom, a nie są ani danymi wyjściowymi, ani ostatecznymi poszukiwanymi wielkościami.

Są to: spólrzędne prostokątne słońca, dostawy kierunkowe kierunków ku planecie i stałe współczynniki we wzorach na odległości planety od ziemi (wielkości A, B, C).

Spólrzędne prostokątne geocentryczne słońca (odniesione do tej samej epoki, co dane spólrzędne planety) interpolujemy dla momentów obserwacji z rocznika astronomicznego (np. The Nautical Almanac lub Berliner Jahrbuch) według np. wzoru Newtona (do drugich różnic), który w postaci krakowianowej ma kształt następujący:

$$\{f[t_i + n(t_{i+1} - t_i)]\} = \begin{vmatrix} 1 \\ n \\ \frac{n(n-1)}{2} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} f(t_i) \\ \Delta_1 \\ \Delta_2 \end{vmatrix} \quad (1)$$

przyczem:

$$\Delta_1 = f(t_{i+1}) - f(t_i), \quad \Delta_2 = f(t_{i+2}) - 2f(t_{i+1}) + f(t_i),$$

t_i, t_{i+1}, t_{i+2} oznaczają wartości argumentu, przy których znamy wartości funkcji, $t_{i+2} - t_{i+1} = t_{i+1} - t_i$ czyli odstępy między danymi wartościami argumentu są sobie równe, a wreszcie: n oznacza liczbę dodatnią mniejszą od jedności.

Ze względu na fakt, iż danymi wyjściowymi są spólrzędne sferyczne topocentryczne planety, których nie można zamienić na geocentryczne bez znajomości odległości planety od ziemi obliczamy spólrzędne prostokątne topocentryczne słońca, poprawiając geocentryczne według wzorów:

$$\begin{vmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} C' \cos \Theta_0 \\ C' \sin \Theta_0 \\ C'' \end{vmatrix} \quad (2)$$

gdzie Θ_0 oznacza miejscowy czas gwiazdowy zaś C', C'' są wielkościami stałymi dla miejsca obserwacji. Wzory na C', C'' podaje np. prof. G. Stracke w swej książce: *Bahnbestimmung der Planeten und Kometen* (str. 56). Wzory te w formie krakowianowej przedstawiają się następująco:

$$\begin{Bmatrix} C' \\ C'' \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -\varrho_0 p_\odot \sin 1'' \cos \varphi' \\ -\varrho_0 p_\odot \sin 1'' \sin \varphi' \end{Bmatrix} \quad (3)$$

¹ Macierze krakowianowe mnoży się: »kolumna przez kolumnę«.

Obok wzorów podaje prof. Stracke tabelkę wielkości C' , C'' dla niektórych obserwatorów.

Jako kontrolę współrzędnych geocentrycznych słońca można zastosować dwukrotne wyznaczenie odległości ziemi od słońca (R), raz ze wzoru:

$$R^2 = X^2 + Y^2 + Z^2 \quad (4)$$

drugi raz zapomocą interpolacji (linjowej) z rocznika.

Dostawy kierunkowe kierunków od miejsca obserwacji ku zaobserwowanej pozycji planety daje wzór:

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha \cos \delta \\ \sin \alpha \cos \delta \\ \sin \delta \end{pmatrix} \quad (5)$$

z kontrolą:

$$a^2 + b^2 + c^2 = 1. \quad (6)$$

Po obliczeniu elementów macierzy:

$$\begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{pmatrix}$$

liczy się macierz jej minorów algebraicznych według wzoru:

$$\begin{pmatrix} u_{11} & u_{21} & u_{31} \\ u_{12} & u_{22} & u_{32} \\ u_{13} & u_{23} & u_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_2 c_3 - b_3 c_2 & b_3 c_1 - b_1 c_3 & b_1 c_2 - b_2 c_1 \\ c_2 a_3 - c_3 a_2 & c_3 a_1 - c_1 a_3 & c_1 a_2 - c_2 a_1 \\ a_2 b_3 - a_3 b_2 & a_3 b_1 - a_1 b_3 & a_1 b_2 - a_2 b_1 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Kontrolę daje wzór:

$$\begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_{11} & u_{21} & u_{31} \\ u_{12} & u_{22} & u_{32} \\ u_{13} & u_{23} & u_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} D & 0 & 0 \\ 0 & D & 0 \\ 0 & 0 & D \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Pomocnicze wielkości A , B , C otrzymujemy ze wzoru:

$$\begin{pmatrix} A_1 & A_2 & A_3 \\ B_1 & B_2 & B_3 \\ C_1 & C_2 & C_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_{11} & u_{21} & u_{31} \\ u_{12} & u_{22} & u_{32} \\ u_{13} & u_{23} & u_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 & X_2 & X_3 \\ Y_1 & Y_2 & Y_3 \\ Z_1 & Z_2 & Z_3 \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Po otrzymaniu tych wielkości wygodnie jest obliczyć jeszcze:

$$\begin{pmatrix} A'_2 \\ B'_2 \\ C'_2 \end{pmatrix} = \frac{1}{D} \begin{pmatrix} A_2 \\ B_2 \\ C_2 \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} R_2 \cos \psi_2 \\ R_2^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_2 & X_2 \\ b_2 & Y_2 \\ c_2 & Z_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix}. \quad (10)$$

c) *Pierwsze przybliżenie.* Pierwsze przybliżenie rozpoczynamy rachunkiem przedziałów czasu:

$$t_3 - t_2, t_3 - t_1, t_2 - t_1$$

następnie liczymy:

$$\begin{Bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{Bmatrix} = k \begin{Bmatrix} t_3 - t_2 \\ t_3 - t_1 \\ t_2 - t_1 \end{Bmatrix} \quad (11)$$

k oznacza tutaj stałą Gaussa. Dalej obliczamy przybliżone wartości n^0, ν według wzorów:

$$\begin{Bmatrix} n_1^0 \\ n_3^0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \tau_1 : \tau_2 \\ \tau_3 : \tau_2 \end{Bmatrix}, \quad \begin{Bmatrix} \nu_1 \\ \nu_3 \end{Bmatrix} = \frac{1}{6} \tau_1 \tau_3 \begin{Bmatrix} 1 + n_1^0 \\ 1 + n_3^0 \end{Bmatrix}. \quad (12)$$

Z tych wzór pierwszy jest ścisły (prawo Keplera), drugi zaś przybliżony. Niedokładność w wyznaczeniu n_1^0, n_3^0 , pochodzi tu z nieuwzględnienia aberacji planetarnej.

Po wyrachowaniu współczynników równania Lamberta:

$$\begin{Bmatrix} k \\ l \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} A_2' \\ B_2' \\ C_2' \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} n_1^0 & \nu_1 \\ 1 & 0 \\ -n_3^0 & \nu_3 \end{Bmatrix} \quad (13)$$

rozwiązujemy metodą kolejnych przybliżeń układ równań:

$$q_2 = k - \frac{l}{r_2^3} \quad (14)$$

$$r_2^3 = q_2^3 - 2 R_2 q_2 \cos \psi_2 + R_2^3$$

i otrzymujemy pierwsze przybliżenie dla q_2 (odległość planety od ziemi) i r_2 (odległość planety od słońca w momencie drugiej obserwacji).

Teraz można już obliczyć (przybliżone) stosunki pól trójkątów, utworzonych przez słońce i położenia planety, korzystając ze wzorów:

$$\begin{Bmatrix} n_1 \\ n_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} n_1^0 \\ n_3^0 \end{Bmatrix} + \frac{1}{r_2^3} \begin{Bmatrix} \nu_1 \\ \nu_3 \end{Bmatrix} \quad (15)$$

a następnie odległości planety od ziemi w 3-ch momentach ze wzoru:

$$\begin{Bmatrix} n_1 q_1 D \\ -q_2 D \\ n_3 q_3 D \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} n_1 \\ -1 \\ n_3 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} A_1 & A_2 & A_3 \\ B_1 & B_2 & B_3 \\ C_1 & C_2 & C_3 \end{Bmatrix}. \quad (16)$$

Skolei obliczamy macierze:

$$\begin{pmatrix} \xi_1 & \xi_2 & \xi_3 \\ \eta_1 & \eta_2 & \eta_3 \\ \zeta_1 & \zeta_2 & \zeta_3 \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \\ z_1 & z_2 & z_3 \end{pmatrix},$$

stosując wzory:

$$\begin{pmatrix} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{pmatrix} = \rho \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad (17)$$

dla 3-ch momentów. (ξ, η, ζ są to współrzędne topocentryczne planety; x, y, z heljocentryczne). Jako kontrolę stosuje się wzór:

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n_1 \\ n_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_3 & y_3 & z_3 \end{pmatrix}. \quad (18)$$

d) *Poprawienie pierwszego przybliżenia.* Obliczamy elementy macierzy:

$$\begin{pmatrix} x_3 - x_2 & x_3 - x_1 & x_2 - x_1 \\ y_3 - y_2 & y_3 - y_1 & y_2 - y_1 \\ z_3 - z_2 & z_3 - z_1 & z_2 - z_1 \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} r_1 & s_1 \\ r_2 & s_2 \\ r_3 & s_3 \end{pmatrix}$$

stosując wzory:

$$\begin{aligned} r^2 &= x^2 + y^2 + z^2 \\ s_k^2 &= (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2 \end{aligned} \quad (19)$$

przyczem k, i, j oznaczają: 1, 2, 3 lub: 2, 3, 1, lub 3, 1, 2. Teraz można już poprawić momenty na aberację planetarną, według wzorów:

$$\begin{pmatrix} \Delta t_1 \\ \Delta t_2 \\ \Delta t_3 \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} \varrho_1 \\ \varrho_2 \\ \varrho_3 \end{pmatrix} \quad (20)$$

(przyczem $A = 0.005770$ w dniach średnich) i obliczyć nowe $\tau_1, \tau_2, \tau_3, n_1^0, n_2^0, n_3^0$.

Mając s i r obliczamy dla 3-ch momentów funkcję kąta pomocniczego γ według formuły:

$$\sin \gamma_i = \frac{s_i}{(2r)_i} \quad (21)$$

przyczem:

$$(2r)_i = r + r_k$$

gdzie: i, j, k oznaczają kolejno liczby: 1, 2, 3 lub: 2, 3, 1, lub: 3, 1, 2. Następnie obliczamy wielkości l, m, h według wzorów:

$$l_i = \frac{1}{2} (\sec \gamma_i - 1), \quad m_i = \frac{r_i^2}{[(2r)_i \cos \gamma_i]^3}, \quad (22)$$

$$h_i = \frac{m_i}{\frac{r}{\xi} + l_i + \xi} \quad (23)$$

kładąc w ostatnim wzorze $\xi = 0$.

Znając h można otrzymać η (stosunek pola wycinka eliptycznego do pola trójkąta) z tablic Bauschingera.

Kładąc $\xi = 0$, uczyniliśmy założenie upraszczające, skutkiem czego otrzymana wartość h jest przybliżona, jak również odpowiadająca jej wartość η . Mając jednakże przybliżone η można we wspomnianych wyżej tablicach znaleźć ξ i poprawić h , a następnie η . O ile poprawionej wartości η odpowiadałoby inne ξ , niż poprzednio, należałoby postępować w ten sam sposób dalej. Naogół jednak już pierwsze przybliżenie jest wystarczającym.

Mając η można obliczyć nowe n_1, n_3 według wzorów:

$$\begin{Bmatrix} n_1 \\ n_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} n_1^0 \\ n_3^0 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \eta_1 : \eta_1 & 0 \\ 0 & \eta_2 : \eta_3 \end{Bmatrix} \quad (24)$$

a następnie zastosować formułę:

$$\begin{Bmatrix} v_1 \\ v_3 \end{Bmatrix} = r_2^3 \begin{Bmatrix} n_1 - n_1^0 \\ n_3 - n_3^0 \end{Bmatrix} \quad (25)$$

Mając n_1^0, n_3^0, v_1, v_3 można obliczyć nowe k, l i otrzymać układ równań (14) na r_2, ϱ_2 . Jeżeli wyznaczone następnie z równań (15) wielkości n_1, n_3 okażą się takie same jak poprzednie, można uważać kolejne przybliżenia za skończone. Jeśli nie, postępujemy dalej tak jak w pierwszym przybliżeniu dopóki otrzymane kolejno po sobie wartości n_1, n_3 nie będą te same.

Mając ostateczne n_1, n_3 oblicza się $\varrho, \xi, \eta, \zeta$ i ostateczne x, y, z dla 3-ch momentów.

e) *Elementy* (metoda prof. Banachiewicza).

Danymi wyjściowymi ostatniej części rachunku są spólrzędne

prostokątne planety dla skrajnych momentów obserwacji t. j. elementy macierzy:

$$\begin{Bmatrix} x_1 & x_3 \\ y_1 & y_3 \\ z_1 & z_3 \end{Bmatrix}.$$

Z chwilą otrzymania tej macierzy kończą się kolejne przybliżenia; odtąd rachujemy według wzorów prowadzących wprost do otrzymania elementów orbity. Pierwszym krokiem na tej drodze jest obliczenie macierzy:

$$\begin{Bmatrix} x_3 - x_1 & s & 2r \\ y_3 - y_1 & r_1 & 2rs \\ z_3 - z_1 & r_3 & r_3^2 - r_1^2 \end{Bmatrix}$$

przyczem:

$$2r = r_1 + r_3. \quad (26)$$

Następnie liczymy funkcje \sin , \cos , \sec dla dwu spokrewnionych ze sobą kątów: γ , β stosując związki:

$$\sin \gamma = \frac{s}{2r} \quad (27)$$

$$\sin \beta = \frac{r_3 - r_1}{s} = \frac{r_3^2 - r_1^2}{2rs} \quad (28)$$

Teraz stosujemy wzory (22) t. j.:

$$l = \frac{1}{2} (\sec \gamma - 1)$$

$$m = \frac{\tau^2}{(2r \cos \gamma)^3}$$

i znajdujemy z tablic wielkość η^2 .

Oznaczamy:

$$g = \frac{1}{2} (E_3 - E_1) \quad (29)$$

gdzie E jest anomalją ekscentryczną planety i stosujemy wzór Gaussa:

$$\sin^2 \frac{g}{2} = \frac{m}{\eta^2} - l \quad (30)$$

w celu wyznaczenia g i jego funkcji goniometrycznych.

¹ Nieuproszczony wzór na $\sin \beta$ jest lepszy w praktyce, gdyż licząc według niego można uniknąć straty dokładności.

Jako pierwszy element orbity otrzymujemy półosię większą a ze wzoru:

$$a = \frac{2 r \cos \gamma}{\eta^2} \cdot \frac{m}{\sin^2 g}. \quad (31)$$

Stąd już tylko parę kroków prowadzi do wyznaczenia pozostałych elementów dynamicznych orbity.

Stosujemy kolejno następujące trzy wzory:

$$\cos H = \left(1 - \frac{r}{a}\right) \sec g \quad (32)$$

$$\begin{cases} e \sin w \\ e \cos w \end{cases} = \begin{cases} \sin \beta \\ \cos \beta \cos H \end{cases} \quad (33)$$

$$\begin{cases} \sin G \\ \cos G \end{cases} = \begin{cases} \sin H \sin w \\ \sec \beta \cos w \end{cases} \quad (34)$$

przyczem:

$$G = \frac{1}{2}(E_3 + E_1). \quad (35)$$

Mimośród liczebny e orbity otrzymamy, biorąc pod uwagę, iż:

$$(e \sin w)^2 + (e \cos w)^2 = e^2. \quad (36)$$

Oznaczamy M_0 anomalję średnią planetki w momencie środkowym między skrajnymi obserwacjami t. j. w momencie:

$$t_0 = \frac{1}{2}(t_1 + t_3) \quad (37)$$

mamy wzór:

$$M_0 = G - e \sin G \cos g. \quad (38)$$

Wielkość M_0 zastępuje trzeci element dynamiczny τ (moment przejścia przez perihelium). Element τ można zresztą łatwo obliczyć według formuły:

$$\tau = t_0 - \frac{M_0}{n} \quad (39)$$

przyczem n jest to t. zw. ruch średni dzienny i:

$$n = \frac{k}{a^{\frac{3}{2}}} \quad (40)$$

(Stała Gaussa $k = 0.01720210$).

Dla kontroli można zastosować dwa sposoby wyznaczenia n , jeden ze związku (40), drugi ze wzoru:

$$n = \frac{M_3 - M_1}{t_3 - t_1} \quad (41)$$

pamiętając o równaniu Keplera:

$$M = E - e \sin E \quad (42)$$

i definicjach wielkości G , g .

Stosując jeden z nowych wzorów prof. Banachiewicza, można za pomocą elementów dynamicznych i współrzędnych prostokątnych planety w dwu momentach, bez wyznaczania elementów wektorjalnych, liczyć efemerydę i wyznaczać pozycje. Wzór ten podam niżej, zaznaczając narazie tylko, iż może on być bardzo użyteczny, jeżeli chodzi o wyznaczenie jednej pozycji lub krótkiej efemerydy, w przeciwnym przypadku opłaca się obliczenie elementów wektorjalnych.

Elementy wektorjalne t. j. dostawy kierunkowe osi orbitalnych planety w układzie równikowym zastępują elementy pozycyjne Ω , i , ω . Formuły dla obliczenia elementów wektorjalnych, oznaczanych zwykle:

$$\begin{Bmatrix} P_x & Q_x \\ P_y & Q_y \\ P_z & Q_z \end{Bmatrix}$$

są następujące:

$$2 \begin{Bmatrix} h_x \\ h_y \\ h_z \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -\sin \beta \\ \sin \gamma \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} x_3 + x_1 & y_3 + y_1 & z_3 + z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \end{Bmatrix} \quad (43)$$

$$h^2 = h_x^2 + h_y^2 + h_z^2 \quad (44)$$

$$\begin{Bmatrix} P_x & Q_x \\ P_y & Q_y \\ P_z & Q_z \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \cos w & \sin w \\ -\sin w & \cos w \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} h_x : h & h_y : h & h_z : h \\ s_x : s & s_y : s & s_z : s \end{Bmatrix} \quad (45)$$

przyczem:

$$s_x = x_3 - x_1, \quad s_y = y_3 - y_1, \quad s_z = z_3 - z_1. \quad (46)$$

Mając elementy wektorjalne, można obliczyć pozycyjne stosując kolejno następujące wzory:

$$\begin{vmatrix} P'_x & Q'_x \\ P'_y & Q'_y \\ P'_z & Q'_z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} P_x & Q_x \\ P_y & Q_y \\ P_z & Q_z \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varepsilon & -\sin \varepsilon \\ 0 & \sin \varepsilon & \cos \varepsilon \end{vmatrix} \quad (47)$$

$$\begin{aligned} & \left\{ \begin{matrix} (1 + \cos i) \cos (\Omega + \omega) & (1 + \cos i) \sin (\Omega + \omega) \\ (1 - \cos i) \cos (\Omega - \omega) & (1 - \cos i) \sin (\Omega - \omega) \end{matrix} \right\} = \\ & = \begin{vmatrix} P'_x + Q'_y & P'_y - Q'_x \\ P'_x - Q'_y & P'_y + Q'_x \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} P'_x & P'_y \\ Q'_y & -Q'_x \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{vmatrix} \end{aligned} \quad (48)$$

$$\sin i \begin{vmatrix} \sin \omega \\ \cos \omega \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} P'_x \\ Q'_z \end{vmatrix} \quad (49)$$

$$\begin{vmatrix} \cos \Omega \\ \sin \Omega \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos \omega \\ -\sin \omega \end{vmatrix} \begin{vmatrix} P'_x & P'_y \\ Q'_x & Q'_y \end{vmatrix}. \quad (50)$$

Wzory te kończą problem wyznaczenia elementów z 3-ch pozycji.

II. Rachunek efemerydy.

Mając dane elementy dynamiczne i wektorjalne można liczyć efemerydę sposobem powszechnie używanym, podanym np. w książce prof. Strackego (*Bahnbestimmung der Planeten und Kometen*, str. 201).

Jeżeli znane są elementy dynamiczne i spólrzędne prostokątne dla planety w dwu różnych momentach, można stosować wzór prof. Banachiewicza:

$$\begin{vmatrix} x \\ y \\ z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} M - M_2 - \text{ams}(E - E_2) \\ M - M_1 - \text{ams}(E - E_1) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} -k x_1 - k y_1 - k z_1 \\ k x_2 & k y_2 & k z_2 \end{vmatrix} \quad (51)$$

przyczem:

$$k = \frac{\eta}{M_2 - M_1} \quad (52)$$

$$\text{ams } x = x - \sin x. \quad (53)$$

III. Metoda warjacji odległości geocentrycznych.

Metoda poprawiania elementów zapomocą warjacji odległości geocentrycznych ma zastosowanie częste wtedy, gdy pierwsze elementy nie są na tyle dobre, by można było zastosować metodę spólczynników różniczkowych dla ich poprawienia. Metoda ta wykładana jest w podręcznikach, w szczególności np. w cytowanej już parokrotnie książce prof. Strackego (*Bahnbestimmung*

der Planeten und Kometen s. 296) i z tego powodu wzorów jej tutaj nie przytaczam. Zaznaczę tylko, iż metoda ta, znacznie upraszcza się przy zastosowaniu wzorów (51) i nast.

IV. Odtworzenie pozycji.

Dla odtworzenia pozycji przy pomocy danych elementów istnieją dwie drogi: pierwsza to obliczenie efemerydy na okres obejmujący obserwacje i interpolacja dla danych momentów, druga obliczanie położenia planety wprost dla momentów obserwacji. Pierwsza z tych metod ma tę przewagę nad drugą, że daje kontrolę, druga zaś jest szybsza. Jeżeli chcemy stosować pierwszą metodę liczymy efemerydę geocentrycznie w odstępach np. jednodniowych. Mając wyrachowane współrzędne α, δ dla początku doby, interpolacją znajdujemy je dla momentów obserwacji poprawionych na aberację planetarną. By jednak wynik można było porównać z obserwacjami trzeba jeszcze uwzględnić dwie poprawki: na paralaksę i aberację gwiazd stałych.

Jeżeli chcemy korzystać z drugiej metody postępujemy w sposób następujący: interpolujemy (z rocznika) współrzędne prostokątne słońca dla momentów niepoprawionych na aberację i za pomocą wzorów (2) poprawiamy je na paralaksę (t. j. zamieniamy na współrzędne topocentryczne), później zaś obliczamy współrzędne prostokątne planety dla momentów poprawionych na aberację. Kombinując jedno współrzędne z drugimi otrzymamy współrzędne topocentryczne planety porównywalne wprost ze współrzędnymi astrograficznymi.

V. Metoda współczynników różniczkowych.

Porównywuając współrzędne obliczone na podstawie elementów przybliżonych ze współrzędnymi obserwowanymi otrzymujemy różnice: $O - C$.

Jeżeli różnice te nie leżą w granicach dokładności obserwacji, ani też nie mamy powodu składania ich na karb perturbacji (jak to ma miejsce przy obserwacjach z niewielkiego okresu czasu) wówczas elementy wymagają poprawienia. Najsubtelniejszą metodą poprawiania elementów jest metoda współczynników różniczkowych. Metodę tę można jednak tylko stosować, gdy różnice $O - C$ są dostatecznie małe, czyli elementy już dość dobre. Teoria wymaga, by różnice między elementami danymi, a »najlepszymi« były tak małe, iżby ich kwadraty i wyższe potęgi można było zaniedbywać. Jeżeli to założenie podstawowe nie jest speł-

nione, może się zdarzyć, że elementy po poprawieniu są gorsze (dają większe $O - C$), lub, że wprawdzie są lepsze, lecz potrzebują dalszego poprawienia (kolejne poprawienie metodą współczynników różniczkowych może dać wynik dobry, lecz nie musi, a jest przytem bardzo uciążliwe).

Poprawki elementów wyznacza się tutaj z równań linjowych:

$$\cos \delta \left(\frac{\partial \alpha}{\partial M_0} dM_0 + \frac{\partial \alpha}{\partial n} dn + \frac{\partial \alpha}{\partial \varphi} d\varphi + \frac{\partial \alpha}{\partial p} dp + \frac{\partial \alpha}{\partial q} dq + \frac{\partial \alpha}{\partial r} dr \right) = (\alpha_o - \alpha_c) \cos \delta \quad (54)$$

$$\frac{\partial \delta}{\partial M_0} dM_0 + \frac{\partial \delta}{\partial n} dn + \frac{\partial \delta}{\partial \varphi} d\varphi + \frac{\partial \delta}{\partial p} dp + \frac{\partial \delta}{\partial q} dq + \frac{\partial \delta}{\partial r} dr = \delta_o - \delta_c$$

Każdej obserwacji, odpowiadają dwa równania, będziemy więc mieli dwa razy tyle równań co obserwacyj. Równania te rozwiązuje się metodą najmniejszych kwadratów.

Niewiadome dp , dq , dr są związane z elementami pozycyjnymi i wektorjalnymi zapomocą następujących związków:

$$\begin{pmatrix} di \\ \sin i d\Omega \\ \operatorname{tg} i d\omega \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} dp \\ dq \\ dr \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \omega \sin \omega - \sin \omega \\ -\sin \omega \cos \omega \dots \cos \omega \\ 0 \quad 0 \quad \operatorname{tg} i \end{pmatrix} \quad (55)$$

$$\begin{pmatrix} P_x P_y P_z \\ Q_x Q_y Q_z \\ R_x R_y R_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_x P_y P_z \\ Q_x Q_y Q_z \\ R_x R_y R_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & -dr & dq \\ dr & 1 & -dp \\ -dq & dp & 1 \end{pmatrix} \quad (56)$$

poprawione wyjściowe

Ostatni wzór jest przybliżony, można go stosować tylko wtedy, jeśli kwadraty dp , dq , dr są zaniedbywalne. Wzór ścisły jest następujący:

$$\begin{pmatrix} P_x Q_x R_x \\ P_y Q_y R_y \\ P_z Q_z R_z \end{pmatrix} = r(dr) q(-dq) p(-dp) \begin{pmatrix} P_x P_y P_z \\ Q_x Q_y Q_z \\ R_x R_y R_z \end{pmatrix}^1 \quad (57)$$

Macierz krakowianową współczynników przy niewiadomych w pierwszym i drugim równaniu (54) oznaczamy:

$$C \frac{\cos \delta d\alpha, d\delta}{dM_0, dn, d\varphi, dp, dq, dr}$$

Oblicza się ją ze wzoru: (AAc Vol 1, p. 73, 1929).

¹ $p(\alpha)$, $q(\alpha)$, $r(\alpha)$ t. zw. krakowiany obrotowe.

$$C \frac{\cos \delta d\alpha, d\delta}{dM_0, dn, d\varphi, dp, dq, dr} = \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & 0 & 0 & -\bar{y} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & 0 & 0 & \bar{x} \\ 0 & 0 & 0 & \bar{y} & -\bar{x} & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \alpha_{12} & \alpha_{13} \\ \alpha_{22} & \alpha_{23} \\ \alpha_{32} & \alpha_{33} \end{vmatrix} \quad (58)$$

gdzie:

$$\begin{vmatrix} \alpha_{12} & \alpha_{13} \\ \alpha_{22} & \alpha_{23} \\ \alpha_{32} & \alpha_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & -\sin \delta : \rho \\ 1 : \rho & 0 \\ 0 & \cos \delta : \rho \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} P_x & Q_x & R_x \\ P_y & Q_y & R_y \\ P_z & Q_z & R_z \end{vmatrix} \quad (59)$$

$$\begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a & a(t-t_0) & \bar{y} \\ 0 & -\frac{2}{3k} a^{3/2} & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} -\bar{y} \sec \varphi : r & b \cos E : r \\ \bar{x} & \bar{y} \\ b & \bar{y} \operatorname{tg} \varphi \end{vmatrix} \quad (60)$$

\bar{x} , \bar{y} oznaczają tutaj spólrzędne orbitalne planety, ρ odległość od ziemi, r odległość od słońca, α , δ spólrzędne odpowiadające elementom wyjściowym.

Dla kontroli spólrzeczyników można zastosować drugą metodę (p. *AAC* Vol 1, p. 71—86) lub też wprowadzić pewne małe zmiany elementów i obliczyć odpowiadające im $O-C$ dwoma sposobami: raz z równań (54), drugi raz przez odtworzenie pozycyj.

Rachunek elementów planetki: 1933 FE.

Obliczanie elementów z 3-ch pozycyj.

Dane wyjściowe:

Data (TU)	$\alpha_{1933.0}$	$\delta_{1933.0}$
III. 23.936414	11 ^h 42 ^m 54 ^s .68	+ 17 ^o 50' 24" 1
1933 IV. 13.865803	11 30 7.37	+ 19 10 19.3
IV. 22.921856	11 26 47.85	+ 19 16 35.8

Miejsce obserwacji: Uccle (Observ. Royal) ($\lambda = -0^{\text{h}} 17^{\text{m}} 25^{\text{s}}.99$, $\varphi = +50^{\circ} 47' 54''$).

Spólrzędne prostokątne słońca (geocentryczne) dla epoki 1933.0 (według *The Nautical Almanac* 1933).

$$\begin{vmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 \\ +0.936414 \\ 0.02977 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} +0.9963506 & +0.0305515 & +0.0132505 \\ - & 4379 & + & 158287 & + & 68662 \\ - & 2987 & - & 133 & - & 58 \end{vmatrix} =$$

$$= \begin{vmatrix} +0.9959494 \\ +0.0453741 \\ +0.0196803 \end{vmatrix} \begin{matrix} R_{\text{calc}} = 0.9971767 \\ R_{\text{int}} = 0.9971768 \end{matrix}$$

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{Bmatrix} &= \begin{Bmatrix} 1 \\ +0.865803 \\ -0.05809 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} +0.9257719 + 0.3537826 + 0.1534450 \\ -64623 + 145680 + 63185 \\ -2689 - 1063 - 459 \end{Bmatrix} = \\ &= \begin{Bmatrix} +0.9201924 \\ +0.3664018 \\ +0.1589182 \end{Bmatrix} \begin{matrix} R_{\text{calc}} = 1.0031248 \\ R_{\text{int}} = 1.0031249 \end{matrix} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} X_3 \\ Y_3 \\ Z_3 \end{Bmatrix} &= \begin{Bmatrix} 1 \\ +0.921856 \\ -0.03602 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} +0.8580930 + 0.4807143 + 0.2085035 \\ -88092 + 134598 + 58386 \\ -2485 - 1439 - 626 \end{Bmatrix} = \\ &= \begin{Bmatrix} +0.8499811 \\ +0.4931275 \\ +0.2138881 \end{Bmatrix} \begin{matrix} R_{\text{calc}} = 1.0056792 \\ R_{\text{int}} = 1.0056791 \end{matrix} \end{aligned}$$

R_{int} otrzymane jest z rocznika (The Nautical Almanac 1933 str. 39) zapomocą interpolacji linjowej. Zachodzi zupełna zgoda między R_{calc} a R_{int} .

Poprawka na paralaksę:

$$\begin{aligned} TU \odot \quad \text{red. na } t_* \quad t_* 0^{\text{h}} \text{ Gr} \quad - \lambda \text{ Uccle} \\ \begin{Bmatrix} \theta_{01} \\ \theta_{02} \\ \theta_{03} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 22^{\text{h}} 28.4^{\text{m}} \\ 20 46.8 \\ 22 7.5 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 3.7^{\text{m}} \\ 3.4 \\ 3.6 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 12^{\text{h}} 0.1^{\text{m}} \\ 13 22.9 \\ 13 58.4 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 17.4^{\text{m}} \\ 17.4 \\ 17.4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 10 49.6^{\text{h}} \\ 10 30.5^{\text{m}} \\ 12 26.9 \end{Bmatrix} \end{aligned}$$

$$\{C' C''\} = \{-270, -329\} \cdot 10^{-7}$$

(Stracke: Bahnbestimmung S. 332).

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} \cos \theta_{01} \sin \theta_{01} \\ \cos \theta_{02} \sin \theta_{02} \\ \cos \theta_{03} \sin \theta_{03} \end{Bmatrix} &= \begin{Bmatrix} -0.953 + 0.302 \\ -0.925 + 0.381 \\ -0.993 - 0.117 \end{Bmatrix} \\ \begin{Bmatrix} \Delta X_1 \Delta X_2 \Delta X_3 \\ \Delta Y_1 \Delta Y_2 \Delta Y_3 \\ \Delta Z_1 \Delta Z_2 \Delta Z_3 \end{Bmatrix} &= \begin{Bmatrix} +257 + 250 + 268 \\ -82 - 103 + 32 \\ -329 - 329 - 329 \end{Bmatrix} \cdot 10^{-7} \end{aligned}$$

funkcje \sin , \cos dla kąta wyrażonego w godzinach i minutach można znaleźć według tabelki w The Nautical Almanac str. 293.

Spółrzędne słońca topocentryczne:

$$\begin{Bmatrix} X_1 X_2 X_3 \\ Y_1 Y_2 Y_3 \\ Z_1 Z_2 Z_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} +0.995975 + 0.920217 + 0.850008 \\ +0.045366 + 0.366392 + 0.493131 \\ +0.019647 + 0.158885 + 0.213855 \end{Bmatrix}$$

Rachunek dostaw kierunkowych kierunków ku planecie:

$$\begin{Bmatrix} \alpha_1 \delta_1 \\ \alpha_2 \delta_2 \\ \alpha_3 \delta_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 175^{\circ} 43' 40'' + 17^{\circ} 50' 24'' \\ 172 31 50.6 + 19 10 19.3 \\ 171 41 57.8 + 19 16 35.8 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} \cos \alpha_1 \cos \alpha_2 \cos \alpha_3 \\ \sin \alpha_1 \sin \alpha_2 \sin \alpha_3 \\ \cos \delta_1 \cos \delta_2 \cos \delta_3 \\ \sin \delta_1 \sin \delta_2 \sin \delta_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0.997221 - 0.991514 - 0.989524 \\ + 0.074494 + 0.129994 + 0.144367 \\ + 0.951916 + 0.944537 + 0.943936 \\ + 0.306360 + 0.328406 + 0.330129 \end{Bmatrix}$$

Do rachunku wartości funkcji trygonometrycznych użyte były tutaj tablice: Peters, Sechsstellige Tafeln der Trigonometrischen Funktionen.

$$\begin{Bmatrix} a_1 a_2 a_3 \\ b_1 b_2 b_3 \\ c_1 c_2 c_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -0.949271 - 0.936522 - 0.934047 \\ + 0.070912 + 0.122784 + 0.136273 \\ + 0.306360 + 0.328406 + 0.330129 \end{Bmatrix} \cdot \begin{matrix} + 0,4 & - 0,1 & - 0,7 \end{matrix}$$

Liczby napisane pod macierzą dostaw kierunkowych są to odchylenia od jedynki wartości sumy $a^2 + b^2 + c^2$, w jednostkach 6-go znaku dziesiętnego.

Macierz minorów:

$$\begin{Bmatrix} u_{11} u_{21} u_{31} \\ u_{12} u_{22} u_{32} \\ u_{13} u_{23} u_{33} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -0.004218312 + 0.018338489 - 0.014328180 \\ + 0.002426432 - 0.027227247 + 0.024833412 \\ - 0.012936636 + 0.063124866 - 0.050144642 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} a_1 a_2 a_3 \\ b_1 b_2 b_3 \\ c_1 c_2 c_3 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} u_{11} u_{21} u_{31} \\ u_{12} u_{22} u_{32} \\ u_{13} u_{23} u_{33} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -0.949271 - 0.936522 - 0.934047 \\ + 0.070912 + 0.122784 + 0.136273 \\ + 0.306360 + 0.328406 + 0.330129 \end{Bmatrix}$$

$$\times \begin{Bmatrix} -0.004218312 + 0.018338489 - 0.014328180 \\ + 0.002426432 - 0.027227247 + 0.024833412 \\ - 0.012936636 + 0.063124866 - 0.050144642 \end{Bmatrix} =$$

$$= \begin{Bmatrix} + 0.0002131166 + & & 01 + & & 01 \\ - & & 03 + 0.0002131161 - & & 04 \\ + & & 01 + & & 01 + 0.0002131166 \end{Bmatrix}$$

$$D = + 0.0002131165$$

$$1/D = + 4692.27$$

Większą ilość znaków zachowuję tutaj dla utrzymania wewnętrznej zgody.

$$\begin{pmatrix} A_1 & A_2 & A_3 \\ B_1 & B_2 & B_3 \\ C_1 & C_2 & C_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.004218312 & +0.018338489 & -0.014328180 \\ +0.002426432 & -0.027227247 & +0.024833412 \\ 0.012936636 & +0.063124866 & -0.050144642 \end{pmatrix} \\ \times \begin{pmatrix} +0.995975 & +0.920217 & +0.850008 \\ +0.045366 & +0.366392 & +0.493131 \\ +0.019647 & +0.158885 & +0.213855 \end{pmatrix} = \\ = \begin{pmatrix} -0.004345427 & +0.018269734 & -0.014129137 \\ -0.005048182 & +0.016929183 & -0.012053540 \\ -0.005155618 & +0.015660854 & -0.010656645 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} A'_2 \\ B'_2 \\ C'_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 85.7265 \\ 79.4363 \\ 73.4849 \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} R_2 \cos \psi_2 \\ R_2^2 \end{pmatrix} =$$

$$\begin{pmatrix} -0.936522 & +0.920217 \\ +0.122784 & +0.366392 \\ +0.328406 & +0.158885 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} +0.920217 \\ +0.366392 \\ +0.158885 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.764638 \\ +1.006288 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} t_3 - t_2 & \tau_1 \\ t_3 - t_1 & \tau_2 \\ t_3 - t_1 & \tau_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 9.056053 & 0.1557831 \\ 29.985442 & 0.5158126 \\ 20.929389 & 0.3600294 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} n_1^0 \\ n_3^0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.302015 \\ 0.697985 \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_3 \end{pmatrix} = 0.00934775 \begin{pmatrix} 1.302015 \\ 1.697985 \end{pmatrix} = \\ = \begin{pmatrix} 0.0121709 \\ 0.0158723 \end{pmatrix}$$

kontrola:

$$n_1^0 + n_3^0 = 1.$$

$$\begin{pmatrix} k \\ l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 85.7265 \\ 79.4363 \\ 73.4849 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -0.302015 & 0.0121709 \\ 1 & 0 \\ -0.697985 & 0.0158723 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.25420 \\ 2.20974 \end{pmatrix}$$

Równania na r_2 , q_2 :

$$q_2 = 2.25420 - \frac{2.20974}{r_2^2}$$

$$r_2^3 = q_2^2 + 1.52928 q_2 + 1.00629.$$

Aby rozwiązać ten układ postępujemy tutaj w ten sposób: przyjmujemy jakąś grubo przybliżoną wartość r_2 np. 2·5 lub 3·0, a następnie: z pierwszego równania obliczamy ϱ_2 i podstawiamy w drugim zaczem otrzymujemy nowe r_2 ; mając nowe r_2 z pierwszego równania otrzymamy nowe ϱ_2 i t. d. Powtarzamy te czynności tak długo, aż dwie kolejno po sobie następujące wartości r_2 lub ϱ_2 wypadną sobie równe.

Kolejne przybliżenia:

r_2	r_2^3	l/r_2^3	ϱ_2	r_2^2
3·0	27·0	0·08184	2·17236	9·04758
3·00792	27·214	0·08120	2·17300	9·05134
3·00854	27·231	0·08115	2·17305	9·05164
3·00859	27·233	0·08114	2·17306	9·05170
<u>3·00860</u>	<u>27·233</u>			

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} n_1 \\ n_3 \end{Bmatrix} &= \begin{Bmatrix} 0\cdot302015 \\ 0\cdot697985 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0\cdot000447 \\ 0\cdot000583 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0\cdot302462 \\ 0\cdot698568 \end{Bmatrix} \\ &= \begin{Bmatrix} n_1 & \varrho_1 & D \\ - & \varrho_2 & D \\ n_3 & \varrho_3 & D \end{Bmatrix} = \\ &= \begin{Bmatrix} 0\cdot302462 \\ \frac{1}{r_2} \\ 0\cdot698568 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} -0\cdot004345427 + 0\cdot018269734 - 0\cdot014129137 \\ -0\cdot005048182 + 0\cdot016929183 - 0\cdot012053540 \\ -0\cdot005155618 + 0\cdot015660854 - 0\cdot010656645 \end{Bmatrix} = \\ &= \begin{Bmatrix} +0\cdot0001323387 \\ -0\cdot0004631113 \\ +0\cdot0003356218 \end{Bmatrix} \end{aligned}$$

$$\begin{Bmatrix} n_1 & D \\ - & D \\ n_3 & D \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} +0\cdot00006445964 \\ -0\cdot0002131165 \\ +0\cdot00014887637 \end{Bmatrix}, \quad \begin{Bmatrix} \varrho_1 \\ \varrho_2 \\ \varrho_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 2\cdot053047 \\ 2\cdot173043 \\ 2\cdot254366 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} \xi_1 & \xi_2 & \xi_3 \\ \eta_1 & \eta_2 & \eta_3 \\ \zeta_1 & \zeta_2 & \zeta_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -1\cdot948898 & -2\cdot035103 & -2\cdot105684 \\ +0\cdot145586 & -0\cdot266815 & +0\cdot307209 \\ +0\cdot628972 & -0\cdot713640 & +0\cdot744232 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \\ z_1 & z_2 & z_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -2\cdot944873 & -2\cdot955321 & -2\cdot955692 \\ +0\cdot100220 & -0\cdot099576 & -0\cdot185922 \\ +0\cdot609325 & +0\cdot554755 & +0\cdot530377 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x_3 - x_2 & x_3 - x_1 & x_2 - x_1 \\ y_3 - y_2 & y_3 - y_1 & y_2 - y_1 \\ z_3 - z_2 & z_3 - z_1 & z_2 - z_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.000371 & -0.010819 & -0.010448 \\ -0.086346 & -0.286142 & -0.199796 \\ -0.024378 & -0.078948 & -0.054570 \end{pmatrix},$$

$$\begin{pmatrix} r_1 & s_1 \\ r_2 & s_2 \\ r_3 & s_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3.00892 & 0.089722 \\ 3.00859 & 0.297030 \\ 3.00865 & 0.207378 \end{pmatrix}$$

$$A \begin{pmatrix} \varrho_1 \\ \varrho_2 \\ \varrho_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.011846 \\ 0.012538 \\ 0.013008 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} t_1^0 & t_3 - t_2 & \tau_1 \\ t_2^0 & t_3 - t_1 & \tau_2 \\ t_3^0 & t_2 - t_1 & \tau_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{III. } 23.924568 & 9.055583 & 0.1557750 \\ & 13.853265 & 29.984280 & 0.5157926 \\ \text{IV. } 22.908848 & 20.928697 & 0.3600175 \end{pmatrix}$$

	$\sin \gamma$	$\cos \gamma$	$\sec \gamma$	$2r \cos \gamma$	$(2r \cos \gamma)^2$	r^2
1.	0.014910	0.999889	1.000111	6.01674	217.813	0.0242658
2.	0.049360	0.998781	1.001221	6.01024	217.108	0.2660420
3.	0.034462	0.999406	1.000594	6.01410	217.526	0.1296126

	m	l	h	$\log \eta^2$
1.	0.00011141	0.000056	0.0001337	0.0001290
2.	0.0012254	0.000510	0.0014694	0.0014144
3.	0.0005958	0.000297	0.0007149	0.0006890

$$\begin{pmatrix} \log \eta_2^2 : \eta_1^2 & \log \eta_2 : \eta_1 & \eta_2 : \eta_1 \\ \log \eta_2^2 : \eta_3^2 & \log \eta_2 : \eta_3 & \eta_2 : \eta_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.0012854 & 0.0006427 & 1.001481 \\ 0.0007254 & 0.0003627 & 1.000835_5 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} n_1^0 \\ n_3^0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.3020110 \\ 0.6979890 \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} n_1 \\ n_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.3024583 \\ 0.6985721 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} v_1 \\ v_3 \end{pmatrix} = 27.2371 \begin{pmatrix} 0.0004473 \\ 0.0005831 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.0121831 \\ 0.0158819 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} k \\ l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 85.7265 \\ 79.4363 \\ 73.4849 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -0.3020110 & 0.0121831 \\ 1 & 0 \\ -0.6979890 & 0.0158819 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.254253 \\ 2.111495 \end{pmatrix}.$$

3*

Równania na r_2 , q_2 :

$$q_2 = 2.254253 - \frac{2.111495}{r_2^3}$$

$$r_2^2 = q_2^2 + 1.529276 q_2 + 1.006288.$$

Kolejne przybliżenia:

r_2	r_2^3	$1/r_2^3$	q_2	r_2^2
3.0086	27.2329	0.081207	2.173046	9.051604
3.008588	27.2325	0.081208	2.173045	9.051598
3.008587	27.2325			

$$\begin{Bmatrix} n_1 \\ n_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0.3020110 \\ 0.6979890 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0.0004474 \\ 0.0005832 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0.3024584 \\ 0.6985722 \end{Bmatrix}.$$

Otrzymane tutaj wartości nie różnią się prawie od poprzednich. Można je uważać za ostateczne.

Teraz dążymy do obliczenia ostatecznych x , y , z ; w tym celu rachujemy:

$$\begin{aligned} & \begin{Bmatrix} n_1 q_1 D \\ -q_2 D \\ n_3 q_3 D \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} + 0.3024584 \\ - 1 \\ + 0.6985722 \end{Bmatrix} \times \\ & \times \begin{Bmatrix} - 0.004345427 + 0.018269734 - 0.014129137 \\ - 0.005048182 + 0.016929183 - 0.012053540 \\ - 0.005155618 + 0.015660854 - 0.010656645 \end{Bmatrix} = \\ & = \begin{Bmatrix} + 0.000132300 \\ - 0.000463111 \\ + 0.000335628 \end{Bmatrix} \\ & \begin{Bmatrix} n_1 D \\ - D \\ n_3 D \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} + 0.0000644589 \\ + 0.0002131165 \\ + 0.0001488773 \end{Bmatrix}, \quad \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 2.052471 \\ 2.173042 \\ 2.254393 \end{Bmatrix} \\ & \begin{Bmatrix} \Delta t_1 \\ \Delta t_2 \\ \Delta t_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0.011843 \\ 0.012538 \\ 0.013008 \end{Bmatrix}. \end{aligned}$$

Zmiany w poprawce na aberację, nie wprowadzą już zmian w n^0 .

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} \xi_1 & \xi_2 & \xi_3 \\ \eta_1 & \eta_2 & \eta_3 \\ \zeta_1 & \zeta_2 & \zeta_3 \end{Bmatrix} &= \begin{Bmatrix} -1.948351 & -2.035102 & -2.105709 \\ +0.145545 & +0.266815 & +0.307213 \\ +0.628795 & +0.713640 & +0.744240 \end{Bmatrix} \\ \begin{Bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \\ z_1 & z_2 & z_3 \end{Bmatrix} &= \begin{Bmatrix} -2.944326 & -2.955320 & -2.955717 \\ +0.100179 & -0.099576 & -0.185918 \\ +0.609148 & +0.554755 & +0.530385 \end{Bmatrix}. \end{aligned}$$

Kontrola:

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \end{Bmatrix} &= \begin{Bmatrix} +0.3024584 \\ +0.6985722 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} -2.944326 & +0.100179 & +0.609148 \\ -2.955717 & -0.185918 & +0.530385 \end{Bmatrix} = \\ &= \begin{Bmatrix} -2.955318 \\ -0.099577 \\ +0.055754 \end{Bmatrix} \end{aligned}$$

wykazuje wewnętrzną zgodę; przystępujemy do wyznaczenia elementów.

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} x_3 - x_1 & s & 2r \\ y_3 - y_1 & r_1 & 2rs \\ z_3 - z_1 & r_3 & r_3^2 - r_1^2 \end{Bmatrix} &= \begin{Bmatrix} -0.011391 & 0.296959 & 6.017024 \\ -0.286097 & 3.008347 & 1.786809 \\ 0.078763 & 3.008677 & 0.0019840 \end{Bmatrix} \\ \begin{Bmatrix} \sin \gamma & \sin \beta \\ \cos \gamma & \cos \beta \\ \sec \gamma & \sec \beta \end{Bmatrix} &= \begin{Bmatrix} 0.0493532 & 0.00111036 \\ 0.9987814 & 0.999999 \\ 1.001220 & 1.000001 \end{Bmatrix}, \quad \begin{Bmatrix} l \\ m \\ h \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0.00061005 \\ 0.00122573 \\ 0.0014678 \end{Bmatrix} \end{aligned}$$

$$\begin{Bmatrix} \log \eta^2 \\ \eta^2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0.0014148 \\ 1.003263 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} \sin^2 \frac{g}{2} & \sin g \\ \sin^2 g & \cos g \\ g & \sec g \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0.00061169 & 0.049450 \\ 0.00244526 & 0.998777 \\ 2.83442 & 1.001224 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} 2r \cos \gamma \\ 2r \cos \gamma : \eta^2 \\ m : \sin^2 g \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 6.009692 \\ 5.99015 \\ 0.501268 \end{Bmatrix}$$

$$a = \underline{3.00267}$$

$$\begin{Bmatrix} \cos H \\ \sin H \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -0.0019480 \\ +0.999998 \end{Bmatrix}, \quad \begin{Bmatrix} e \sin w \\ e \cos w \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} +0.0011104 \\ -0.0019480 \end{Bmatrix}$$

$$e = \underline{0.002242} \quad (e = 0.12846)$$

$$\begin{cases} \sin w \\ \cos w \end{cases} = \begin{cases} +0.49522 \\ -0.86877 \end{cases}, \quad \begin{cases} \sin G \\ \cos G \end{cases} = \begin{cases} +0.49522 \\ -0.86877 \end{cases}$$

$$\begin{cases} G \\ \sin G \cos g \end{cases} = \begin{cases} 150.3157 \\ 0.49461 \end{cases}$$

$$M_0 = \underline{150.379}$$

$$\text{dla } t_0 = \text{IV. } 7.916708.$$

Kontrola:

$$n = \frac{k}{a^{3/2}} = \frac{0.01720210}{5.20309} = 0.00330613 = 0.189427$$

$$\begin{cases} G & E_3 & M_3 \\ g & E_1 & M_1 \end{cases} = \begin{cases} 150.3157 & 153.1501 & 153.0921 \\ 2.8344 & 147.4813 & 147.4122 \end{cases}$$

$$n = \frac{M_3 - M_1}{t_3 - t_1} = \frac{5.6799}{29.9843} = 0.189429.$$

Zgodność wyników jest wystarczająca.

Do poprawienia pierwszych elementów planetki 1933 *FE* została użyta metoda warjacji odległości geocentrycznych. Jako podstawa rachunku zostały wybrane 3 pozycje następujące:

$$\begin{array}{lll} \text{III. } 23.936414 & 11^{\text{h}} 42^{\text{m}} 54.68^{\text{s}} & + 17 50' 24'' \\ \text{IV. } 22.921856 & 11 26 47.85 & + 19 16 35.8 \\ \text{V. } 23.966608 & 11 28 22.56 & + 17 48 29.4 \end{array}$$

Stosując metodę warjacji odległości geocentrycznych można wykorzystać wszystkie obserwacje, tu wybrane zostały tylko 3, a to w celu skrócenia rachunku. Metoda warjacji odległości geocentrycznych została bowiem użyta tutaj tylko pomocniczo, jako wstęp do metody współzynn timeróżniczkowych.

Elementy otrzymane w tym etapie rachunku są następujące:

$$\begin{cases} a & n \\ e & \varphi \\ M_0 & t_0 \end{cases} = \begin{cases} 3.010157 & 0.188721 \\ 0.008729 & 0.50014 \\ 286.46032 & \text{IV. } 23.438077 \end{cases}$$

Elementy te wespół ze współrzędnymi prostokątnymi planety dla skrajnych momentów:

$$\begin{Bmatrix} x_1 & x_3 \\ y_1 & y_3 \\ z_1 & z_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -2.941605 & -2.928598 \\ +0.099976 & -0.481618 \\ +0.608270 & +0.440304 \end{Bmatrix}$$

posłużyły do odtworzenia pozycji (przez rachunek efemerydy). Obserwacje i odchylenia od nich są następujące:

Data	$\alpha_{1933.0}$	$\delta_{1933.0}$	$\alpha_o - \alpha_c$	$\delta_o - \delta_c$
III. 23-936414	11 42 ^h 54 ^m 68 ^s	+ 17 50' 24''	- 0.00006	+ 0.00006
28-910296	11 39 24.48	+ 18 17 33.7	+ 85	- 7
IV. 2-075451	11 36 38.05	+ 18 36 33.2	- 108	+ 88
13-865803	11 30 7.37	+ 19 10 19.3	- 80	- 4
14-863460	11 29 41.07	+ 19 11 52.0	+ 60	+ 49
18-875007	11 28 5.19	+ 19 15 51.1	+ 9	+ 13
20-961511	11 27 22.94	+ 19 16 38.2	+ 56	+ 13
22-921856	11 26 47.85	+ 19 16 35.8	- 59	+ 34
V. 12-906378	11 25 32.64	+ 18 36 29.3	+ 29	+ 6
15-905979	11 26 4.51	+ 18 24 59.5	+ 12	- 97
23-966608	11 28 22.56	+ 17 48 29.4	0	+ 2

Elementy te zostały jeszcze poprawione metodą współczynników różniczkowych.

W celu zastosowania tej metody zostały obliczone najpierw elementy wektorjalne:

$$\begin{Bmatrix} P_x & Q_x & R_x \\ P_y & Q_y & R_y \\ P_z & Q_z & R_z \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -0.2498 & +0.9502 & +0.1863 \\ -0.9432 & -0.1953 & -0.2688 \\ -0.2190 & -0.2428 & +0.9450 \end{Bmatrix}$$

w tem macierz:

$$\begin{Bmatrix} P_x & Q_x \\ P_y & Q_y \\ P_z & Q_z \end{Bmatrix}$$

obliczona była ze wzorów (43)—(46), a elementy R_x , R_y , R_z ze wzoru:

$$\begin{Bmatrix} R_x \\ R_y \\ R_z \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_y Q_z - Q_y P_z \\ P_z Q_x - Q_z P_x \\ P_x Q_y - Q_x P_y \end{Bmatrix}$$

Z rachunku współczynników różniczkowych podaję tylko pierwszą pozycję jako przykład. Rachunek dla pozostałych pozycji przedstawia się zupełnie analogicznie.

Na początku obliczam tabelkę:

t	$t - t^0$	$a(t - t^0)$	E	$\cos E$	$\sin E$
III. 23·925	— 30·513	— 91·85	$280^0 21$	+ 0·1773	— 0·9841
$a \cos E$	$a \sin E$	\bar{x}	\bar{y}	$b \cos E$	r
+ 0·5337	— 2·9623	+ 0·5074	— 2·9622	+ 0·5337	3·0053
$-\bar{y} \sec \varphi$	$\frac{-\bar{y} \sec \varphi}{r}$	$\frac{b \cos E}{r}$	$\bar{y} \operatorname{tg} \varphi$	ϱ	$1 : \varrho$
+ 2·9622	+ 0·9857	+ 0·1776	— 0·0258	2·0496	0·4879
$\sin \delta$	$\cos \delta$	$-\sin \delta : \varrho$	$\cos \delta : \varrho$	$\cos \alpha$	$\sin \alpha$
+ 0·3064	+ 0·9519	— 0·1495	+ 0·4644	— 0·9972	+ 0·0745

Następnie rachuję współczynniki α_{ij} , rozpoczynając od utworzenia iloczynu dwu pierwszych krakowianów występujących we wzorze:

$$\begin{aligned} & \left\{ \begin{array}{cc} \cdot & -0.1495 \\ +0.4879 & \cdot \\ \cdot & +0.4644 \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{cc} -0.9972 & +0.0745 \\ -0.0745 & -0.9972 \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & 1 \end{array} \right\} = \\ & = \left\{ \begin{array}{cc} -0.0363 & +0.1491 \\ -0.4865 & -0.0111 \\ \cdot & +0.4644 \end{array} \right\}^1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \left\{ \begin{array}{cc} \alpha_{11} & \alpha_{13} \\ \alpha_{12} & \alpha_{23} \\ \alpha_{22} & \alpha_{33} \end{array} \right\} &= \left\{ \begin{array}{cc} -0.0363 & +0.1491 \\ -0.4865 & -0.0111 \\ \cdot & +0.4644 \end{array} \right\} \times \end{aligned}$$

$$\times \left\{ \begin{array}{ccc} -0.2498 & +0.9502 & +0.1863 \\ -0.9432 & -0.1953 & -0.2688 \\ -0.2190 & -0.2428 & +0.9450 \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{cc} +0.4679 & -0.1285 \\ +0.0605 & +0.0311 \\ +0.1240 & +0.4696 \end{array} \right\}.$$

Dalej obliczam:

$$\left\{ \begin{array}{ccc} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{ccc} +3.010 & -91.85 & -2.962 \\ \cdot & -202.4 & \cdot \\ \cdot & \cdot & -1 \end{array} \right\} \times$$

¹ Kropki stawiam w tych miejscach, gdzie przypadają zera według wzoru.

$$\times \begin{Bmatrix} +0.9857 & +0.1776 \\ +0.5074 & -2.962 \\ +3.010 & -0.0258 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} +2.967 & -193.2 & -5.930 \\ +0.5346 & +583.2 & -0.5003 \end{Bmatrix}.$$

Następnie:

$$C \frac{\cos \delta d\alpha, d\delta}{dM_0, dn, d\varphi, d\rho, dq, dr} =$$

$$= \begin{Bmatrix} +2.967 & -193.2 & -5.930 & & & +2.962 \\ +0.5346 & +583.2 & -0.5003 & & & +0.5074 \\ & & & & -2.962 & -0.5074 \end{Bmatrix} \times$$

$$\times \begin{Bmatrix} +0.4679 & -0.1285 \\ +0.0605 & +0.0311 \\ +0.1240 & +0.4696 \end{Bmatrix} =$$

$$= \begin{Bmatrix} +1.4206 & -55.11 & -2.8049 & -0.3673 & -0.06292 & +1.4166 \\ -0.3646 & +42.96 & +0.7464 & -1.3910 & -0.23830 & -0.3648 \end{Bmatrix}.$$

W wyniku otrzymuję następujący układ 22 równań linjowych:

$$\begin{array}{r} +1.4206 dM_0 - 0.5511 dn' - 2.8049 d\varphi - 0.3673 d\rho - 0.6292 dq' + 1.4166 dr = -0.06 \cdot 10^{-3} \times 10^{\circ} \\ -0.3646 \quad +0.4296 \quad +0.7464 \quad -1.3910 \quad -2.3830 \quad -0.3648 \quad +0.06 \\ +1.4069 \quad -0.5667 \quad -2.7792 \quad -0.3585 \quad -0.6749 \quad +1.4031 \quad +0.85 \\ -0.3509 \quad +0.4389 \quad +0.7229 \quad -1.3755 \quad -2.5890 \quad -0.3513 \quad -0.07 \\ +1.3903 \quad -0.5753 \quad -2.7478 \quad -0.3505 \quad -0.7098 \quad +1.3867 \quad -1.08 \\ -0.3387 \quad +0.4429 \quad +0.7016 \quad -1.3585 \quad -2.7520 \quad -0.3391 \quad +0.88 \\ +1.3294 \quad -0.5781 \quad -2.6310 \quad -0.3262 \quad -0.7945 \quad +1.3253 \quad -0.80 \\ -0.3042 \quad +0.4345 \quad +0.6399 \quad -1.2982 \quad -3.1610 \quad -0.3045 \quad -0.04 \\ +1.3234 \quad -0.5733 \quad -2.6195 \quad -0.3243 \quad -0.7985 \quad +1.3194 \quad +0.60 \\ -0.3023 \quad +0.4315 \quad +0.6363 \quad -1.2927 \quad -3.1330 \quad -0.3026 \quad +0.49 \\ +1.2981 \quad -0.5676 \quad -2.5711 \quad -0.3159 \quad -0.8244 \quad +1.2943 \quad +0.09 \\ -0.2910 \quad +0.4235 \quad +0.6157 \quad -1.2688 \quad -3.3110 \quad -0.2913 \quad +0.13 \\ +1.2849 \quad -0.5625 \quad -2.5458 \quad -0.3118 \quad -0.8370 \quad +1.2811 \quad +0.56 \\ -0.2856 \quad +0.4180 \quad +0.6058 \quad -1.2557 \quad -3.3710 \quad -0.2859 \quad +0.13 \\ +1.2713 \quad -0.5563 \quad -2.5194 \quad -0.3077 \quad -0.8475 \quad +1.2676 \quad -0.59 \\ -0.2807 \quad +0.4122 \quad +0.5967 \quad -1.2434 \quad -3.4240 \quad -0.2811 \quad +0.34 \\ +1.1379 \quad -0.4447 \quad -2.2540 \quad -0.2733 \quad -0.9508 \quad +1.1342 \quad +0.29 \\ -0.2453 \quad +0.3309 \quad +0.5259 \quad -1.1108 \quad -3.8640 \quad -0.2454 \quad +0.06 \\ +1.1187 \quad -0.4230 \quad -2.1739 \quad -0.2686 \quad -0.9649 \quad +1.1146 \quad +0.12 \\ -0.2422 \quad +0.3160 \quad +0.5188 \quad -1.0906 \quad -3.9180 \quad -0.2423 \quad -0.97 \\ +1.0693 \quad -0.3567 \quad -2.1110 \quad -0.2581 \quad -1.0054 \quad +1.0652 \quad +0.00 \\ -0.2352 \quad +0.2760 \quad +0.5014 \quad -1.0376 \quad -4.0420 \quad -0.2351 \quad +0.02 \end{array}$$

przezem:

$$dn = \frac{1}{100} dn', \quad dq = 10 dq'$$

(podstawienia wprowadzone w celu znormalizowania współczynników).

Po rozwiązaniu tych równań przy pomocy metody najmniejszych kwadratów otrzymujemy poprawki elementów:

$$\begin{Bmatrix} dM_0 \\ dn \\ d\varphi \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} d\mathbf{p} \\ dq \\ d\mathbf{r} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -0.00217 & +0.000155 \\ +0.000034 & +0.000166 \\ -0.00164 & +0.000470 \end{Bmatrix}.$$

Mając te poprawki znajdujemy elementy ostateczne:

$$\begin{Bmatrix} a \\ c \\ M_0 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} n \\ \varphi \\ t^0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 3.009796 & 0.188755 \\ 0.008701 & 0.49852 \\ 265.04678 & 1933.0 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} Q_x \\ Q_y \\ Q_z \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} R_x \\ R_y \\ R_z \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -0.249797 & -0.943199 & -0.219032 \\ +0.950213 & -0.195263 & -0.242832 \\ +0.186269 & -0.268785 & +0.945015 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} \Omega \\ i \\ \omega \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 124.79725 \\ 13.11085 \\ 129.76144 \end{Bmatrix}$$

w odniesieniu do osi układu równikowego 1933.0.

Odchylenia $O - C$, znalezione z równań warunkowych są następujące:

Data	$\alpha_o - \alpha_c$	$\delta_o - \delta_c$
III. 23.9	- 0.00020	- 0.00018
28.9	+ 79	- 33
IV. 2.1	- 115	+ 62
13.8	- 70	- 26
14.9	+ 69	+ 28
18.9	+ 20	- 5
20.9	+ 68	- 3
22.9	- 47	+ 21
V. 12.9	+ 25	+ 19
15.9	+ 10	- 78
23.9	- 22	+ 34

Planetka 1933 FF.

Dane wyjściowe do rachunku 1-szej orbity były:

Data		$\alpha_{1933.0}$	$\delta_{1933.0}$
		$^{\text{h}} \text{ } ^{\text{m}} \text{ } ^{\text{s}}$	$^{\circ} \text{ } ' \text{ } ''$
1933	III. 23-936414	11 47 14.16	+ 17 13' 33.4''
	III. 28-910296	11 43 37.39	+ 18 21 6.0
	IV. 2-075451	11 40 48.59	+ 19 11 39.9

Zapomocą metody wyżej przedstawionej zostały obliczone wielkości następujące:

$$\begin{cases} x_1 & x_3 \\ y_1 & y_3 \\ z_1 & z_3 \end{cases} = \begin{cases} 2.534503 & -2.548811 \\ +0.040407 & -0.057027 \\ +0.458112 & +0.466755 \end{cases},$$

$$\begin{cases} a & n \\ e & e^0 \\ M_0 & t_0 \end{cases} = \begin{cases} 2.641672 & 0.229554 \\ 0.162628 & 9.317894 \\ 73.03311 & \text{III. 28-496464} \end{cases}.$$

Na podstawie powyższych danych przy pomocy wzoru (51) została wyrachowana efemeryda na okres IV. 2 - VI. 17.

Danemi do poprawienia elementów były wszystkie obserwacje (w liczbie 12), które poniżej przytaczam:

Data		$\alpha_{1933.0}$	$\delta_{1933.0}$
		$^{\text{h}} \text{ } ^{\text{m}} \text{ } ^{\text{s}}$	$^{\circ} \text{ } ' \text{ } ''$
1933	III. 23-936414	11 47 14.16	+ 17 13' 33.4''
	28-910296	11 43 37.39	+ 18 21 6.0
	IV. 2-075451	11 40 48.59	+ 19 11 39.9
1933	13-865803	11 34 27.38	+ 21 256.4
	14-863460	11 34 2.92	+ 21 10 8.9
	18-875007	11 32 37.35	+ 21 36 8.2
	20-961511	11 32 1.73	+ 21 47 27.4
	22-921856	11 31 33.61	+ 21 57 2.2
	V. 12-906378	11 32 2.27	+ 22 33 11.3
	15-905979	11 32 53.53	+ 22 30 32.5
1933	21-979282	11 35 11.43	+ 22 19 47.7
	23-966608	11 36 6.13	+ 22 14 52.9

Spośród tych danych wybrane zostały pozycje z dni: III. 23, IV. 22, V. 23, dla obliczenia elementów lepszych od pierwszych obliczonych z bardzo krótkiego czasu.

Z pozycyji tych zostały wyznaczone elementy następujące:

$$\begin{cases} a & n \\ e & e^0 \\ M_0 & t_0 \end{cases} = \begin{cases} 2.666615 & 0.226341 \\ 0.188439 & 10.79676 \\ 77.07338 & \text{IV. } 23.440183 \end{cases}$$

$$\begin{cases} P_x & Q_x \\ P_y & Q_y \\ P_z & Q_z \end{cases} = \begin{cases} + 0.032604 & - 0.983306 \\ + 0.996551 & + 0.045657 \\ - 0.076306 & + 0.176138 \end{cases}$$

(można tutaj zauważyć dość znaczną zmianę w elementach a , e w stosunku do ich poprzednich wartości).

Po odtworzeniu pozycyji, okazało się, iż elementy te dają następujące $O - C$:

Data	$\alpha_o - \alpha_c$	$\delta_o - \delta_c$
III. 23	$- 0.00012$	$- 0.00003$
28	$+ 0.00055$	$- 0.00075$
IV. 2	$+ 0.00039$	$- 0.00026$
13	$+ 0.00023$	$- 0.00029$
14	$+ 0.00082$	$- 0.00114$
18	$+ 0.00037$	$+ 0.00028$
20	$+ 0.00104$	$- 0.00142$
22	$+ 0.00005$	$+ 0.00002$
V. 12	$+ 0.00040$	$- 0.00086$
15	$+ 0.00026$	$- 0.00020$
21	$- 0.00004$	$- 0.00030$
23	$- 0.00003$	$+ 0.00005$

Odchylenia te wykazują pewną systematyczność. Odchylenia w rektascenzji mają znaki dodatnie, a maximum ich bezwzględnej wartości występuje w okolicy daty IV. 22; podobnie sprawa przedstawia się dla odchyień w deklinacji z tą różnicą, iż znaki odchyień są tutaj ujemne. Wygląda to tak jak gdybyśmy do wyznaczenia orbity przyjęli dla drugiej pozycyji zamałą wielkość α , za dużę δ . To nasuwa myśl obliczenia nowej orbity z fikcyjną drugą pozycją, lecz tak dobraną, by α było nieco większe, δ nieco mniejsze, niż otrzymane z obserwacji.

Jako poprawki drugiej pozycyji zostały przyjęte wielkości:

$$\Delta\alpha = + 0.00060, \quad \Delta\delta = - 0.00050.$$

Orbita obliczona ze zmienioną drugą pozycją jest następująca:

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} a & n \\ e & e^0 \\ M_0 & t_0 \end{Bmatrix} &= \begin{Bmatrix} 2.667532 & 0.226224^0 \\ 0.188563 & 10.80387^0 \\ 77.02499 & \text{IV. 23.440183} \end{Bmatrix} \\ \begin{Bmatrix} P_x & Q_x \\ P_y & Q_y \\ P_z & Q_z \end{Bmatrix} &= \begin{Bmatrix} +0.032040 & -0.983322 \\ +0.996571 & +0.045107 \\ -0.076313 & +0.176201 \end{Bmatrix} \\ \begin{Bmatrix} \Omega \\ i \\ \omega \end{Bmatrix} &= \begin{Bmatrix} 158.48536^0 \\ 29.22188 \\ 287.11893 \end{Bmatrix}. \end{aligned}$$

Elementy te dają następujące odchylenia od obserwacji:

	1	2	3	4	5	6
$\Delta\alpha$	+0.00005 ⁰	+0.00044 ⁰	+0.00005 ⁰	-0.00023 ⁰	+0.00026 ⁰	-0.00019 ⁰
$\Delta\delta$	+ 3	- 41	+ 10	+ 20	- 59	+ 90
	7	8	9	10	11	12
$\Delta\alpha$	+0.00052 ⁰	-0.00057 ⁰	+0.00006 ⁰	0.00000 ⁰	-0.00004 ⁰	+0.00002 ⁰
$\Delta\delta$	- 86	+ 57	- 55	+ 5	- 23	+ 5

Odchylenia te nie wykazują już charakteru systematycznych, elementy zostały więc uznane za ostateczne. Metoda współczynników różniczkowych zastosowana w miejsce powyżej opisanego sposobu, dałaby wyniki być może nieco jeszcze lepsze, lecz kosztowałaby nierównie więcej czasu. Sposób ten jednakże mógł być zastosowany jedynie dzięki szczególnemu zachowaniu się odchylen: $\Delta\alpha$, $\Delta\delta$.

Opozycje planetek 1262 (Sniadeckia) i 1263 (Varsavia)

Opozycją Planety ze Słońcem nazywamy moment, w którym różnica długości (geocentrycznych) obu tych ciał niebieskich wynosi 180° , lub też moment, w którym różnica rektascenzji wynosi 180° . W pierwszym przypadku mówimy o opozycji w długości, w drugim o opozycji w rektascenzji. Obydwa te momenty naogół nie są sobie równe. Moment opozycji w długości, zdefiniowany w sposób powyższy jest identyczny z momentem, w którym długość heljocentryczna Planety równa się długości heljocentrycznej Ziemi.

Pierwsze przybliżenie opozycji w długości daje opozycja w rektascenzji. Przybliżony moment opozycji w rektascenzji otrzymamy porównując zaobserwowane pozycje z efemerydą Słońca. Znając ten moment obliczymy dalsze opozycje dodając średni obieg synodyczny obliczony ze wzoru:

$$U = \frac{360}{\mu_z - \mu_p} \quad (1)$$

μ_z = ruch średni dzienny Ziemi.

μ_p = » » » Planety.

Znając przybliżony moment opozycji obieramy daty różniące się o ok. 60^d i takie, by przybliżony moment opozycji przypadał na środek zawartego między nimi okresu.

Dla dat tych liczymy długości heljocentryczne planety według wzoru:

$$tg(l - \Omega) = \cos i \, tg(v + \omega) \quad (2)$$

(p. Stracke Bahnbestimmung str. 222).

Obliczone długości porównujemy z długościami Ziemi znalezionymi z Rocznika, znajdując moment opozycji zapomocą interpolacji linjowej według wzoru:

$$T = t_1 + \frac{(t_2 - t_1)(l_1 - l'_1)}{(l_1 - l'_1)(l_2 - l'_1)} \quad (3)$$

l = długość heljocentryczna Planety.

l' = » » » Ziemi.

Otrzymane w ten sposób drugie przybliżenie momentu opozycji jest dokładne do ok. $1/2$ dnia, choćby nawet pierwsze było błędne ok. 30^d . Wzór ten nadaje się także do dalszych przybliżeń. Inny wzór podaje np. prof. Kępiński (AAc Vol. 1, 5). Jasność Planety w momencie opozycji, znajdujemy ze wzoru:

$$m = g + 5(\log r + \log \rho)$$

(p. Berliner Jahrbuch 1916), gdzie g oznacza jasność w odległości jednostki od Ziemi i od Słońca.

Poniżej podaję tabelki kilku najbliższych opozycji i wartości niektórych wielkości w czasie tych opozycji dla obydwu planetek.

1262 Sniadeckia.

Data	$\alpha_{1950.0}$	$\delta_{1950.0}$	r	ϱ	m
1935 IX. 9	$23^{\text{h}} 27^{\text{m}} 0$	$-17^{\circ} 33'$	3.010	2.020	13.4^{m}
1936 XII. 3	4 47.5	+ 6 35	3.036	2.075	13.5
1938 II. 23	10 32.8	+19 9	3.014	2.034	13.4
1939 V. 23	16 8.0	- 2 50	2.984	2.004	13.4
1940 VIII. 19	22 6.7	-19 28	3.001	1.995	13.4

1263 Varsavia.

Data	$\alpha_{1950.0}$	$\delta_{1950.0}$	r	ϱ	m
1935 VIII. 30	$22^{\text{h}} 29^{\text{m}} 5$	$-7^{\circ} 7'$	2.750	1.741	12.0^{m}
1937 I. 31	8 27.4	- 6 59	2.256	1.326	11.0
1938 V. 13	15 59.2	+21 5	3.060	2.220	12.8
1939 VIII. 2	20 23.4	+ 4 16	3.008	2.047	12.6
1940 XI. 23	4 35.9	-27 25	2.194	1.414	11.1

Jak widać z powyższych tabeli warunki obserwowania Sniadeckii nie ulegają prawie żadnym zmianom, natomiast Varsavia będzie mogła być obserwowana w różnych jasnościach. Największa jasność przypada na lata 1937 i 1940 kiedy planetka będzie się znajdowała na południowym niebie.

Na zakończenie pragnę podziękować p. prof. dr T. Banachiewiczowi za rady i wskazówki, których nie szczędził mi w czasie wykonywania rachunków.

TAUBA BECHERÓWNA

GRABBES HOHENSTAUFEN-DRAMEN IN IHREM
VERHÄLTNIS ZUR GESCHICHTE

Überblick über die Hohenstaufen-Dichtung in Deutschland bis
zum Erscheinen von Grabbes Hohenstaufen-Dramen ¹.

Historische Ereignisse fanden seit jeher ihren Widerklang in der Poesie, besonders in der dramatischen. Reich an solcher dramatisierten Geschichte waren die Zeiten der Freiheitskriege, in welchen ein großes Verlangen nach geschichtlichen Dramen vorhanden war. Schon Schiller hatte erkannt, daß das historische Drama eine Forderung der Zeit war. Das beweist seine Äußerung Humboldt gegenüber, »mit einem Stoffe wie dem Wilhelm Tell, entspräche er der Zeit, die einen ausgeprägten Sinn für das historische Schauspiel zeige« ². Und Iffland schrieb an Schiller: »Ja, wenn Sie Heinrich den Löwen uns geben wollten; ja das wäre trefflich« ³.

Es beginnt die lange Reihe derer, die dem deutschen Volke seine ganze Geschichte dramatisch darstellen wollen, eine Absicht, die für die erste Hälfte des 19. Jahrhunderts charakteristisch ist. Aus dieser Gedankenwelt heraus wurden die deutschen Hohenstaufen-Dramen geboren. Man dramatisierte entweder die ganze tragische Geschichte des Kaiserhauses, wie das W. Nienstädt tat in seinem »Zyklischen Drama« »Die Hohenstaufen«, ebenso Ernst Raupach in seinem Zyklus historischer Dramen »Die Hohenstaufen«. Gleiche Pläne hegten Wilhelm Waiblinger, Immermann und Grabbe.

¹ Ich führe hier nur die wichtigsten Dispositionspunkte an, die in meiner Arbeit natürlich in viele Unterabteilungen zerfallen.

² Brief vom 2. IV. 1805. (vgl. Briefwechnel zwischen Schiller und W. von Humboldt. hrsg. von A. Leitzman. Stuttgart 1900, S. 319).

³ K. Hoffmeister, Schillers Leben. V. 1842. S. 129 ff.

Oder man suchte sich das Schicksal einzelner Persönlichkeiten heraus, etwa den Konflikt zwischen Friedrich Barbarossa und Heinrich dem Löwen, oder Friedrich II., oder Conradin. Das Geschick Friedrich Barbarossas und Heinrichs des Löwen hat schon früh die Augen der Dichter auf sich gezogen. Wohl am frühesten hat es Joh. Jakob Bodmer dramatisiert in seinem »Friedrich Barbarossa«¹. Dann Nienstädt in dem genannten Zyklus, worauf dann Grabbe und Raupach folgten. Die meisten Dichter haben die Katastrophe vom Standpunkt Heinrichs des Löwen aus dargestellt, wie Joh. Elias Schlegel in dem Epos »Heinrich der Löwe«², August Klingemann in der historischen Tragödie: »Heinrich der Löwe«³, Karl Wilhelm Böttiger in dem biographischen Versuch: »Heinrich der Löwe«⁴, Karl Niedmann in dem biographischen Roman: »Heinrich der Löwe«⁵, H. Gottl. Schmieder in dem allegorischen Singspiel: »Heinrich der Löwe«⁶, B. H. Karl Reinhard in dem Schauspiel mit Gesang: »Heinrich der Löwe«⁷, Stephanus Kunze in seinem Heldengedicht: »Heinrich der Löwe«⁸.

Das Schicksal Heinrichs VI. ist bei weitem nicht so oft zum Gegenstande dichterischer Bearbeitung gemacht worden. Abgesehen von den Werken Nienstädts und Raupachs findet sich nur das fünftaktige Trauerspiel »Heinrich VI., Deutscher Kaiser« von Karl Friedr. August Buchner⁹ vor.

Die Entstehung der Grabbeschen Dramen.

Im Juni 1827 erwähnt der Dichter in seinen Briefen zum ersten Male etwas von seiner Absicht, die Hohenstaufengeschichte zu dramatisieren. Es gibt sonst keinen Anhaltspunkt für die Annahme, daß diese Absicht schon früher bestanden hätte, geschweige daß man annehmen könnte, er hätte früher an einem Hohenstaufendrama gearbeitet. Seine Bemerkung: »ich habe seit Jugend das Mittelalter studiert...«, ist wohl nicht hinreichend,

¹ Zürich. 1796.

² Kopenhagen und Leipzig. 1766.

³ Tübingen E. Cotta. 1808.

⁴ Hannover. 1817.

⁵ 1. und 2. Teil. Leipzig 1827.

⁶ Mainz. 1792 und Frankfurt. 1793.

⁷ Braunschweig u. Frankfurt 1793.

⁸ In 21 Gesängen mit histor. und topograph. Anmerkungen.

⁹ Stuttgart. 1825.

um den Schluß zu erlauben, daß er schon in seiner Gymnasialzeit daran gedacht hätte, ein Hohenstaufendrama zu schreiben oder einen anderen Stoff aus der mittelalterlichen Geschichte zu bearbeiten.

Zunächst lassen andere dichterische Arbeiten den Hohenstaufenplan nicht zur Ausführung kommen. Obwohl er beruflich in Anspruch genommen ist, arbeitet er doch fieberhaft an der Herausgabe seiner Jugendwerke, der »Shakespearomanie« und dem »Don Juan und Faust«. Diese Arbeiten entstammen schon der gleichen Gemütsstimmung, aus der auch die Hohenstaufendramen geboren werden. Und noch während der Arbeit am Don Juan, und auch später sind ihm die Gestalten der Hohenstaufenkaiser stets vor Augen. Am 21. I. 1828 schreibt er: »Das Größte meines Lebens werden doch noch einmal die Hohenstaufen. Sich und die Nation in 6—8 Dramen zu verherrlichen. Und welcher Nationalstoff! Kein Volk hat einen auch nur etwas gleich großen. Und wie soll fast jeder irgend bedeutende deutsche Fleck verherrlicht werden; im Sonnenschein soll unser ganze deutsche Süden liegen, Adler über Tyrols Bergen schweben und die See um Heinrichs des Löwen Staaten brausen wie eine Löwenmähne«. Grabbe hat also bis jetzt noch nicht zur Feder gegriffen. Und noch im März desselben Jahres schiebt er an Gubitz: »Auf Mittensommer hoffe ich die Tragödie »Don Juan und Faust« in 5 Akten zu vollenden... Dann binde ich mich an die Geschichte, und zwar an das Studium und die Begeisterung meines Lebens, an den deutschen Dramenzyklus »Die Hohenstaufen«. Wie ein mächtiges Alpengebirge steht dieses Werk im fernen Blumenduft vor meinem Geiste und zieht mich wunderbar an mit seinen Felsenhöhen...« Seine Leidenschaft für diesen Stoff wird aber jetzt immer mächtiger in ihm, und er äußert sich: »Wahrhaftig, meine poetische Ader braust wieder in etwas und ich schwebe schon wie ein Geier über der Peterskuppel und den Alpen« (16. III. 1828). Und so beginnt er dann noch während der Arbeit am »Don Juan und Faust« mit den Hohenstaufen. Er bezeugt das selbst: »Ich selbst schreibe jetzt am »Don Juan und Faust« und an den Hohenstaufen (deren Geschichte ich noch besser als die römische kenne)«.

Grabbe scheint also, vergleichen wir die Briefe vom 7. März und 2. April, in der letzten Hälfte vom März 1828 mit der Ausarbeitung des Hohenstaufenzyklus begonnen zu haben, also weit

früher, nicht erst »im Mittensommer«, wie er ursprünglich vorhatte. — Nach Beendigung des »Don Juan und Faust« begann der Dichter mit der Arbeit am »Friedrich Barbarossa«; dieser ist spätestens Ende März vollendet.

In demselben Zuge erfolgt auch bald die Arbeit am zweiten Stück des Zyklus, an »Kaiser Heinrich VI.«. Aus verschiedenen Äußerungen des Dichters können wir schließen, daß dies Werk bis zum bis Mai 1829 in einem großen Entwurf zu Papier gebracht war. Das Umformen und Feilen beschäftigt ihn in der Folgezeit; daneben beginnt er mit der Arbeit am »Napoleon«. Erst Mitte Dezember schickt er das Druckmanuskript ab.

Die Folge davon, daß bei dem Dichter oft Plan sich in Plan schiebt, daß er gleichzeitig an zwei Stoffen gestaltet, ist das Bestehen eines auffallenden Zusammenhanges zwischen den Werken dieser Detmolder Periode, sowohl innerlich, als auch in der Form, in Sprache, in den Bildern usw.

Die Äußerungen des Dichters ließen erkennen, wie sehr der Stoff ihn in Flammen gesetzt.

Das Verhältnis der Grabbeschen Hohenstaufen-Dramen zu den geschichtlichen und literarischen Quellen.

a) »Friedrich Barbarossa«.

Raumers »Geschichte der Hohenstaufen« war die wichtigste und ergiebigste Stoffquelle für die Dramatisierung der Hohenstaufenzeit¹. Schon Tieck sagte, Raumer habe mit seiner Darstellung »dem Tragiker vorgearbeitet«. Aber wenn auch die meisten Hohenstaufendichter ihren Stoff Raumer entnahmen, so ist doch darauf hinzuweisen, daß sowohl Raupachs wie Immermanns Zyklus-Plan nicht auf Raumer zurückzuführen ist. Denn das Werk erschien erst in den Jahren 1823/5², während Immermann schon Ende 1821 von seinem Hohenstaufenplan spricht. Man kann ebenso nicht nachweisen, daß Raumer Grabbe zu seinem Werke die Anregung gegeben habe; sagt doch Grabbe selbst, er kenne das Mittelalter von seiner Jugend an, und schon seit der Zeit gehörte ihm seine Begeisterung. Döring erklärt zwar³: »Durch Raumers

¹ vgl. Gervinus, Geschichte der deutschen Dichtung. 1874. V. S. 630 ff.

² In 6 Bänden, Leipzig.

³ Ersch u. Grubers, Encyclopädie 1864. 77. Teil, S. 202, Spalte 2.

Geschichte der Hohenstaufen begeistert, erfaßte ihn die Idee, diese romantische Periode zum Stoff einer poetischen Darstellung zu benutzen« aber er bleibt den Beweis für diese Behauptung schuldig. Doch war Raumer gerade zu der Zeit, als Grabbe in Berlin bei ihm deutsche Geschichte hörte und auch sonst zu ihm in Beziehung trat, lebhaft mit der Abfassung seines Werkes beschäftigt. Wir dürfen also annehmen, daß Grabbe in seiner Berliner Zeit manche Eindrücke empfangen hat, die jedoch erst später zur Auswirkung kamen. Und so läßt sich noch am ehesten an Zieglers Auffassung¹ festhalten, Grabbe habe sich schon längst damit getragen, die Reihe der Hohenstaufen im Gedichte zu verherrlichen. Die Veranlassung dazu »mochte sein, einerseits seine Vorliebe für die Geschichte und das Anerkenntnis des durch »Marius und Sulla« bewiesenen hellen Überblicks in den Gang derselben, andernteils die Glorie der Hohenstaufen selbst, die damals durch die Raumerschen Darstellungen recht anschaulich hervorgehoben war. Grabbe war freilich mit Raumer nicht immer zufrieden, las ihn aber viel«².

Ich bringe hier einige Beispiele, welche ich in meiner Arbeit vollständig anführe, auf Grund erschöpfender und vergleichender Gegenüberstellungen des Grabbeschen Textes mit den Originalquellen, um das Verhältnis zu beleuchten.

Wie fast alle Dramatiker, die das Leben Friedrichs von Hohenstaufen dargestellt haben, greift auch Grabbe den Konflikt mit Heinrich dem Löwen und die Schlacht bei Legnano heraus. Friedrich hatte auf seinem zweiten Zuge nach Rom Mailand zerstört, denn auf diese Weise wollte er die ganze Lombardei für ihre Empörung züchtigen. Durch die ronkalischen Gesetze und die Einführung kaiserlicher Beamter wurde das Land dem deutschen Reich einverleibt. Dann war Friedrich nach Deutschland zurückgekehrt. Schon vorher war er mit dem Papste Alexander III. in Konflikt geraten; er hatte sich auf die Seite des Gegenpapstes, Viktor V., gestellt, und so hatte sich dann Alexander mit Oberitalien gegen den Kaiser von neuem verbündet. Der Haß gegen die deutsche Herrschaft wurde immer größer. Es kam zur Gründung eines lombardischen Bundes. Aus diesem Grunde hatte der

¹ Karl Ziegler, Grabbes Leben und Charakter. Hamburg 1855. S. 67.

² Ebenda S. 66—67.

dritte Zug Barbarossas nach Unteritalien keinen Erfolg, und beim vierten brach eine Seuche aus. Schwach und als Flüchtling kehrte der Kaiser nach Deutschland zurück. An einen neuen Zug konnte er jetzt nicht denken, denn vor allem hieß es, im Reiche Ruhe und Frieden herzustellen. Der Erzbischof von Mainz sollte inzwischen einen weiteren Abfall in Italien vermeiden. Es kam zum fünften Zuge über die Alpen, der aber durch die Belagerung von Alessandria seine Stoßkraft verlor. Friedrich konnte dem anrückenden lombardischen Heere nicht mehr die Stirn bieten. Machtlos mußte er sich auf demütigende Verhandlungen einlassen. Er verlangte dringend Hilfe von Deutschland, doch sein mächtigster Vasall, Heinrich von Löwe, widerstrebte diesem Befehle. Es trafen nur schwache Truppen ein, und der Kaiser verlor die Schlacht bei Legnano.

Alles das hat Grabbe kraftvoll konzentriert: Er führt uns auf das Trümmerfeld von Mailand. Die Flüchtlinge kehren mit anderen Lombarden zurück und schwören in ihrem Elend dem Kaiser Rache. Sie schließen ein Bündnis mit Rom und gewinnen auf diese Weise ganz Italien für einen Widerstand gegen den Kaiser. Da dringt aber die Kunde herein, Friedrich sei im Anmarsch, um Rache an den Aufständischen zu nehmen. Sowohl Mailand als auch die Kirche sollen blutig bestraft werden. Doch da tritt für den Staufer etwas Unvorhergesehenes ein: Heinrich der Löwe fällt von ihm ab, die Hauptmacht des Heeres verläßt ihn, es kommt zur Schlacht, der nicht mehr auszuweichen ist.

Wie wir sehen, geht der Dichter frei mit den Ereignissen um, er greift das Wesentliche heraus, und danach stellt er die Tatsachen neu zusammen. In Einzelheiten hält er sich jedoch genau an seine Vorlage, wie später noch ausgeführt werden soll. Hier handelt es sich zunächst um die eingehende Untersuchung des Verhältnisses zu den Stoffquellen.

Schon in den ersten Szenen sehen wir die oft wörtliche Herübernahme von Einzelheiten aus Raumer's Hohenstaufengeschichte z. B. die Beschreibung des Fahnenwagens¹ und die Charakteristik der Mailänder. Die Begeisterung sei aufs höchste gestiegen, die Weiber geben ihr Geschmeide her, um die Kirchen wiederum zu schmücken². Raumer nennt als den Anführer der

¹ Raumer a. a. O. II, 112.

² Raumer II, 165.

»Todesbanner« Alberto Guissano, den Grabbe übernommen hat. Ebenso finden wir auch die Verbindung zwischen der Kirche und Mailand bei Raumer. Die Lombarden fühlten, daß sie von ihr als Mittel zum Zweck benutzt wurden: »Wir dienten zur Vormauer Italiens«¹. Der Botenbericht über den wütenden Aufbruch Barbarossas in Deutschland dagegen ist von dem Dichter erfunden. In Wirklichkeit war der Kaiser ja schon in Italien, und von hier wurden dann Boten nach Deutschland abgeschickt, um Hilfe zu holen. Dennoch hat Raumer auf den Dichter eingewirkt.

Ehrgeiz und Herrschsucht bestimmten Heinrich den Löwen, sich von dem Kaiser abzuwenden. Der Welfe war der italienischen Züge überdrüssig, er wollte sein eigenes Reich vergrößern. »Er fühlte daß bei des Kaisers entschiedener Übermacht im Süden nicht dort, sondern an den Küsten der Ostsee eine Möglichkeit weiterer Vergrößerung gegeben sei«². Dazu vergleiche man Grabbe S. 29, 34 ff.³:

— Dort muß ich herrschen, Fürst des Nordens, und
Dadurch vielleicht der Welt!« —

In der Reichstagsszene hält sich der Dichter oft bis ins einzelne an den Bericht bei Raumer⁴: »Die Lagermeister eröffneten den wohlgeordneten Zug; ihnen zunächst folgten die Träger der kaiserlichen Adler, rings umgeben von kriegerischer Musik, welcher das Heer mit lautem Gesange beistimmte«⁵.

Die eigentümliche, für Grabbe charakteristische Art, Einzelheiten zu verwenden, zeigt uns auch der Vergleich Grabbe S. 32, 13 ff. mit folgenden Worten⁶: »Die Aussicht, daß niemand zwei Herzogtümer besitzen solle, ließ Friedrich am Anfange seiner Regierung für Heinrich den Löwen ganz fallen«.

¹ Raumer II, 200.

² Raumer II, 125.

³ Grabbes Werke. Hgr. von Sp. Wukadinovič. Berlin 1912. 6. Bde.

⁴ Der König von Polen wird nicht bei Raumer genannt, sondern bei Schlosser S. 308. Fr. Chr. Schlosser, Weltgeschichte. Frankfurt 1821, Bd. III, Tl. 1. Aus dem einen Grafen von Andechs und Tirol macht Grabbe die von A. und T. — Orlamünde wird erst später beim Abfall Heinrichs unter seinen Anhängern genannt.

⁵ Raumer II, 74. Die Schilderung Raumers betrifft aber das Lager von Piacenza (1. Zug. 1154).

⁶ Raumer II, 213. An einer anderen Stelle heißt es (II, 46): »Aber Friedrich vertraute auf des Löwen Dankbarkeit und glaubte, als Haupt des Ganzen habe er genügenden Einfluß auf die Glieder«.

Die eigentliche Verhandlung ist ein besonders bezeichnendes Beispiel dafür, wie Grabbe die historischen Tatsachen dramatisch verwendet, den Geist und die Probleme der damaligen Zeit herausarbeitend. Der Dichter hat sie aus vier historischen Reichstagen zusammengefaßt, nicht nur aus zweien, wie Nieten, oder dreien, wie Franz und Zaunert meinen, nämlich aus den Tagungen in den Jahren 1154, 1157, 1158, und 1175¹. Die Raumersche Schilderung des Reichstages zu Besançon 1157 ist bis ins kleinste die Vorlage für den Dichter gewesen: Der Papst hatte durch seinen heißblütigen Kardinal Roland, dessen Charakteristik sich genau so bei Grabbe wiederfindet, einen Brief überbringen lassen, worin es hieß, der Kaiser habe das ihm von Gott anvertraute Schwert nicht in der rechten Weise gebraucht; er möge sich erinnern, »welche Fülle der Macht und Ehre sie (die Kirche) Dir übergab..., durch willige Erteilung der Kaiserkrone Deine Größe zum Gipfel erhob«. Das Reich sei ein »beneficium des römischen Stuhles«². Barbarossa und die Großen des Reiches ereiferten sich nun über die anmaßende Behauptung, der deutsche Kaiser sei des Papstes Lehnsmann. Das ist die Vorlage zu Grabbe S. 36, 32—36:

Kardinal:

»...Erkenne

Den Papst als Oberlehnsherrn!«

Otto von Wittelsbach:

»Was?

Ich weiß nicht, zuckt die Hand mir, oder braus't

Des Reiches Aar vor Zorn so auf, daß er

Erzittert? Papst? Des Kaisers Lehnsherr?«

Die Worte des Kardinals:

»Die deutschen Kaiser macht

Der Papst! Er setzt Dir die Krone auf,

Drum kann er sie Dir nehmen«. (Gr. S. 38, 25 ff.)

finden sich bei Raumer³: »Das Kaisertum besitzt er durch uns und wir haben das Recht, zurückzunehmen, was wir unter Voraussetzung der Dankbarkeit verliehen«.

¹ Davon, daß der Herzog von Zähringen geächtet wird, ließ sich in keiner der in Frage kommenden Quellen etwas finden. Im Gegenteil, Zähringen wird ausdrücklich bei der Schilderung von Legnano erwähnt, und zwar wird von ihm berichtet, daß er in Gefangenschaft geraten sei. So auch Schlosser 454.

² Raumer II, 60.

³ Raumer II, 90.

Andere Einzelheiten, die der Dichter bei dieser Gelegenheit benutzt, finden sich in der Schilderung des Reichstages von Pavia 1175. Vor allem wird hier die enge Verbindung der Lombarden und der Mailänder mit Rom betont, »daß sie ohne seine Zustimmung keinen Frieden schließen wollen«. Grabbe stellt allerdings (auch in I, 1) das Verhältnis dieser beiden Parteien so dar, als ob Rom der um das Bündnis mit den Lombarden nachsuchende Teil sei, der sich allem anpaßte (Gr. S. 24, 41 ff.). Hier in Pavia stellen auch die Lombarden ihre Forderungen, die der Dichter dem Kardinal als Forderungen der Kirche in den Mund legt. Bei Grabbe geht der Versuch, Heinrich den Löwen zum Abfall vom Kaiser zu bewegen, von der Kirche aus, bei Raumer von den Lombarden.

Auch die Personen, wie Grabbe sie charakterisiert, in ihrer Treue und Untreue Heinrich gegenüber, finden wir bei Raumer; jedoch ist der Abfall des Grafen von Andechs eine Erfindung des Dichters, wenngleich bei Raumer die Bayern als zu den Staufem haltend, dargestellt werden.

Die gewaltige Szene vom Fußfall des Lehnsherrn vor dem Vasallen schließt sich an Raumer an. Nur die wichtigste Parallele sei gezeigt. Friedrich sagt zu dem Welfen: »Und du könntest jetzt zurücktreten, wo der Deutschen Ehre, des Kaisers Ruhm, der Preis meines ganzen Lebens auf dem Spiele steht«¹. Bei Grabbe²:

»Deutschlands Ruhm, die Ehre
Des Kaisers, meines Lebens ganzes Trachten
Steht auf dem Spiel...«

Es ist zu bemerken daß Grabbe die Episode des Todes Ottos von Wittelsbach bei Raumer nicht vorfand; dieser berichtet nur vom Tode des kaiserlichen Fahnenträgers. In fast allen Darstellungen wird aber Otto von Wittelsbach als der »Bannerherr« des Kaisers bezeichnet. Und so hat der Dichter dann den Bannerherrn mit dem Fahnenträger identifiziert.

Die Schlacht ging für Barbarossa verloren. In Wirklichkeit taucht der Friedensplan erst nach der Schlacht auf, hier ändert der Dichter sehr geschickt. Nicht mit aufrührerischen Lombarden,

¹ Raumer II, 196.

² Gr. S. 50 ff.

sondern mit der Kirche soll der Erzbischof von Mainz die Verhandlungen anknüpfen. So auch Grabbe S. 67, 6—11. Diese langwierigen, an verschiedenen Orten stattfindenden Unterredungen hat der Dichter auf Venedig konzentriert. Der Doge von Venedig lädt den deutschen Kaiser zu sich ein. Hier wird er vom Banne gelöst und die letzten Abmachungen werden getroffen, die Grabbe fast wörtlich übernommen hat (S. 74, 27 ff.). Die zwanglosen Unterhaltungen zwischen Alexander und Barbarossa finden sich bei Raumer angedeutet, wie denn die ganze Stimmung, die über dieser Szene liegt, ähnlich auch bei Raumer vorhanden ist.

Im Interesse des dramatischen Zusammenhanges war es nötig, hier schon das Kreuzzugsmotiv anklingen zu lassen. In Wirklichkeit kam erst elf Jahre später, 1187, die Kunde von dem Fall Jerusalems nach Europa. Der Graf von Montferrat, als Flüchtling aus Jerusalem, wird bei Raumer und auch sonst nirgendwo genannt, wie denn auch der Bericht über den Fall der Stadt eine Erfindung des Dramatikers ist.

Die Szene, in welcher das Fest zu Mainz dargestellt wird, fand der Dichter bei Raumer bis ins einzelne vorgearbeitet. Auf diesem Feste findet auch die Ächtung Heinrichs des Löwen statt. Auch da hat Grabbe in seiner ihm eigenen Weise konzentriert. Was die Freunde und Feinde Heinrichs des Löwen betrifft, so finden wir, daß Grabbe wegen seines Hauptmotivs: Kampf zwischen Nord und Süd, einige Änderungen vorgenommen hat. Der König von Dänemark war in Wirklichkeit ein Widersacher des Welfen, wie auch die Slaven ihm feindlich waren.

Es kommt zum Kampfe, dem letzten und entscheidenden, zwischen Welf und Waiblingen. Weder bei Raumer ist von einer einzigen Entscheidungsschlacht die Rede, noch sonst irgendwo in den Vorlagen.

Schon mehrmals sahen wir, daß Grabbe auch in der Charakteristik seiner Personen auf seine Vorlage zurückgeht. Eine nähere Untersuchung dieses Verhältnisses der Abhängigkeit zeigt, daß der Dichter die Personen ganz so übernommen hat, wie er sie besonders bei Raumer fand. Dieser betonte vor allem den Idealismus des Staufers, was Grabbe nachahmte. Aber auch die Grausamkeit, mit der Barbarossa in dem Drama handelt, finden wir bei Raumer; dieser betont »die rücksichtslose Strenge gegen Widerstrebende«, und sein peinlichstes Pflichtbewußtsein. Und doch

habe er niemals das Band der Freundschaft mit Heinrich dem Welfen zerrissen«.

Die Darstellung des Erzbischofs von Mainz ist eine Kopie des Erzbischofs bei Raumer. Auch den Charakter des Papstes Alexander hat der Dichter nicht weiter ausgestaltet, als er ihn vorfand. Farblos wie bei Raumer ist auch Beatrice bei Grabbe charakterisiert. In der Darstellung des Otto von Wittelsbach haben wir bei dem Dichter keine weitere Ausgestaltung.

* * *

Man hat bisher angenommen, daß Grabbe die Hohenstaufengeschichte von Raumer als einzige Vorlage benutzt habe. Eine schärfere Untersuchung zeigt jedoch, daß auch andere Quellen in Betracht kommen. So hält z. B. Otto Nieten es für eine Erfindung des Dichters¹, wenn er im dritten Akte Barbarossa seinem Sohne, im Anschluß an die Verhandlungen zu Venedig, den Heiratsvorschlag machen läßt. Aber auch in der Weltgeschichte von Schlosser² wird dies berichtet. Barbarossa gedachte, »ob er jetzt mit einem Male erreichen könne, was ihm trotz aller Anstrengungen während seines ganzen Lebens mißlungen sei. Wenn er Konstanze seinem Sohne Heinrich vermählte, so gewinne er das schönste Land Italiens, schließe den Kirchenstaat von allen Seiten ein und zeige drohend den Lombarden hohenstaufische Reiche gegen Mittag und Mitternacht«.

Auch die Einzelheiten des merkwürdigen Einzuges der Mailänder in ihre zerstörte Stadt entnahm Grabbe der Darstellung bei Schlosser. Der Dichter zeigt uns, wie die Mailänder zum Wiederaufbau zurückkehren:

»... Mann an Mann in Waffen,
Im Bräuteschmuck die Jungfrau von den Scharen
Der ganzen Lombarden begleitet«³.

Bei Schlosser heißt es⁴, die Lombarden hatten beschlossen, Mailand wieder aufzubaun. Das Provenzale, das Friedrich Barbarossa auf dem Mainzer Reichfeste singt, entnahm der Dichter ebenfalls

¹ Otto Nieten, Grabbe. Sein Leben und seine Werke. Dortmund 1908, S. 228.

² Schlosser a. a. O. S. 328.

³ Grabbe, S. 19, 21 ff.

⁴ Schlosser, S. 317.

Schlosser¹. Vor allem ist die ausführliche Charakteristik des Erzbischofs von Mainz bei Schlosser auf den Dichter von Einfluß gewesen, wo dessen Person viel lebendiger geschildert ist als bei Raumer. Hier finden wir noch eine, von Grabbe verwendete, aber von Raumer nicht genannte, charakterisierende Einzelheit: Mit derselben Hand, mit der er kämpfte, habe er priesterliche Handlungen verrichtet, was den Dichter offenbar zu der charakteristischen Episode:

»... Da nimm
Die letzte Ölung. Denn für Helden
Von dieser Art hab' ich dies Fläschchen immer,
Auch in den Schlachten, unterm Mantel...«.

angeregt hat.

* * *

Im Gegensatz zu Raumer nimmt Grabbe eine völlige Zerstörung der Stadt Mailand an. Hier kommt ihm Karl Wilhelm Böttiger mit seiner Biographie »Heinrich der Löwe« zustatten. Bis auf die Kirchen und Klöster sei alles zerstört; »der Boden wurde gepflegt und mit Salz gesäet«; diese Worte finden wir bei Grabbe wieder (S. 19, 8, S. 20, 15). Merkwürdig stimmt auch folgende Stelle bei Böttiger² mit Grabbe (S. 50, 20 ff.) überein: »Die Päpste begünstigten die Mailänder öffentlich oder insgeheim, weil sie in ihnen ein Bollwerk sahen, an dem sich erst der deutsche Mut und Zorn anprallend brechen möge«. Die abergläubische Stimmung bei Wilhelm und Landolph in der großartigen Szene »im Harz« (IV. Akt) finden wir an der entsprechenden Stelle in dem »biographischen Versuch«.

Auch die Schlußszene des »Friedrich Barbarossa« weist eine deutliche Einwirkung Böttigers auf. Es finden sich da manche Einzelheiten, die historisch so nicht möglich sind; z. B. die Verkündigung Mathildens, sie werde dem Welfen einen Thronfolger schenken, der ihn dereinst rächen sollte. Mathilde hatte schon vor dem Sturze ihres Gemahls zwei Kinder, wie es Grabbe dann ja auch später im »Kaiser Heinrich VI.« darstellt. Der Dichter ist zu dieser Szene angeregt, besonders zu der Vision Heinrichs, durch folgende Bemerkung: »In England gebar Mathilde den

¹ Schlosser, S. 306.

² K. Böttiger, Heinrich der Löwe. Biographie. Braunschweig 1819, S 145.

jüngsten Sohn Wilhelm. So sollte also durch ein seltsames Geschick gerade derjenige seiner Söhne, welcher von allen allein den Welfenstamm fortplante, in der unglücklichsten Periode seiner Eltern erzeugt und geboren werden, aber auch in dem Lande, in welchem fünf Jahrhunderte später ein glorreicher Urenkel die Königskrone bekam, welche sich nach jenem alten, fabelhaften Gesichte Macbeths verdoppeln und verdreifachen und unter seinen Nachkommen in fünf Erdteilen und Ländern Untertanen zählen sollte. Unglücklicher Ahnherr Heinrich, wäre dir ein Blick in die Zukunft verstattet gewesen, wie hätte Dich, den Vielgedrückten, solche Aussicht gestärkt«. Überhaupt fand der Dichter auch den Charakter Mathildens am ausführlichsten hier gezeichnet. Nur in der Charakterisierung Heinrichs des Löwen nahm der Dichter sehr wesentliche Änderungen vor. Raumer betont überall des Welfen Machtgier und seine leidenschaftliche, brutale Herrschsucht. Grabbe stellt diese Eigenschaften in ganz anderem Lichte dar, wenn er sie überhaupt in Erscheinung treten läßt. Raumer stellt sich auf die Seite des Kaisers, Grabbes Auffassung dagegen hat manche Ähnlichkeit mit der Böttigers.

*
* *

Ein sehr bedeutsames literarisches Vorbild, auf das man, ebenso wie auf den »biographischen Versuch« von Böttiger, bisher noch nicht hingewiesen hat, ist Klingemanns Drama »Heinrich der Löwe«¹. Daß Grabbe dieses gekannt hat, dürfen wir aus der Tatsache schließen, daß er mit dem Dichter persönlich bekannt war.

Zwär erwähnt auch Raumer (II, 198), wie die Kunde von Barbarossas Tode sich verbreitet und die Kaiserin Witwentrauer angelegt habe. Aber über das Wiederfinden der beiden Gatten erzählt er weiter nichts, was für den Dichter in Betracht kommen könnte. Man kann hier vielmehr eine deutliche Parallele zu dem Drama Klingemanns feststellen. In der ersten Szene des ersten Aktes sehen wir die Gemahlin Heinrichs des Löwen, wie sie um ihn trauert, denn Heinrich soll im Morgenlande gefallen sein. Da tritt (2. Szene) ein Ritter ein und meldet der Herzogin die

¹ A. Klingemann, Heinrich der Löwe. Tübingen 1808. (Theater Bd. I).

Ankunft eines Pilgrims, in welchem sie dann den Gatten erkennt. Merkwürdig fällt uns in der zweiten Szene des vierten Aktes auf, daß dem Herzog die Gemahlin zur Seite »in Ritterrüstung« geht. In den geschichtlichen Vorlagen fand Grabbe nichts dergleichen, wie überhaupt Mathilde während des Kampfes mit Barbarossa nicht an der Seite Heinrichs weilte; sie lag im Wochenbett zu Braunschweig¹. Wir haben es hier mit einer literarischen Beeinflussung zu tun. Und zwar kommt wiederum Klingemanns Drama »Heinrich der Löwe« in Betracht. Hier versetzt uns die erste Szene des vierten Aktes in das gleiche Milieu, das wir bei Grabbe in der zweiten Szene des vierten Aktes vorfinden. Waldige Gegend in Thüringen; es ist tiefe Nacht; nach vorn zu ein Wachtfeuer. Auch die zeitliche Lage der Ereignisse ist die gleiche wie in dem Grabbeschen Drama: vor einem entscheidenden Kampfe mit dem Kaiser. Bei beiden endet diese Szene mit dem Aufbruch in die Schlacht. Wie bei Grabbe, so geht auch bei Klingemann Heinrich dem Löwen ein weiblicher Ritter zur Seite. Hier ist es der Ritter »Balduin«, eine Frau, wahrscheinlich Heinrichs erste Gemahlin, von der er sich wieder trennen mußte. Sie ist ihm seitdem immer als treue Beschützerin nahe.

* * *

Nach näherer Untersuchung kann man den Einfluß von Nienstädt's Dichtungen² auf Grabbe feststellen. In »Heinrich VI.« finden wir Berno und Ortolf, Figuren, welche Wilhelm und Landolph ähnlich sind. Die Grabbeschen Soldaten verachten den italienischen Wein, sie sehnen sich nach dem »Biere von Nürnberg« und der »Gose vom Harze«. Bei Nienstädt aber sagt einer von ihnen: »Du schenkst einen süßen Wein; Du bist schuld, daß ich mein gutes Hildesheimer Bier verschmähe«³.

Auch die Monologe Heinrichs des Löwen finden wir bei Nienstädt in der gleichen Anordnung. Doch müssen wir hier in der Feststellung von Abhängigkeiten vorsichtig sein, da manches sich natürlich aus dem Stoffe selbst ergibt und beide die gleiche Quelle: Raumer haben. Doch weist auch die ganze Anlage des ersten Aktes eine Ähnlichkeit mit Nienstädt auf: Auch bei ihm

¹ Raumer II, 217.

² W. Nienstädt, die Hohenstaufen. Leipzig 1826.

³ A. a. O. I, 2.

spielt die Szene des ersten Aktes in Mailand; die zweite Szene stellt ebenfalls das prächtige deutsche Lager dar.

* * *

Grabbe führt den Nibelungendichter ein, und diese Anregung hat er von Raumer empfangen; doch nennt dieser keinen Namen. Grabbe nennt ihn Heinrich von Otterdingen. Damit folgt er keiner seiner Vorlagen, denn in diesen wird nirgends Otterdingen als Dichter des Epos genannt. Während des Festes besingt Otterdingen die deutsche Kaiserherrlichkeit; sie gibt ihm die Anregung zum Nibelungenliede. Hier vertritt Grabbe die Ansicht der zeitgenössischen Germanistik. Und wenn dann Grabbe Otterdingen sagen läßt:

»Hätt' ich nicht Hohenstaufen Größ' erblickt,
Nie wäre Nibelungen mir geglückt!« (S. 86, 23 ff.)

so huldigt er auch damit der Auffassung der meisten Germanisten seiner Zeit: der Nibelungendichter habe den erlebten Gegensatz und Kampf zwischen Welfen und Waiblingen auf die alten Helden der Sage angewandt, ja, daß der alte Streit zwischen den Nibelungen und Wölflingen sich noch einmal in dem Kampfe zwischen Ghibellinen und Welfen wiederholt habe, oder daß die Nibelungen und Wölflingen nichts anderes seien als die Waiblingen und Welfen¹.

So stellt ja auch Grabbe den Kampf zwischen Friedrich Barbarossa und Heinrich dem Löwen dar als den Austrag eines schon in uralter Zeit erwachsenen Konfliktes².

b) »Kaiser Heinrich VI.«.

Nach der Ächtung Heinrichs des Löwen hatte Barbarossa einen neuen Zug nach Italien unternommen, in Deutschland viele innere Schwierigkeiten bewältigt und hatte dann auf dem »Hoftage Christi« zu Mainz das Kreuz genommen (1189). Nachher war die Regierung auf Heinrich VI. übergegangen, der schon zwanzig Jahre vorher zum Könige gekrönt war. Inzwischen war jedoch Heinrich der Löwe schon aus der Verbannung zurück-

¹ Karl Wilhelm Götting: Nibelungen und Ghibellinen. Rudolstadt 1816.

² S. 30, 2—12.

gekehrt und nachdem noch Barbarossa den Tod in den Wellen eines Flusses gefunden hatte, mußte sich Heinrich VI. durch schwere Verhältnisse hindurchringen, Im Norden des Reichs galt es, den Widerstand des aus seiner Verbannung heimgekehrten Welfen zu brechen, in Italien seine erheirateten Ansprüche auf Sizilien gegen das angestammte Königtum Tankreds von Lecce zu behaupten. Infolge solcher Schwierigkeiten mußte Heinrich VI. wenigstens einen Scheinfrieden mit dem Welfen schließen. Heinrich VI. erwarb mit großen Opfern die Kaiserkrone. Als die Vermählung des Welfensohnes mit des Pfalzgrafen Tochter Agnes stattgefunden hatte, war die Möglichkeit einer Einigung gegeben, die dann zustande kam. Dadurch bekam der Kaiser freie Hand für Italien. Mit gewaltiger Heeresmacht eroberte er allmählich Sizilien und wurde am Weichnachtsstage in Palermo zum Könige gekrönt.

Einem solchem Tatbestande sah sich der Dichter gegenüber. Indem er uns im ersten Akte nach Italien versetzt, muß er natürlich alle Ereignisse während des Aufenthaltes des Kaisers in Deutschland vor dem Zuge nach Italien auf diese Szene konzentrieren. Die Adelspartei in Unteritalien hat sich jetzt erst gebildet und Tankred zu ihrem Führer gewählt, sie hat jetzt erst mit Widerstand gegen die Deutschen begonnen, jetzt erst kommt die Kunde von Barbarossas Tode und der Ankunft Heinrichs des Löwen aus der Verbannung in England. Dadurch wird der Kaiser gezwungen, nach Deutschland zurückzukehren. Da der Dichter diesen nun folgenden Aufenthalt, des Kaisers in Deutschland als sehr kurz darstellt, und da in diese Zeit auch die Richard Löwenherz-Episode fällt, so muß natürlich schon jetzt, noch in Italien, die Kunde von der Ankunft des englischen Königs in Europa sich verbreiten. So bekommt Grabbe dann auch den Übergang zum zweiten Akt. Im übrigen stellt der Dichter — auch insofern hat er bedeutsam geändert — die Zeit in Italien nicht als eine Reihe von Niederlagen dar, durch die Heinrich zum Verlassen Italiens gezwungen worden wäre.

In Einzelheiten hält der Dichter sich jedoch auch hier eng an die Vorlage, d. h. an Raumer. Die Darstellung der Aufgabe Tuskulums zwecks Erlangung der Kaiserkrone¹ finden wir genau

¹ Raumer III, 18.

so bei Grabbe¹ wieder. Die Ankunft des Welfen, die uns der Dichter in der folgenden Szene darstellt, ist vollständig aus dem historischen Zusammenhange gerissen. Dann aber folgen die Ereignisse bis zur Zerstörung von Bardewick vollständig dem Verlaufe der Geschichte. Der Sonderfriede des Welfenherzogs mit Heinrich VI. u. a. mußte natürlich wegfallen, wie denn auch die Zeit bis zum Tode des Löwen beschränkt wird. Der zweite und dritte Römerzug wird in einen Zug zusammengefaßt. Der Geschichte entsprechend, wonach Heinrich VI. von Neapel, dem südlichsten Punkte, den er auf seinem ersten Zuge erreichte, seinen Heimzug antrat, führt uns der erste Akt nach Neapel. Wir sehen Heinrich als den herrischen Erben des Reichs der Konstanze. Die sentimentaln Klagen Tankreds über die entartete Nachkommenschaft der großen Väter finden wir auch bei Raumer: »Der Adel glaubte, die Zeit der Reformierung sei gekommen. An seiner Spitze stand der Erzbischof Matthäus². Er legte sich besonders für Tankred von Lecce ins Mittel; durch begeisterte Reden machte er Stimmung für ihn, den das Volk um seiner Mildtätigkeit willen ehrte«. Auch die Klage über die Verweichlichung des Adels, wie Raumer sie bringt³, finden wir bei Grabbe. — Die Überführung der Leiche Barbarossas nach Italien ist völlig unhistorisch; [in Wirklichkeit war sie unauffindbar]. Die Schilderung des Kreuzzuges aber finden wir bei Raumer genau so⁴, wie sie Grabbe durch den Hohenzollern geben läßt. Die Erzählung Hohenzollerns ist eine straffe Zusammenfassung von Raumer S. 335—352, wo die Verrätereien der Griechen und ihr zweideutiges Verhalten wie die schlimme Lage und die Not der Christen geschildert wird. Die Gefangennahme des Richard Löwenherz finden wir ähnlich so bei Raumer⁵ dargestellt, wie auch die Blondel-Episode. In der Szene an der Nordsee-Küste hebt Raumer besonders die Anhänglichkeit vieler seiner Untertanen hervor, die Heinrich den Löwen jubelnd empfingen. Ebenso hat es Grabbe dargestellt. — Der Reichstag von Hagenau ist — wofür wir schon im »Barbarossa« manches Beispiel fanden — wieder eine Zusam-

¹ Grabbe S. 161, 29 ff. und 162, 2 ff.

² Raumer III, 11 ff.

³ Raumer III, 41.

⁴ Raumer III, 335.

⁵ Raumer III, 30 ff.

menziehung aus mehreren historischen Tatsachen, die zeitlich weit auseinanderlagen. Wir unterscheiden: die Streitigkeit mit dem Erzbischof von Lüttich, die Auseinandersetzung mit Richard Löwenherz, die Agnes-Episode, die dann die Aussöhnung mit den Welfen bringt. In Hagenau selbst wurde in Wirklichkeit nur die Angelegenheit mit Richard Löwenherz verhandelt; die des Erzbischofs von Lüttich auf dem Reichstage zu Worms.

Zu den Worten des Nuntius

»... Ist ein Bischof denkbar ohne
Einwilligung des Papstes?«¹

ist zu bemerken, daß es sich hier um eine Verwechslung, einen Irrtum Grabbes handelt. Wenn er² sagt, daß Konrad gegen die Einwilligung des Papstes zum Erzbischof von Mainz ernannt worden sei, so steht dem die von Raumer³ berichtete Tatsache entgegen, wonach gerade Konrad der vom Papste anerkannte Bischof war, aber von Christian von Buch verdrängt, erst nach dessen Tode ihm im Amte folgte.

Die Sache des Richard Löwenherz bildete den eigentlichen Gegenstand der Reichversammlung zu Hagenau, wo auch der König von Frankreich Klage gegen Richard führte. Zu dieser Szene hat Grabbe oft wörtlich von Raumer übernommen. Die eingeflochtene Agnes-Episode hat geschichtlichen Hintergrund.

Grabbe kombiniert die Aussöhnung und den Tod Heinrichs des Löwen in einer Szene, obwohl beide Ereignisse um viele Jahre auseinanderliegen. Zur Charakteristik des lebensmüden, sterbenden Welfenherzogs fand der Dichter wiederum die Vorlage bei Raumer⁴. Durch die Aussöhnung mit dem Welfen hat der Kaiser freie Hand für Italien gewonnen. Zuvor aber will er noch die deutsche Kaiserkrone erblich machen. So stellt der Dichter es dar. In Wirklichkeit aber wurde ihm erst auf dem zweiten Zuge, als er 1194 in Palermo war, ein Sohn geboren. Diesem sucht er dann schon 1195 die Krone zu verschaffen. Den Versuch verlegt Grabbe nach Hagenau. — In der ersten Szene des vierten Aktes stellt Grabbe die Lage genau so dar, wie er sie bei Raumer vorfand. Doch von einer Verurteilung Aversas und Ophamillas

¹ Grabbe S. 163, 23 ff.

² Grabbe S. 163, 37.

³ Raumer II, 251.

⁴ Raumer III, 48 ff.

finden wir bei Raumer und in den anderen Vorlagen nichts. Die Ritterlichkeit Tankreds der Kaiserin gegenüber betont auch Raumer mehrere Male, wie denn der Dichter Tankreds Charakterbild genau so im Drama darstellt, wie er es bei Raumer vorfand. Allerdings erkrankte Tankred und starb nach der Belagerung Rocca d'Arces. — Dahin bringt uns die zweite Szene. Die Beschreibung der Feste gibt Raumer ganz ausführlich: Wenn der Kaiser den tapferen Statthalter Diephold nach der Entsetzung der Burg durch Schenkungen belohnt, so ist das Raumer entnommen, der von dem Geschenke »schöner Besitzungen« spricht.

Der letzte Akt zeigt uns den Kaiser auf dem Gipfel seines Ruhmes; er zieht als Sieger in Palermo ein. Und auch hier hat oft Raumer als Vorlage gedient. Die Hinrichtung Acceras übernahm Grabbe so, wie Raumer sie berichtet. Doch fand sie schon in Neapel statt, vor des Kaisers Ankunft in Sizilien. Wie denn überhaupt fast die ganze Tätigkeit Heinrich bis zu seinem Tode in diese eine Szene zusammengedrängt worden ist. Doch fast alle charakteristischen Einzelheiten hat der Dichter beibehalten.

Die letzte Szene des Dramas ist in engster Anlehnung an Raumer entstanden: Heinrich ist der Beherrscher der Welt; Griechenland und Afrika zahlen »ängstlich« dem deutschen Kaiser ihren Zins. Ungeheure Eroberungspläne wälzen sich in seiner Brust: »Sein war die Herrschaft vom Ätna bis zur Eider, eingeschlossen der Papst in hohenstaufische Reiche, neu eröffnet die alten normannischen Hoffnungen auf Griechenland, ja über Griechenland hinweg nach Syrien, nach Afrika, nach Ägypten!«¹.

Schon im »Friedrich Barbarossa« bemerkten wir, wie eng sich Grabbe in der Charakteristik seiner Personen an Raumer anschließt. Allerdings sehen wir da noch individuelle Töne in der Charakteristik Heinrichs des Löwen. In »Heinrich VI.« aber hat Grabbe die Charaktere alle so übernommen, wie sie seine Vorlage ihm bot. Nirgendwie hat der Dichter das farblose Bild der Konstanze weiter ausgestaltet; ebenso zeigen die Bilder Saladins und des Löwenherz keine neuen Züge.

* * *

Wie bei »Friedrich Barbarossa« kommen auch für »Heinrich VI.« andere Vorlagen, außer Raumer, in Betracht. Wenn wir

¹ Raumer III, 7.

die Darstellung Grabbes (S. 123, 19/23), in welcher von dem Verhältnisse des griechischen Kaisers zu dem Kreuzzuge die Rede ist, mit Schlossers Weltgeschichte vergleichen, so bemerken wir die Anlehnung des Dichters an Schlosser. — Jene geschickte Ausnutzung des Kreuzzuges, wie sie Heinrich plant, finden wir bei Raumer anders; dieser sagt vielmehr ausdrücklich: »Dadurch wurden... die Apulier von der Furcht befreit, der Kreuzzug sei gegen sie gerichtet: aber auch ohne ein solches Hilfsheer verfuhr der Kaiser hart und grausam«¹. Hier hat Grabbe Schlossers Vorlage benutzt. Dieser erzählt: Um möglichst viele Große für seinen Kreuzzug zu gewinnen, stellt sich Heinrich so, »mit meisterhafter Schlaueit«, als ob er ihn schon längst geplant habe. Er wolle die nötigen Überfahrtschiffe nach Palästina geben, wenn man sich in Apulien vereinigen wolle: »Natürlich zogen nun alle... nach Apulien, wo sie der Kaiser gerade damals brauchte, um einen neuen Aufstand zu bekämpfen«. Heinrich sei es gar nicht Ernst mit dem Kreuzzuge gewesen; er habe so nur ein billiges Heer haben wollen: »Die Kreuzfahrer verabschiedete Heinrich, sobald er seinen Zweck durch den Schrecken ihrer Waffen erreicht habe«².

* * *

Im übrigen hat vor allen anderen auch im »Heinrich VI.« Böttigers »biographischer Versuch« starke Spuren hinterlassen. Man vergleiche z. B. S. 151, 8—19 mit jener Darstellung³. Während der Verbannung fehlte mit Heinrich »die Einheit und der Halt fürs Ganze. In Sachsen tat jeder ungestraft, was ihm gefiel, und herrschte unabhängig in seiner Umgebung; jeder litt oder übte Gewalt, wie er eben der Stärkere oder Schwächere war. Es war eine »herrenlose, schreckliche Zeit«.

Weder Raumer noch Schlosser berichten dann von der kühnen Aufschrift über dem Portal der Kirche in Bardewick: »Vestigia leonis«. Dieses meldet allein Böttiger: »Nur die Kirchen und heiligen Gebäude blieben verschont... und daß des Tages Andenken nicht erlösche, wurde über dem Portal des Do-

¹ Raumer III, 54.

² Schlosser a. a. O. 528.

³ Böttiger a. a. O. 313.

mes ein hölzerner Löwe mit den Worten gesetzt: des Löwen Spur (vestigia leonis)«.

Auch in der Sterbeszene Heinrichs des Löwen ist ein Einfluß der entsprechenden Schilderung bei Böttiger¹ nicht zu verkennen. Der Tod des alten Welfen wird durch die »weiße Frau« verkündet, die in dem Schlosse gespensterhaft umgeht. Man hat hier eine Einwirkung von Boildieus damals gerade berühmten Oper »Die weiße Dame« sehen wollen². Aber das Zunächstliegende ist doch wohl anzunehmen, daß der Dichter hier eine alte Volkssage benutzt habe, wie sie wohl von jedem Schloß in Deutschland bekannt war. So erzählen die Gebrüder Grimm die Sage von »Frau Berta oder die weiße Frau«. Sie erscheint in den Schlössern mehrerer fürstlichen Häuser. »Sie tut niemandem etwas zu leide... Der Besuch bedeutet einen nahen Todesfall«.

* * *

Zu der kleinen Episode Diephold (fränkischer Hauptmann im vierten Akt, zweite Szene (S. 198, 1 ff.)) finden wir eine Parallele in einer weiteren, von Grabbe benutzten Vorlage, bei Nienstädt (zweiter Akt, zweite Szene), ein Motiv, das dem Dichter vielleicht die Anregungen gegeben hat. Dort läßt Friedrich Barbarossa einen Ritter, der seinem Befehle nicht Folge geleistet hatte, sein Verfehlen dadurch sühnen, daß er ihn einen besonders gefährdeten Turm einnehmen läßt. Glückt ihm das, so soll die Strafe damit abgetan sein. Grabbe läßt auch seinen Hauptmann sagen:

»Danke! Statt verdienter Strafe
Gibst Du mir Lohn und Ruhm!« (S. 196, 19 ff.)

Für das Auftreten der alten Sizilianerin, die dem wegen seiner Grausamkeit bitter gehaßten Kaiser den Tod prophezeit, können wir auch Nienstädt Beeinflussung annehmen. In dessen Drama tritt dem Kaiser ein Hellseher entgegen mit der drohenden Warnung:

»Ist kein Erbarmen? Blutbeladener Kaiser,
Dort schütteln sie die Körnlein Deiner Uhr,
Und wie die Tropfen vom gefüllten Haupt,
Rinnt Stund' an Stunde... Wehe dem Tyrannen!«³.

¹ Böttiger S. 450.

² Z. B. Franz und Zaunert in ihrer Grabbe-Ausgabe S. 151. Ebenso Nieten (Biographie, S. 237), der sogar die Beeinflussung allein hiervon anzunehmen scheint.

³ Nienstädt III, 7.

Auf die Anklänge an Homer in der berühmten Hirtenszene (fünfter Akt, zweite Szene) — Goedeke nimmt auch eine Szene aus Schillers *Jungfrau von Orleans*¹ an — hat man schon des öfteren hingewiesen. Grabbe übernahm ziemlich wörtlich die Stelle aus der *Odyssee*². Aber man hat dabei nicht gesagt, daß der Dichter mit der Herübernahme der uralten Worte einen künstlerischen Zweck verfolgte. Die Eingangsworte: »Nur eines ist geblieben...« weisen den Weg zum Verständnis.

* * *

Zum Schluß seien noch einige unbedeutendere, aber doch klar festzustellende Nachahmungen genannt. Und zwar aus Uhlands *Konradin*. Tarfe, der Häuptling der Sarazenen, beweist den Hohenstaufen Anhänglichkeit, weil Kaiser Friedrich den Sarazenen Wohnsitz gewährt und Allah Tempel bauen ließ:

»... Gebet, o Herr, durch welchen Kampf und Sturm
Wir Dich auf unseren Schultern sollen tragen;
Dort meine Bogenschützen brennen längst,
Den Pfeil in Deiner Feinde Herz zu schnellen«.

Bei Grabbe wollen die Sarazenen auch für den Fürsten in den Tod gehen. Ein literarisches Vorbild für den ganzen Aufbau der dritten Szene des zweiten Aktes findet sich in der ersten Szene von Uhlands »*Konradin*«. Diese spielt an der Seeküste von Neapel; Konradin landet:

»Apul'scher Boden, freudig sei begrüßt!
O Erde, die du dem Gelandeten
Noch unterm Fuße wankst, ich fasse dich
Inbrünstig, wie der Bräutigam die Braut«.

Galvano, ein alter Ritter, erklärt dann seinem Sohne, daß der angenommene Fremde der berühmte Konradin sei. Dieser geht auf ihn zu: »Wer bist Du? Nenne Dich!« und der Alte bietet ihm dann seine Dienste an³.

¹ Goedeke, *Grundriß zur Geschichte der deutschen Dichtung*. Bd. VIII. S. 622—639.

² Vgl. L. H. Voß: *Poetische Werke*. Berlin, Hempel o. J. Bd V. S. 117 (*Odyssee* X, 82 ff.).

³ L. Uhlands *Werke* Hgg. v. L. Fränkel, Leipzig, Bibliogr. Institut o. J. Bd. II. S. 301 f.

Zusammenfassung.

Wenn wir die Stellung Grabbes zum Stoff charakterisieren wollen, können wir zunächst ein Dreifaches feststellen: Was Piper vom »Napoleon« sagt¹, gilt auch für die Hohenstaufendramen: »Die Grabbeschen Figuren, welche er alle der Geschichte entnahm, zeigen keine neuen individuellen Züge. Ihre Physiognomie ist bereits jedermann bekannt«. Der Dichter führt auch keine neuen Personen in seine Handlungen ein, mit Ausnahme weniger Nebenpersonen, die auf die Handlung selbst nicht von Einfluß sind. Aber diese Figuren sind immer aus dem »Geiste der Geschichte« geboren; sie sind meist nur dazu da, uns besser in ihn hineinzusetzen, wie z. B. der unglückliche Vater in der ersten Szene des ersten Aktes; Wilhelm und Landolph, der Hauptmann in »Kaiser Heinrich VI.«.

Sonst läßt der Dichter seine Personen genau so handeln, wie sie in der Wirklichkeit handelten; schiebt ihnen keine wesensfremden Handlungen unter². Es ist also zu betonen, daß der Dichter Neuschöpfungen nicht gibt. Somit ist es unrichtig, wenn Nietens meint: »So unselbständig in der Erfindung der äußeren Handlung, gibt er trotzdem all seinen Gestalten den persönlichen Stempel. Er war recht eigentlich ein Umdichter«. In den beiden Hohenstaufendramen kann man das nicht finden.

Grabbe behält oft bis in die kleinsten Einzelheiten die von der Geschichte überlieferten Charakterzüge bei; vor allem die Ansprüche der Personen, wie sie die Geschichte überliefert. Es ist dies eine ganz auffallende Art, die wir in solcher Ausdehnung nirgends sonst bei einem anderen historischen Dramatiker finden, vielleicht hin und wieder bei Schiller. Dieser ändert aber im Wesentlichen, z. B. im Charakter des Wallenstein, der Piccolomini, Buttlers, ganz abgesehen von den früheren noch wesentlicheren Umformungen im Charakter des Don Karlos.

Man hat diese Eigenart Grabbes meines Erachtens nicht genügend hervorgehoben. Nur Reichl spricht einmal über das

¹ C. A. Piper, Beiträge zum Studium Grabbes. München 1898, S. 48.

² Eine Ausnahme bildet der Abfall des Grafen von Andechs, der in Wirklichkeit nicht stattfand, aber sich genau so hätte ereignen können, wenn Heinrich der Löwe — wie die Lage ja auch bei Grabbe ist — in Italien selbst von Barbarossa abgefallen wäre.

Gleiche im »Hannibal«¹. Aber er erkennt nicht, daß es sich hier doch wohl um etwas anderes handeln muß, als lediglich um einen Abklatsch. Im Gegenteil er spöttelt darüber, daß »der auf Originalität so stolze Grabbe an die alten Geschichtsschreiber« sich so eng anschließt; über die Dürftigkeit seiner Erfindung, »die es nicht verschmählt, sich mit antikem Sentenzenflitter aufzuputzen«¹.

Dieser Vorwurf scheint aber doch hinfällig zu sein: es ist kein Flitter, wenn Grabbe möglichst viele Einzelheiten, Gespräche, Worte anbringt. Er tut es wohl in allen Stücken, und das allein dürfte schon zeigen, daß wir es hierbei wahrscheinlich mit einem Prinzip zu tun haben.

Grabbe verlangt vom historischen Dramatiker nicht nur eine »konzentrische Idee«, der sich die geschichtlichen Tatsachen, die er an sich beibehält, unterordnen. Er geht noch weiter: »Der Dichter ist vorzugsweise verpflichtet, den wahren Geist der Geschichte zu enträtseln. Solange er diesen nicht verletzt, kommt es bei ihm auf eine wörtliche historische Treue nicht an«². Ähnlich hatte Humboldt⁴ ein Gleiches als die Aufgabe des Geschichtsschreibers hingestellt: »Der größte Vorzug des Kuntswerkes ist, die in der wirklichen Erscheinung verdunkelte innere Wahrheit der Gestalten offenbar zu machen«.

Was nun diese »innere Wahrheit«, den »Geist« betrifft, so scheinen nach Grabbes Meinung, die Details im Äußeren, die Aussprüche der Personen eher als die »Verkörperung der Wahrheit« aufzufassen zu sein. Deshalb müssen sie beibehalten werden. Allerdings nicht in ihrem geschichtlichen Verlaufe. Dieser ist nicht »wesentlich«. Daher ist das Zusammenschieben oder Verbinden von auseinanderliegenden Fakten erlaubt. Diese haben sich der »konzentrischen Idee« unterzuordnen.

Grabbe ist also hier in der Entwicklungslinie des deutschen historischen Dramas einen Schritt weitergegangen, von Goethe und Schiller dem modernen Realismus zu. Nach Riehl⁵ hatte es dem Dramatiker als sein Recht zugestanden, uns einen »unhisto-

¹ Anton Reichl, Grabbes und Grillparzers »Hannibal«. Euphorion. Ergänzungsheft z. 2. Bd., 1895, S. 94 ff.

² A. a. O. S. 98.

³ Im »Marius u. Sulla« Fragment, S. 128. Anmerk. 1.

⁴ Über die Aufgabe des Geschichtsschreibers. Berlin 1822, S. 28.

⁵ H. W. Riehl. Kulturgesch. Novellen, 1908, Stuttg. Vorw., S. VI.

rischen Wallenstein oder Egmont« darzustellen. Erst von Prosa schreibenden Novellisten verlangt er, daß er unserer historischen Bildung keine Ohrfeige versetze. Dieser müsse auch in dem Äußeren, dem geschichtlichen Kostüm wahr sein. Die geschichtliche Wahrheit verlangt also Grabbe auch schon vom Dramatiker.

In diesem Sinne müssen wir wohl die enge Anlehnung Grabbes an den Stoff auffassen¹. Etwas anderes ist es, wenn sich der Dichter oft rein kopierend seiner Vorlage gegenüber verhält. Das hat dann einen anderen Grund, nämlich fehlende Gestaltungskraft. Nur von dieser Seite ist ein Tadel berechtigt. Und hier ist Grabbe sicher nicht unantastbar.

¹ Immermann spottet einmal darüber im »Münchhausen«, 13. Kap.: »Der historischen Dichtung aber ziemt es, nichts von der Geschichte verloren gehen zu lassen, nicht einmal den ehemaligen kurhessischen Zopf«.

WSTĘP.

W biologji współczesnej coraz bardziej utwierdza się pogląd, że do należytego zrozumienia życia zwierzęcia nie wystarczy znać dobrze tylko jego budowę i funkcjonowanie poszczególnych organów, jako części składowych tak a tak zbudowanego ustroju, ale nadto trzeba wziąć pod uwagę i środowisko, w którym ustrój ten żyje. (Russell 1934). Wszystkie czynniki zewnętrzne są ściśle z sobą związane i razem też składają się na świat otaczający istoty żywej, którego zasadnicze znaczenie dla strukturalnego i funkcjonalnego różnicowania się organizmów, docenił jako jeden z pierwszych już przed stu laty E. Geoffroy St. Hilaire; termin przez niego wprowadzony »le mond ambiant«, a w odniesieniu do subiektywnego obrazu, jaki otoczenie zwierzęcia w niem wywołuje, zręcznie przetłumaczony przez J. Uexküll'a na »Umwelt« (ambiant — okružający, otaczający), jest też dziś w powszechnem użyciu. (Uexküll 1921, 1928, 1934). Zależnie od rozmaitej budowy poszczególnych gatunków zwierzęcych i różnorodnych funkcyj ich narządów zmysłowych, oraz wobec różnitości warunków ekologicznych, owo środowisko, w jakim ustrój postrzega i działa, każdemu zwierzęciu przedstawiać się musi inaczej. Dopiero przy uwzględnieniu zewnętrznych ram gatunkowego życia i w zależności od właściwości środowiska, staje się zachowanie się zwierząt w swych specyficznych formach dla nas przynajmniej po części zrozumiałem.

Badania nad swoistemi funkcjami zmysłów zwierzęcych jako receptorów wrażeniowych, rozwijające się w ostatnich czasach tak potężnie, obok rozwiązywania zagadnień natury czysto fizjologicznej, pozwalają nam równocześnie wglądać w życie wewnętrzne zwierzęcia t. j. w jego psychikę, dając nam tutaj w ogólnych zarysach pewne wyobrażenie o subiektywnym obrazie świata, jaki w związku ze sprawnością zmysłów w świadomości zwierzęcia powstaje. W tem zagłębianiu się w wewnętrzne reakcje zwierząt wyżej uorganizowanych na ich życiowe środowisko najważniejszą rolę odgrywają badania nad światem wrażeń wzrokowych, w szczególności nad wrażliwością na barwy i kształty, jak również nad pamięcią i owem utrwalaniem wrażeń wzrokowych. Wiemy np. jak decydująca rola przypada wrażeniom wzrokowym przy wyszukiwaniu pokarmu i odnajdywaniu się płci, w jak

znacznej mierze informują zwierzę o wrogach. Dokładna znajomość tego świata percepcyj przyczynić się może nieraz do takich wyjaśnień, jak znaczenie ubarwienia i ukształtowania godowego, ubarwień ochronnych, odstraszących i t. p.

Problemowi temu poświęcono w ostatnich latach wiele prac, które odnosiły się zarówno do zwierząt kręgowych jak i bezkręgowych. Stanowią one zaledwie wstęp do poznania tej obszernej dziedziny. W grupie gadów wiadomości nasze pod tym względem są jeszcze po dziś dzień bardzo ograniczone. Mimo tego, że gromada ta szczególnie pociąga naszą uwagę nie tylko ze względu na jej pochodzenie, lecz także dzięki różnorodności form, jakie zawiera i różnaitości ekologicznych warunków, w jakich występują jej przedstawiciele (Werner 1912), poświęcono jej dotychczas nieliczne tylko badania.

I tak z wielkiej gromady gadów tylko krokodylę, jaszczurki i żółwie bezpośrednio zainteresowały badaczy. Znajomość nasza ich świata wzrokowego ogranicza się jednak właściwie do dziedziny barw (bliższe szczegóły w zestawieniach Kühna z r. 1927 i 1929). O zdolności widzenia przedmiotów o ściśle określonych kształtach nie posiadamy, poza przypadkowemi spostrzeżeniami, żadnych danych.

Badania nad zdolnością odróżniania barw u poszczególnych grup gadów były dokonywane najrozmaitszemi metodami i skutkiem tego wyników jakie otrzymano dla jednej grupy nie można porównywać z wynikami dla grupy innej, a tembardziej z temi jakie otrzymano u innych kręgowców. Z odnośnej literatury wspomnimy tutaj tylko o tych faktach, które mogą mieć znaczenie dla omawianego przez nas zagadnienia.

Krokodylę badał Laurens (1923) metodą pupilloskopieczną. Fotografował on źrenicę w czasie, gdy była ona poddana działaniu promieni świetlnych o różnej długości fali, ale równej energii i porównywał jej szerokość w różnych okolicach widma. W podobny sposób poddał badaniom oko człowieka i gołębia. Porównując wyniki otrzymane u tych obiektów doświadczalnych, stwierdził on, że wartości pupillomotoryczne u krokodyli zbliżają się bardziej do takichże wartości u człowieka, aniżeli u ptaków. Możliwaby skutkiem tego przypuszczać, że zmysł barw u aligatorów przypomina zdolność widzenia barw u człowieka.

O zmysle widzenia barw u *jaszczurek* nie mieliśmy do nie-

dawna żadnych danych. Dopiero w r. 1933 zajął się nimi Wagner, próbując tresować je na barwne papiery. Stwierdził, że rozróżniają one przynajmniej osiem odcieni barwnych: barwę czerwoną, pomarańczową, żółtą, żółto-zieloną, zieloną, niebiesko-zieloną, niebieską i fioletową. Z pomiędzy zaś papierów o barwach szarych, rozróżniają one na pewne tylko barwę czarną i białą.

Rząd *żółwi*, którym zajęliśmy się w niniejszej pracy, przedstawia specjalny interes dla badań. Z jednej strony siatkówka tych zwierząt składa się z samych elementów czopkowych (M e n e r 1929), a więc odpowiada pod tym względem siatkówce jaszczurek, dzięki czemu jest ona szczególnie interesującą ze względu na »teorię dwojakiej funkcji« (Duplizitätstheorie niemieckich autorów), której zwolennicy przyjmują, że czopki są elementami dającymi wrażenia barw pstrych, pręciki zaś różnice w intensywności światła. Z drugiej strony oko *żółwi* pod względem swej budowy przypomina oko ptaków dziennych, posiada mianowicie w siatkówce kulki tłuszczowe o barwach pomarańczowych i czerwonych. Hess (1910) badał u różnych gatunków granicę zdolności rozpoznawania białych kawałeczków pokarmu, które oświetlano rozmaitemi barwami widma lub barwnymi światłami przepuszczanymi przez filtry. Doświadczenia swe przeprowadzał on w całkowitej ciemności, przy różnym stopniu adaptacji zwierząt. W wyniku tych doświadczeń podaje on, że zdolność widzenia barw pokrótkofalowej stronie widma jest u *żółwi* bardzo ograniczona. Zwierzęta te mają odróżniać barwę zieloną znacznie gorzej, aniżeli człowiek. Barwy niebieskiej nie widzą nawet wtedy, gdy jej siła świetlna przewyższa 200 razy tę, jaka wystarcza człowiekowi do rozróżniania tej barwy. Według danych Hessa, mają *żółwie* widzieć barwy mniejwięcej tak jak my, gdybyśmy spoglądali na nie przez pomarańczowy filter. Wyjaśnienie tego zjawiska widzi on w obecności żółtych, pomarańczowych i czerwonych kulek tłuszczowych w oku *żółwia*, które położone w siatkówce mogłyby spełniać rolę takiego filtra (patrz także Roaf 1927 i Johnson 1927). Badanie reakcyj na barwy o różnej długości fali zapomocą metody pupilloskopicznej, okazało się rzeczą niemożliwą. Jak się zdaje, ruchy tęczówki u *żółwi* nie zależą od siły światła. Hess przypisuje im rolę przy akomodacji oka.

Co się tyczy barwnych kulek tłuszczowych, to Hess przy-

pisywał im znaczenie ochronne dla elementów czopkowych przeciw szkodliwemu działaniu promieni krótkofalowych. Henning (1920) na podstawie własnych doświadczeń przypuszcza, że zwierzęta posiadające takie pomarańczowe lub czerwone kulki tłuszczowe, a więc żółwie i ptaki, w środowisku mglistym widzą lepiej niż inne. Zdolność ta miałyby być nawet nieodzownie potrzebną dla utrzymania gatunku, albowiem umożliwiałyby im orientację, szczególnie w porze składania jaj i wyszukiwania pokarmu. Przeciw temu pogładowi wystąpił Honigmann (1921). Podkreśla on, że żółwie mają silnie rozwinięty węch. Zdolności lepszego orjentowania się ich w środowisku mglistym dzięki zabarwieniu siatkówki, nie uważa za prawdopodobną ze względów czysto fizycznych.

Spowodu podobieństwa, jakie okazują *ptaki* w stosunku do żółwi pod względem obecności w oku pomarańczowo-czerwonych kulek tłuszczowych (Rochon-Duvigneaud 1920), należy wspomnieć krótko o zdolności widzenia barw u tej grupy gadotaków (*Sauropsida*). Hess wykazał także u ptaków obniżenie zdolności widzenia barw w krótkofalowej okolicy widma. Ma ono być jednak nieco mniejsze niż u żółwi. Także tutaj sprowadza on je do selektywnego działania kulek tłuszczowych. U ptaków czerwone kuleczki nie są tak liczne w stosunku do pomarańczowych jak u żółwi, skutkiem tego działanie ich jako filtrów barwnych ma być słabsze jak u żółwi. Ze spostrzeżeń innych autorów (patrz zestawienia Kühna 1927, 1929), którzy przeprowadzali swe badania zarówno metodą widzialności pokarmu jak i tresury, okazuje się, że ptaki są w stanie odróżniać wszystkie barwy. Honigmann (1921) potwierdza dane poprzednie Hessa tylko o tyle, że stwierdza mniejszą wrażliwość na barwy w obrębie promieni krótkofalowych. Według jego spostrzeżeń także i w tej okolicy posiadają ptaki zdolność odróżniania barw. Wykazał on dalej, że wrażliwość na barwy zmienia się wraz ze stopniem adaptacji zwierzęcia. Ptaki adaptowane na jasność są o wiele wrażliwsze na barwy czerwone, aniżeli równie przyzwyczajony do jasności człowiek (przy promieniowaniu o długości fali 600μ — około 4 razy). Tę nadwrażliwość na promieniowanie długofalowe wytłumaczyć można albo większą wrażliwością elementów czopkowych na wszystkie promienie świetlne wogóle, albo djoptrycznym działaniem barwnych kulek tłuszczowych. Kulki te mogłyby dzia-

łać jako maleńkie soczewki skupiające i dzięki swemu położeniu w siatkówce, skupiać promienie świetlne na czopkach. Wkońcu oba te czynniki mogłyby z sobą współdziałać. Obniżenie wrażliwości na promieniowanie o mniejszej długości fali, wyjaśnia Honigmann także działaniem pomarańczowych kulek tłuszczowych, spełniających rolę filtrów.

Zagadnienie.

Doświadczenia niniejsze nad zdolnością widzenia barw i kształtów przedmiotów u żółwi miały na celu wypełnić choć częściowo lukę istniejącą w wiadomościach naszych o fizjologii wzroku i łączących się z tem zagadnieniach z psychologii tych zwierząt. Aby uzyskać możność wglądu w świat wrażeń wzrokowych tej grupy gadów postawiliśmy sobie szereg pytań, na które należało znaleźć odpowiedź. Przedewszystkiem chodziło o znalezienie metody, przy pomocy której dałoby się podejść do postawionych zagadnień. Odrazu nasuwała się na myśl metoda tresury, oparta na znanym powszechnie pojęciu odruchów warunkowych Pawłowa (patrz Pawłow 1926), która oddała już wielokrotne usługi w podobnych doświadczeniach u innych grup zwierzęcych. Na wstępie należało więc stwierdzić, czy i o ile żółwie posiadają zdolność tworzenia kojarzeń między pokarmem, a podawaną im równocześnie barwą lub figurą o określonym kształcie. Dopiero po uzyskaniu odpowiedzi dodatniej można było przejść do doświadczeń właściwych. Dla uproszczenia przeglądu zagadnień podzielimy je na dwie grupy główne: jedną, w której chodziło o zbadanie świata wrażeń barwnych u żółwi i drugą, której przedmiotem był stosunek tych zwierząt do przedmiotów o określonych kształtach.

W grupie pierwszej staraliśmy się przedewszystkiem stwierdzić, czy żółwie postrzegają barwy jakościowo t. zn. jako wrażenia całkiem odmienne od stopni szarości wzgl. intensywności światła. Ścisłe z tem związane jest pytanie, w obrębie jakich granic zwierzęta te są w stanie odróżniać barwy widma i jaka jest ich wrażliwość na różnice w odcieniach barwnych w porównaniu z człowiekiem. Dalej nasuwał się problem czy poszczególne odcienie barwne układają się u żółwi w odrębne grupy, a więc jak przedstawia się wzajemne pokrewieństwo rozmaitych wycinków

widma między sobą i czy tworzą one zamknięty krąg barw. Z tem łączy się pytanie, czy w zmysle barw u żółwi istnieją jakieś specjalne właściwości, któreby miały związek z obecnością w oku barwnych kulek tłuszczowych. Dalszym problemem było zagadnienie, czy żółwie mimo posiadania siatkówki o samych elementach czopkowych, są w stanie rozróżniać rozmaite stopnie szarości wzgl. intensywności światła. W doświadczeniach tej serii chodziło więc o stwierdzenie, czy zwierzęta te dadzą się tresować na określone odcienia barwy szarej. W przypadku odpowiedzi pozytywnej należało dalej zbadać stopień wrażliwości na odcienie barwne.

W drugiej głównej grupie doświadczeń chodziło o zbadanie, czy obok barw wchodzi w sferę zainteresowań wzrokowych żółwi także określone postaci przedmiotów. Przedewszystkiem, należało więc stwierdzić, czy żółwie są w stanie rozpoznawać figury rozmaitego kształtu. Ograniczyliśmy się narazie do figur płaskich. W razie uzyskania wyniku dodatniego postanowiłem przekonać się, czy zwierzęta odróżniają rozmaite formy na podstawie ich mniejszego lub większego podobieństwa lub różnicy czy też wszystkie figury nietresurowe pomijają jednakowo, oraz jak przedstawiają się stosunki pokrewieństwa figur dla oka żółwi. Innemi słowy chodziło o zbadanie, czy żółwie widzą pewne figury jako bardziej różniące się od siebie, inne zaś jako bardziej podobne. Po rozwiązaniu tych pytań zasadniczych należało nakoniec przekonać się, czy w życiu przedstawicieli wymienionej grupy gadów może grać rolę obok kształtów i barw także ich położenie przestrzenne i wielkość. W tym celu postanowiliśmy dać zwierzętom do rozróżnienia: po pierwsze figury tego samego kształtu lecz różnej wielkości, powtórę figury jednakowe co do kształtu i wielkości, lecz różniące się swem położeniem przestrzennem.

Zagadnieniami odnoszącemi się do świata barw u żółwi zacząłem się w miesiącach zimowych i letnich 1932 r. w Zakładzie Zoologicznym w Getyndze, dzięki znacznieszemu zasiłkowi z Funduszu Kultury Narodowej. Otrzymane wyniki zostały opublikowane w języku niemieckim (Wojtusiak 1933). Część dalszą pracy, obejmującą zagadnienia kształtów przedmiotów, wykonałem w r. 1932 i z początkiem r. 1933 w Zakładzie Psychogenetycznym Uniw. Jag. w Krakowie. Kierownikom obu Zakładów pp. prof. dr. Alfr. Kühnowi i prof. dr. T. ad. Garbowskiemu, oraz Dyrekcji

Funduszu Kultury Narodowej za umożliwienie i ułatwienie mi moich zamierzeń niech mi będzie wolno wyrazić i na tem miejscu jaknajserdeczniejsze podziękowanie.

Metodyka.

a) Materiał.

Jako materiał do przedstawionych poniżej doświadczeń służyły żółwie wodne, należące do kilku różnych gatunków. Do doświadczeń nad zdolnością odróżniania barw miałem do rozporządzenia dwa okazy zwykłego europejskiego żółwia błotnego (*Emys orbicularis* s. *europaea* L.), dużego samczyka i mniejszy okaz samiczki, oraz sześć okazów żółwia kaspijskiego (*Clemmys caspica* Gm.) rozmaitej wielkości. Po pierwszych doświadczeniach okazało się jednak, że dla naszych celów wchodził w rachubę tylko ów drugi gatunek. Do doświadczeń nad zdolnością odróżniania kształtów służyły 3 okazy żółwia mauretańskiego (*Clemmys leprosa* Schweigg.) średniej wielkości o długości pancerza 7·5—8·5 cm, oraz 3 okazy żółwia chińskiego trójlistwowego (*Geoclemmys* s. *Daimonia reevesi* Gray.) o długości 9—9·5 cm.

Żółwie błotne w chwili rozpoczęcia doświadczeń t. zn. z początkiem stycznia nie chciały nic jeść, nawet gdy poruszano im kawałkiem mięsa tuż przed pyszczkiem. Z początkiem marca te same okazy brały już mięso pod wodą. Z końcem marca chwyciły za pokarm także ponad jej powierzchnią. W kwietniu płynęły już szybko do miejsca, w którym ujrzały rękę podającą im mięso. Ociężałość i brak reakcyj na pokarm w styczniu i lutym tłumaczą się prawdopodobnie porą zimową, w której zwierzęta te w normalnych warunkach zapadają w odrętwienie. Obniżona temperatura w porze zimowej wpływała na żywosc reakcyj na pokarm także i u innych gatunków żółwi, choć może w mniejszym stopniu. Doświadczenia z 1932 r. trzeba było wykonać w dobrze ogrzonym pokoju. Nauczony doświadczeniem, ogrzewałem wodę w akwarjum, w którym przebywały żółwie w Krakowie, przy pomocy grzejnika elektrycznego, co pobudzało je do żywszej aktywności i pozwalało wywołać reakcję niemal u wszystkich okazów.

Żółwie innych gatunków okazały się od pierwszych doświadczeń materiałem szczególnie przydatnym. Okazy małe reagowały

od początku żywo na trzymanym przed nimi pokarm, podchodziły szybko i brały pyszczkiem mięso. Okazy większe były początkowo bardzo powolne i nie chciały jeść, w krótkim czasie jednak reagowały równie dobrze jak mniejsze, tylko ruchy ich były nieco powolniejsze.

Przed rozpoczęciem doświadczeń musiano poznać wszystkie okazy, aby je można było łatwo odróżniać. Uskuteczniło to w ten sposób, że każdemu żółwiowi wypisywano na grzbietowej stronie pancerza cyfrę arabską przy pomocy tłustej kredki granatowej. Znak ten utrzymywał się dość długo także pod wodą bez odbarwienia; w ciągu doświadczeń wystarczyło odnawiać go zaledwie 4—5 razy. Dla ułatwienia orientacji w późniejszych protokołach z doświadczeń może służyć załączona tabela I, gdzie podano gatunki zwierząt, ich numerację i doświadczenia w porządku, w jakim zostały przeprowadzone.

Wszystkie okazy żółwi, z którymi miałem do czynienia w Getyndze, trzymałem w pokoju ze światłem południowym, położonym naprzeciwko pokoju przeznaczanego do doświadczeń. Znajdowały się one w dużym zbiorniku glinianym o pionowych ścianach około 80 cm długości, 60 cm szerokości i 25 cm wysokości. Mniej więcej trzecią część dna zbiornika zajmował grunt suchy; tworzyła go duża skrzynka z blachy cynkowej napełniona piaskiem i kamieniami. Duże kamienie ułożone przy skrzynce tej na dnie zbiornika ułatwiały zwierzętom przechodzenie z wody na ląd, gdzie żółwie wygrzewały się w promieniach słońca padających przez okno lub z elektrycznej lampy. Na czas doświadczenia przenoszono zwierzęta pojedynczo do mniejszych akwarjów. Okazy krakowskie pomieszczone były w dużym akwarjum z blachy cynkowej (o wymiarze $65 \times 67 \times 18$ cm) wypełnionym na głębokość 2,5—3 cm wodą. Na środku zbiornika znajdowała się wysepka z kamieni, na którą zwierzęta mogły wychodzić. W czasie doświadczeń pozostawiano w zbiorniku tylko ten okaz, z którym miano dokonywać prób, inne okazy przenoszono czasowo do innego akwarjum.

Zwierzęta karmiono tylko podczas doświadczeń. Wyjątek tworzyły jedynie te okazy, które — jak *Emys orbicularis* lub większe *Clemmys caspica* — w pierwszych tygodniach lub miesiącach nie chciały reagować. Karmiono je od czasu do czasu bez równoczesnego pokazywania figur.

Tabela 1.

Przegląd przeprowadzonych tresur.

a) Doświadczenia z barwami.

Okazy	<i>Clemmys caspica</i> nr:					
	1	2	3	4	5	6
Tresura na papiery barwne	barwa czerwona 7 przeciw żółtej 2 (doświadczenie wstępne)	barwa szara 9 przeciw rozmaitym barwom pstrym	barwa żółta 2 przeciw barwie niebieskiej 14 (dośw. wstępne)	barwa czerwona 7 przeciw żółtej 2 (dośw. wstępne)		b. żółta 2 przeciw rozmaitym barwom
	b. czerwona 7 przeciw rozmaitym barwom	inne stopnie sza- rości przeciw roz- maitym barwom pstrym	próby z kontra- stem równoczes- nym	b. czerwona 7 przeciw rozmaitym stopniom szarości		
	b. fioletowa 10 przeciw rozmaitym barwom	b. szara 9 przeciw rozmaitym stopniom szarości	b. zielona 22 przeciw rozmaitym barwom	próby z kontra- stem równoczes- nym		
	b. fioletowa 10 przeciw rozmaitym stopniom szarości	inne stopnie sza- rości przeciw roz- maitym stopniom szarości	b. zielona 22 przeciw rozmaitym stopniom szarości	b. niebieska 14 przeciw rozmaitym barwom		
				b. niebieska 14 przeciw rozmaitym stopniom szarości		

Tresura na barwy widma	b. fioletowa 15	b. czerwona 4	b. zielona 8	b. niebieska 12	b. zielona 10	b. żółta 6
	b. zielona 2 (bez wyniku)	b. fioletowa 14	b. fioletowa 13	b. zielona 7 (reakcje anormalne)	b. czerwona 5 (pomarańczowa)	b. niebieska 11
Tresura na światło przepuszczone przez filtry	b. szara 3 przeciw stopniom szarości	b. biała 1 przeciw stopniom szarości	b. purpurowa	b. żółta 6	b. zielona 9	b. zielona 7
				b. purpurowa		b. szara 4 przeciw stopniom szarości
b) Doświadczenia z figurami jednobarwnymi.						
Okazy	<i>Clemmys leprosa</i> nr:			<i>Geoclemmys reevesi</i> nr:		
	1	2	3	1	2	3
Tresura na kształt, położenie i wielkość	kwadrat przeciw trójkątowi	kwadrat przeciw rombowi	koło przeciw kwadratowi	2 kwadraty w różnym położeniu	2 trójkąty różnoboczne w różnym położeniu	2 trójkąty różnoboczne w różnym położeniu
	trójkąt przeciw kwadratowi	podobienstwo figur: kwadrat, 2 romby i trójkąt	koło, 8-bok, 6-bok i 5-bok	kwadrat przeciw trójkątowi		
		kwadrat przeciw prostokątowi	koło przeciw 12-bokowi	kwadrat mały przeciw dużemu		
		2 prostokąty w różnym położeniu	2 trójkąty w różnym położeniu	koło przeciw elipsie		
		trójkąt duży przeciw małemu		R przeciw L		
		kwadrat mały przeciw dużemu		L w różnych położeniach		

b) Technika doświadczeń.

Wszystkie doświadczenia odnoszące się do zmysłu barw u żółwi przeprowadzono w pokoju, którego okna zwrócone na północ dawały się zasłaniać całkowicie lub częściowo przy pomocy czarnej story. Do doświadczeń służyły trzy akwarja o 42 cm długości, 28 cm szerokości i 28 cm wysokości. Zostały one ustawione na stole stojącym pod oknem w odstępach co 35 cm, w ten sposób, że jedną, krótszą ścianą zwrócone były do okna, drugą do wnętrza pokoju. Ażeby zwierzęta nie zwracały uwagi na ruchy eksperymentatora lub swych towarzyszy w innych, obok stojących akwarjach, oklejano ścianę zwróconą ku wnętrzu pokoju białym papierem; zasłona ta obejmowała także ściany boczne do połowy. Było to ważnem z tego powodu, że żółwie pomieszczone w akwarjum całkowicie odkrytem mogłyby oglądać proces karmienia swych towarzyszy przy innych barwach, co nie pozostałoby prawdopodobnie bez wpływu na ich własne reakcje. Akwarja napełnione były wodą do głębokości 3—5 cm, na dnie znajdował się czysty piasek. Przy białej ścianie, przy której dokonywano doświadczeń, leżał duży kamień, na który zwierzęta mogły wychodzić chcąc pobrać pokarm ponad wodą.

Jak wspomnieliśmy, karmiono zwierzęta tylko podczas doświadczenia. Za pokarm służyły małe kawałeczki mięsa końskiego, które odbarwiano poprzednio przez wymoczenie w wodzie. W ten sposób wykluczoną została od samego początku możliwość przyzwyczajenia zwierzęcia do barwy czerwonej. Pokarm przymocowano na końcu druta, a zwierzęta musiały go brać ponad wodą. Karmienie nad powierzchnią wody ułatwiało znacznie spostrzeżenia. Nie potrzeba było również specjalnie przygotowywać papierów barwnych, ażeby nie odbarwiały się przy karmieniu pod wodą, tak jak to musiał czynić Frisch (1925) przy swych doświadczeniach z rybami. Każdy okaz był używany do doświadczeń tylko jeden raz na dzień. Karmienie trwało od godz. 10—13:45 przed południem, a ponieważ czas ten nie wystarczał do przeprowadzenia obserwacyj na wszystkich okazach, przeto doświadczenia z pozostałymi okazami robiono popołudniu, od 3 godziny począwszy. Kolejność, w jakiej brano poszczególne okazy do doświadczeń, była stale ta sama. Z początku karmiono każde zwierzę tylko 10—15 razy. Okazało się jednak wkrótce, że zwierzę-

tom można dawać 2—3 razy więcej mięsa, a więc 20—40 razy dziennie, co naturalnie znacznie przyspieszało przebieg doświadczeń.

Tresurę na barwne papiery przeprowadzałem w podobny sposób jak Wagner w doświadczeniach z jaszczurkami. Gdy żółw przyzwyczał się już brać pokarm w akwarjum doświadczalnym z drutu, karmiono go dalej, pokazując równocześnie krążek papierowy określonej barwy. Do tego celu służyły drucziane widełki długości około 20 cm, o dwóch ramionach równoległych oddalonych od siebie o $1\frac{1}{2}$ cm. Na koniec jednego z ramion wbijano kawałeczek mięsa, na koniec drugiego tarczkę kołistą wyciętą z papieru barwnego wielkości 50-groszówki. Tarczka ustawiona była pionowo do płaszczyzny przechodzącej przez oba ramiona widełek, tak że tworzyła dla zwierzęcia tło, na którym pojawiał się pokarm. Widełki podawano zwierzęciu stale w położeniu pionowym przed tylną białą ścianą akwarjum, tak że pokarm i tarczka były dobrze oświetlone światłem padającym przez okno.

Do tresury na barwy używaliśmy kolorowych papierów Ostwald'a, zestawionych w 24-stopniowej skali. Cała skala wiedzie od barwy żółtej (nr 1—3) przez pomarańczową (4—5), fioletową (10—12), niebieską (13—15), jasnoniebieską (16—18), zieloną (19—21) do żółto-zielonej (22—24) i znowu do żółtej (1). Do tresury na barwy szare służyły szare papiery Heringa, z których 8 było uzgodnionych co do swego odcienia z ośmiostopniową skalą Ostwald'a. Pomiędzy temi 8 stopniami Ostwald'a znajdowały się jeszcze stopnie pośrednie, tak że cała skala barw szarych zawierała 17 stopni. Nr 1 był barwą białą, nr 17 czarną. W tabelach przedstawiających wyniki doświadczeń podane są obok numerów 17-stopniowej serji szarości także odpowiednie numery Ostwald'a (w klamrach).

Po wielokrotnem, zwykle 10—30-krotnem karmieniu przy określonej tarczce barwnej wykonywały zwierzęta głową i pyszczkiem już z daleka ruchy chwytające skoro tylko spostrzegły tarczkę sygnalizującą pokarm, i zbliżywszy się chwytaly często za papierek mimo, że kawałeczek mięsa znajdował się tuż obok. Takie postępowanie żółwia było znakiem, że tresura się udała. Sprawdzano to jeszcze w ten sposób, że podawano żółwiom widełki drucziane z tarczkami lecz bez pokarmu. Wtedy zbliżały się do barwy oznaczającej pokarm i gdy widełek druczianych

nie cofnięto dość szybko, chwytaly za papierek i ściągaly go nadół.

Po ukończeniu tresury wstępnej podawano żółwiom dwie tarczki barwne na dwu parach widełek. Jedna z nich miała zawsze barwę tresurową, druga jakąkolwiek inną, od której zwierzę miało odróżnić barwę, przy której otrzymywało pokarm. Jeżeli zwierzę chwytalo wyłącznie za barwę tresurową wynik był pozytywny. Często zdarzalo się jednak — zwłaszcza gdy jako barwy przeciwnej używano nie jednej, ale całego szeregu rozmaitych barw podawanych kolejno — że żółw chwytal za tarczkę o barwie przeciwnej. W tym przypadku nie byłoby wykluczone, że zwierzę po liczniejszych tego rodzaju »pomyłkach« mogłoby się przyzwyczaić brać pokarm nietylko przy barwie tresurowej ale także przy tarczce odmiennej. Z tego powodu próbowałem tutaj mięso tak przyprawić, ażeby żółwie nie mogły go zjeść i percepowaly barwę tarczki przeciwnej jako barwę ostrzegajacą.

Z początku zaprawialem mięso solą kuchenną. Okazalo się jednak wkrótce, że żółwie polykaly pokarm posolony równie dobrze jak zwykły, nie okazujac żadnej odrazy. Skutkiem tego zamiast soli użyłem chininy i maczałem mokre kawałeczki mięsa tuż przed próbami w proszku chininy. Metoda ta okazala się skuteczniejszą. Zwierzęta, które chwycily taki kawałeczek zaprawiony chininą, wypluwały go natychmiast i ocieraly sobie pyszczek przednimi łapkami. Niestety i ta metoda nie byla całkiem zadawalniająca. Ponieważ pokarm zaprawiony chininą wypluwały żółwie do wody akwarjum, trzeba bylo zmieniać ją dość często. Oprócz tego, po kilku próbach z chininą nie chcialy wreszcie wogóle chwytac za mięso, ani przy barwie ostrzegajacej, ani przy barwie oznaczajacej pokarm dobry.

Najlepszą okazala się znacznie prostsza, a dla zwierząt zupełnie nieszkodliwa metoda, polegajaca na zupełnie innej zasadzie. Skoro żółw zbliżył się do barwy przeciwnej i okazywal wyraźnie ochotę chwycić za mięso znajdujace się przy niej, cofano szybko widełki, tak że nie otrzymywal nic. Przy barwie pokarmowej natomiast mógł żółw zawsze, bez wyjatku, zdobyć swój kasek. W pamieci żółwia ustalalo się wówczas skojarzenie wyobrażeń: barwy powtarzajacej się stale — i pokarmu, wszystkich innych barw — i braku pokarmu. W ten sposób osiągnięto najlepsze wyniki.

W pierwszej serii doświadczeń badano u żółwi zdolność odróżniania odcieni barwnych w kręgu barw dość od siebie odległych. Do tego celu wybrano osiem barw ze skali Ostwald'a. Jedną z nich służyła stale jako barwa sygnalizująca pokarm. Obok niej podawano jako barwę przeciwną tylko jedną barwę odmienną raz albo tę samą barwę kilka razy po sobie, później inną i t. d. w dowolnym porządku. Z każdą barwą przeciwną dokonywano 20—40 prób. Gdy zwierzęta nauczyły się już odróżniać barwę tresurową od rozmaitych barw przeciwnych i robiły błędy tylko przy odcieniach podobnych w przybliżeniu do barwy tresurowej, wtedy pozostawiano tylko te ostatnie jako barwy przeciwne. Po między pozostawione barwy wstawiono następnie wszystkie odcienie barwne zawarte między niemi w 24 stopniowej skali Ostwald'a i używano ich skolei jako barw przeciwnych. W tej serii doświadczeń miały więc żółwie do odróżnienia bardziej subtelne odcienie barw. Próby powtarzano tak długo, póki ilość błędów przy barwach, sąsiadujących z barwą tresurową nie ustaliła się i już nie spadała. Można było być wtedy pewnym, że przyzwyczajenie zwierzęcia do wyróżniania barwy sygnalizującej pożywienie z pośród różnych barw sąsiednich zostało możliwie ukończone i że występujące jeszcze błędy polegały wyłącznie na mieszanii barw o podobnych odcieniach. Następowala wówczas ostatnia serja doświadczeń. Zwierzęciu podawano na czwororamiennych widelkach równocześnie tarcze o czterech barwach. Jedną z nich była barwą tresurową, trzy inne barwami bezpośrednio z nią sąsiadującami, przy których zauważono oczywiście największą ilość błędów. Następnie liczono ilość reakcyj chwytowych na każdą z czterech barw. Naturalnie porządek, w jakim umieszczone były barwy na widelkach, ustawicznie zmieniano, ażeby uniknąć tresury lokalizacyjnej, t. j. na uszeregowanie różnobarwnych krążków w przestrzeni. Na podstawie otrzymanych wyników wykreślano krzywą, której stromość wskazywała na zdolność odróżniania przez żółwie odcieni w okolicy barwy tresurowej.

Po ukończeniu wszystkich tych doświadczeń przetresowywano zwierzę na inną barwę.

Przetresowywanie takie przeprowadzono w prosty sposób. Przez 2—3 dni karmiono żółwia na tle nowej barwy, później równocześnie z tą nową tarczką pokazywano mu tarczkę barwy dawnej. Z początku zwierzę wykazywało reakcje chwytowe w kie-

runku barwy tresurowej wcześniejszej, nie otrzymywało przy niej jednak nic do jedzenia i wkrótce uczyło się reagować tylko na barwę tresurową nową. Od tej chwili z takim przetresowaniem zwierzęciem powtarzano opisane wyżej serje doświadczeń.

W podobny sposób postępowano także przy tresurach na papiery o barwach szarych.

W drugiej serji moich doświadczeń nad zmysłem barw, w której użyto barw widma, zastosowałem podobną metodę, jaką posługiwał się Wolff (1925) w doświadczeniach nad zmysłem barw u rybki strzebli (*Phoxinus laevis*).

Doświadczenia przeprowadzaliśmy w zaciemnionym pokoju. Po spuszczeniu stopy wpadało do pokoju jeszcze trochę światła przez umyślnie pozostawioną szparę 3—4 cm szeroką. W dni jaśniejsze stosowano szparę węższą, w dni ciemne szerszą. Ława optyczna, na której zmontowany był aparat spektroskopowy, ustawiona była ukośnie i tak wysoko, że promienie światła wychodzące z lampy łukowej padały na tylną, białą ścianę akwarjum, nie przechodząc przez szkło ściany przedniej. Dzięki temu obraz widma był bardzo jasny i wyraźny. Przy doświadczeniach z barwami widma używaliśmy zawsze tylko jednego akwarjum. Postawionego przed nim aparatu spektralnego nie ruszono nigdy z miejsca. Odstęp pryzmatu spektroskopu od tylnej ściany akwarjum wynosił około 175 cm. Odstępy pomiędzy lampą łukową, kondensorem, zasłoną ze szparą 1 milimetrową, soczewką i pryzmatem nieodchylającym pozostawały stale te same. Przed pryzmatem ustawiono zasłonę z blachy, którą można było odginać na bok i przy jej pomocy dowolnie rzucać do akwarjum, lub zatrzymać promienie wychodzące z aparatu widmowego. Akwarjum doświadczalne ustawione było inaczej niż przy doświadczeniach z barwnymi krążkami. Tylna jego ściana, oklejona białym papierem, zwrócona była teraz do okna i służyła jako ekran, na który mogły padać wycinki widma. Od strony okna ekran ten przykryto jeszcze kawałkiem tektury, ażeby ochronić barwy widma przed promieniami padającymi z okna i przez to uniknąć przygłuszenia wyrazistości barw.

Na ścianie akwarjum, zwróconej do wnętrza pokoju, umocowano dużą zasłonę z tektury, zaopatrzoną powyżej brzegu akwarjum w okienko odpowiedniej wielkości, przez które padały promienie widma na tylny ekran. Dla uzyskania wązkich wycinków

widma zawieszano przed tem okienkiem tekturową »drabinkę«, która zawierała 24 równoległych okienek, 10 cm wysokich, a 5 mm szerokich. Pomiedzy poszczególnymi szparami pozostawał pasek tektury 5 mm szeroki. Aby przyzwyczaić zwierzę do pewnej barwy opuszczano podczas karmienia na całą drabinkę jeszcze jedną zaslonę, która przepuszczała przez jedno swe okienko tylko barwę tresurową.

Żółwie, które karmiono przy jednej jedynej barwie i które widziały przy niej tylko kawałeczki mięsa, często nie chciały reagować, gdy podano im wszystkie wycinki widma bez pokarmu. Wobec tego sporządziłem z kilkunastu cienkich drucików małą drabinkę; na końcu każdego z nich zawiesiłem kuleczkę z plastyliny wielkości takiej, jak używane kawałeczki mięsa. Z początku podawałem tę drabinkę z fałszywym pokarmem przed tylnym ekranem, tak że żółwie widziały przed każdym paskiem barwnym po jednej kuleczce. Teraz reagowały bardzo dobrze, ale często tak szybko, że nie można było usunąć dość wcześnie całej drabinki, wskutek czego zwierzęta chwytaly kawałeczek plastyliny. Aby tego uniknąć, zawiesiłem więc później drabinkę z kuleczkami na ekranie przednim, tuż pod szparami przepuszczającymi barwy. Teraz żółwie widziały na tle wszystkich wycinków barwnych poruszające się cienie kulek i zmyłone podobieństwem ich do rzeczywistego pokarmu zbliżały się do jednej z barw i chwytaly, tak jakby to uczyniły w przypadku zwyczajnego karmienia.

Dla celów statystycznych wycinki barwne traktowano jako klasy. Dla każdej klasy oznaczano średnią długość fali na podstawie wielokrotnych pomiarów przy pomocy małego podręcznego spektroskopu *Winkel-Zeissa*. Przyzwyczajano żółwie do brania pokarmu przy barwie tresurowej przez 2--3 dni. Następnie podawano im wszystkie wycinki widma i liczono ilość reakcyj chwytowych przy każdej barwie.

Po każdej reakcji chwytovej — obojętnie na którą barwę wypadła — otrzymywało zwierzę, po opuszczeniu przedniej kłapy, 1—3 razy pokarm przy jednym tylko widocznym wycinku barwnym tresurowym. W ten sam sposób odbywało się również przetresowywanie. Zwierzę wykonywało początkowo ruchy chwytovej przy dawnej barwie tresurowej, nie otrzymywało jednak nic. Po pewnym czasie reagowało już tylko na nową barwę, przy której dostawało zawsze pokarm. Ażeby i przy tych

doświadczeniach uniknąć tresury na położenie, obracałem często pryzmat o 180° . Dzięki temu porządek barw na ekranie tylnym zmieniał się na wprost przeciwny. Oprócz tego zmienialiśmy także położenie barwy tresurowej, przesuując ekran przedni w prawo lub w lewo. Nastawienie widma na wycinek tresurowy odbywało się w tym przypadku zapomocą lekkiego obrotu ławy optycznej. Dla ułatwienia nastawienia zaznaczono na ekranie przednim linje, na które przy nastawianiu na poszczególne wycinki widma musiała paść granica widzialnej czerwieni i granica między barwą niebieską a zieloną. Nastawienie dokładne odbywało się przez kontrolę odcienia barwnego w wąskim wycinku barwy żółtej.

Do tresury z użyciem filtrów barwnych lub szarych usuwano pryzmat i przymocowywano filter na ekranie przednim pod klapą zaopatrzoną w jedną tylko szparę. Metoda tresury pozostawała przy tych doświadczeniach ta sama.

Doświadczenia nad zdolnością rozróżniania kształtu figur przeprowadzano w podobny sposób, jak doświadczenia nad odróżnianiem barw pigmentowych papierów. Przez jakieś trzy dni podawano zwierzęciu pokarm na widełkach druczianych na tle pewnej figury z białego kartonu, którą miało sobie zapamiętać. Po ukończeniu tresury dawano mu do wyboru dwie figury, z których jedna była figurą tresurową, druga zaś nową. Wielkość figur normalnych nie przekraczała 4 cm^2 . Jako przykład służyć może kwadrat o boku 2 cm , lub koło o średnicy 2 cm . Inne figury odpowiadały swą wielkością figurom wymienionym. W doświadczeniach nad odróżnianiem wielkości figur używano figur mniejszych, których wymiary podano przy opisie odnośnych prób. Figury białe ukazywały się zwierzętom na szarem tle blachy cynkowej. Przy badaniu stopnia podobieństwa rozmaitych figur podawano żółwiom naraz obok figury tresurowej trzy inne figury rozmaitego kształtu na opisanych już widełkach poczwórnych. Przed każdą figurką znajdowała się kulka z plastyliny imitująca mięso. Przy każdej próbie, skoro tylko zwierzę chciało pochwycić jedną z kulek, cofano widełki i dawano mu mięso przy figurze tresurowej na widełkach zwyczajnych.

c) Sposób protokołowania.

W doświadczeniach naszych można było wyróżnić kilka sposobów reagowania żółwi na barwy lub figury o określonych kształtach:

1. Zwierzę, zobaczywszy skalę barw lub figurę, okazuje już z daleka reakcję chwytania. Jak wypadł jego wybór, można rozstrzygnąć tylko przy jednej z trzech następujących reakcji.

2. Zwierzę zbliża się do barwy lub figury i chwytą nawet wtedy, gdy nie spostrzega przy niej ani mięsa, ani kulki plastelinowej, ani ich cienia.

3. Zwierzę wykazuje reakcje chwytowe tylko wtedy, gdy widzi kawałeczek mięsa lub cień.

4. Zwierzę przybliża się do jednej z barw, ale nie chwytą.

5. Zwierzę pełza ku skali barw, nie okazuje jednak żadnych określonych reakcji, lecz wędruje od jednej barwy do drugiej.

6. Zwierzę wędruje wokoło akwarjum, nie wykazując żadnych reakcji.

Z wszystkich tych reakcji tylko 2—4 traktowano jako pewne i tylko temi posługiwano się do zestawienia tabel i wykresów.

Na zakończenie tego rozdziału wspomnimy krótko o najczęściej przez nas używanych sposobach przedstawiania wyników. W jednym z nich, używanym przede wszystkim przy tresurach na kształty, oraz tresurach wstępnych na barwy pigmentowe, wyniki prób zestawiano po 10 razem i grupy te zaznaczano jako jednostki na osi odciętych. Z każdej takiej grupy obliczano procent reakcji dodatnich i zaznaczano na osi rzędnych, łącząc poszczególne punkty linią. Jeżeli krzywa przebiegała stale powyżej linii 50%, a blisko 100%, to zwierzę dane figury odróżniało, jeżeli zaś wykazywała wahnięcia po obu stronach linii 50%, przyjmowano, że żółw nie potrafił figur rozróżnić. Z doświadczeń, w których zwierzęta miały do odróżnienia barwę czy figurę tresurową z pośród kilku różnych barw czy figur, obliczano na podstawie wszystkich prób procent reakcji na każdy z sygnałów. Na osi odciętych zaznaczano poszczególne figury lub numery barw, na osi rzędnych obliczone wartości. Inne wykresy znajdują objaśnienia w tekście.

Zdolność odróżniania barw.

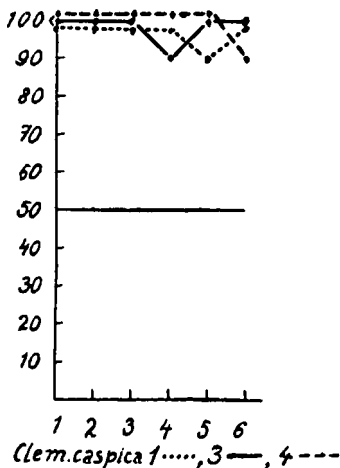
a) Doświadczenia z kolorowemi papierami.

1. Doświadczenia wstępne.

Doświadczenia wstępne podjęte zostały z dwóch powodów. Po pierwsze aby zapoznać się ze zdolnością uczenia się żółwi

i szybkością ich reakcyj. Po drugie, aby stwierdzić, jaki rodzaj tresury można zastosować do tych zwierząt, a więc na sygnał wabiący, czy odstrasżający.

Do doświadczeń tych zostały użyte trzy okazy *Clemmys caspica* nr: 1, 3 i 4. Pierwsze zwierzę karmiono 50 razy przez przeciąg 3 dni przy czerwieni nr 7. Następnie podano mu obok tej barwy barwę żółtą nr 2. Wynik przeszedł wszelkie oczekiwania. Zwierzę wybierało stale barwę, przy której było karmione, robiąc na 60 doświadczeń tylko 1 błąd (ryc. 1, linja kropkowana).



Ryc. 1. Tresury na barwy.
Objaśnienia w tekście.

Żółwia nr 3 tresowano również

przez przeciąg 3 dni na barwę żółtą nr 2, karmiąc go przez ten czas 50 razy. Następnie podano mu, jako przeciwną, barwę niebieską nr 14. Wynik otrzymany był ten sam: na 60 doświadczeń przypadł 1 błąd (ryc. 1, linja pełna). Podobny efekt otrzymano również z okazem trzecim, u którego barwą tresurową była czerwieni nr 7, a barwą przeciwną żółta nr 2 (ryc. 1, linja przerywana).

Przy wszystkich tych doświadczeniach zmieniano często wzajemne ułożenie barwnych tarczek. Raz barwa oznaczająca pożywienie znajdowała się z prawej strony, następnie 2—3 razy z lewej i t. d. Jakakol-

wiek tresura w związku z przestrzennem ułożeniem papierków nie mogła mieć miejsca. Podobnie wykluczone było działanie jakichkolwiek chemicznych czynników. Reakcje następowały w jednakowy sposób niezależnie od tego, czy przy barwie przeciwnej zaprawiono mięso solą lub chininą, czy też pozostawiono je w stanie normalnym, jak przy barwie oznaczającej pożywienie.

Pierwsze te doświadczenia wykazały znakomitą podatność żółwi do tresury, oraz pozwoliły stwierdzić, że u zwierząt tych możliwą jest tresura na barwę wabiącą. To ostatnie potwierdziły jeszcze próby, podczas których podawano żółwiom obie barwy bez mięsa. Wybierały one stale barwę tresurową. Barwa ta wywierała więc na nie siłę przyciągającą (atrakcyjną) jako ta barwa,

przy której otrzymywały mięso. Zwierzęta zachowywały ją w pamięci nawet wtedy, gdy już pokarmu przy niej nie dawano.

Dalsze doświadczenia z papierkami barwnymi podjęte zostały w celu stwierdzenia zdolności odróżniania barwy tresurowej od całego szeregu innych barw. Następnie należało zbadać, czy zdolność odróżniania ich polega na różnej jasności papierów barwnych, czy też zwierzęta odczuwają barwy jako wrażenia, różniące się między sobą jakościowo.

Ostatnie zagadnienie rozwiązano dwiema drogami. W jednej serji doświadczeń pokazywano pewną barwę pstrą, przy której znajdował się pokarm, a zwierzę miało odróżnić ją od barw szarych o różnej jasności. W drugiej serji doświadczeń postąpiono odwrotnie. Żółwie tresowano na barwę szarą o określonym odcieniu, a one miały odróżnić ją od barw pstrych. Ostatnią wreszcie grupę naszych doświadczeń, stojącą w ścisłym związku z wspomnianymi, stanowiła tresura na kolor szary i zbadanie zdolności odróżniania od siebie poszczególnych odcieni szarych.

2. Odróżnianie barw.

Doświadczenia nad zdolnością żółwi rozróżniania barw przeprowadzano stopniowo. Najpierw chodziło o stwierdzenie, czy zwierzęta te odróżniają barwę tresurową z serji ośmiu barw ze skali Ostwald a, a mianowicie: żółtej 2, pomarańczowej 5, czerwonej 7, fioletowej 10, niebieskiej 14, niebiesko-zielonej 17, zielonej 21 lub 22 i żółto-zielonej 24. Jednej z tych ośmiu barw używano jako barwy tresurowej. Następnie zacieśniano te badania do tych barw sąsiednich z pomiędzy ośmiu, przy których zwierzę robiło najwięcej błędów. Pomiedzy barwami sąsiednimi umieszczono wtedy wszystkie inne odcienie barwne stojące między nimi w 24 stopniowej skali Ostwald a. Przy każdej z barw liczono ilość błędów. Nakoniec podawano żółwiowi w ostatnich doświadczeniach, tylko cztery odcienie barwne sąsiednie i liczono ilość reakcyj chwytowych na każdą z nich. Wyniki doświadczeń omawiać będziemy po kolei, postępując za układem barw w widmie t. j. od czerwonej do fioletowej.

Na barwę czerwoną 7, wytresowano żółwia nr 1. Po ukończeniu tresury podawano mu przy barwie tresurowej jedną z barw z ośmiostopniowej skali, w każdej próbie inną i z każdą przeprowadzano po 20 prób. Załączona tabela 2 przedstawia wyniki.

Tabela 2.

Odróżnianie rozmaitych barw po tresurze na barwę czerwoną 7.

Numery papierów Ostwald a		2	5	7	10	14	17	21	24
Ilość błędów w grupach po 10 doświadczeń	I	0	0	—	5	0	0	4	0
	II	0	0	—	0	0	0	0	0

Widać z niej, że w pierwszych dziesięciu próbach robiło zwierzę błędy tylko przy fiolecie 10 i zieleni 21; w dalszych doświadczeniach wybierało już tylko barwę tresurową. Dalsze doświadczenia robiono ze wszystkimi odcieniami, zawartymi między barwą nr 5 i 12. Na 20 doświadczeń z każdą barwą zrobiło zwierzę tylko 2 błędy przy nr 6 i 5 błędów przy nr 8, a więc przy odcieniach najbliższych barwie tresurowej nr 7, oraz 1 błąd przy nr 11. Ostatni błąd możemy uważać za przypadkowy, ponieważ ten odcień barwny leży dość daleko od ostatniej barwy, za którą zwierzę chwyciło (tabela 3). Jeżeli wyniki te przeniesiemy na układ współ-

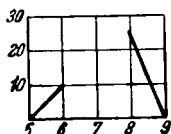
Tabela 3.

Odróżnianie rozmaitych barw sąsiednich po tresurze na barwę czerwoną 7.

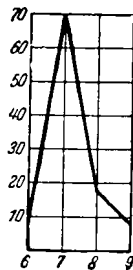
Numery papierów Ostwald a		5	6	7	8	9	10	11	12
Ilość błędów w grupach po 10 doświadczeń	I	0	1	—	3	0	0	1	0
	II	0	1	—	2	0	0	0	0
Razem w %	—	0	10	—	25	0	0	5	0

rzędnych metodą Trendelenburga-Schmidta (Trendelenburg-Schmidt 1930), widzimy, że krzywa błędów wznosi się w górę po obu stronach barwy tresurowej (ryc. 2). Błędy rozciągają się tylko na dwie najbliższe klasy obok barwy oznaczającej pozywienie. Rozproszenie (Streunung niemieckich autorów) musi być małe i możemy powiedzieć, że żółwie odróżniają barwę czerwoną bardzo dobrze. W ostatniej grupie doświadczeń, gdzie podawano zwierzęciu do wyboru równocześnie cztery barwy, dawało zwierzę na każdą

z nich pewną ilość reakcji, które zestawiono na ryc. 3. Największa ilość reakcji chwytowych, bo aż 70%, przypada tu na barwę tresurową. Znacznie rzadziej chwytą zwierzę za barwy sąsiednie 6 i 8, a tylko wyjątkowo za najbardziej oddaloną nr 9. Wyniki te zgadzają się dobrze z temi, jakie otrzymaliśmy w doświadczeniach poprzednich i również świadczą o wysokiej zdolności odróżniania barwy czerwonej u żółwi. Z porównania obu wyników widacznia się jeszcze jedno podobieństwo. W obu przypadkach widać po stronie fioletu więcej błędów, aniżeli po stronie odcieni przechodzących w barwę pomarańczową. Można z tego przypusz-



Ryc. 2.



Ryc. 3.

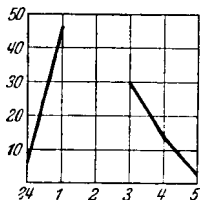
Ryc. 2. Tresura na barwę czerwoną 7. Oś odciętych: numery papierów Ostwalda. Oś rzędnych: liczba błędów w % przy podawaniu odpowiedniej barwy tresurowej. Ilość doświadczeń z każdą barwą (n) = 20.

Ryc. 3. Tresura na barwę czerwoną 7. Oś odciętych: numery papierów Ostwalda. Oś rzędnych: reakcje chwytowe w % przy równoczesnym podaniu 4 barw. Ilość doświadczeń (n) = 50.

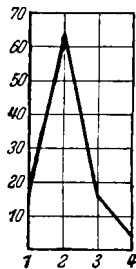
czać, że żółw percepuje czerwień ze skali Ostwalda jako barwę podobniejszą do fioletu aniżeli do barwy pomarańczowej.

Po tresurze na barwę żółtą 2 (żółw nr 6), zrobiło zwierzę przy próbach z 7 innymi barwami skali 8-stopniowej na 20 doświadczeń tylko 3 błędy przy barwie żółto-zielonej 24 i jeden przy pomarańczowej 5, a więc przy barwach o podobnej tonacji; oprócz tego przy barwie niebieskiej 17 istnieje 1 błąd, który można uważać za przypadkowy. W drugiej grupie doświadczeń poddano próbie zdolność odróżniania barwy tresurowej od wszystkich innych odcieni żółtych, zawartych między nr 24 i 5 skali Ostwalda. Z każdą barwą wykonano 30 doświadczeń (ryc. 4). Ilość błędów przy barwach stojących najbliżej barwy tresurowej jest dość znaczna i maleje w miarę, jak barwy te oddalają się od niej. Ilość błędów i zakres klas barwnych, na które się roz-

dzielają, jest większa niż przy czerwieni. To samo można stwierdzić w wynikach doświadczeń, w których badano ilość reakcyj chwytowych na cztery równocześnie podane krążki barwne (ryc. 5). Wierzchołek krzywej wykazuje wysokość 64%, jest więc niższy niż przy czerwieni 7. Co się tyczy przesunięcia średniej wartości krzywej względem klasy podstawowej (modalnej), a więc podobieństwa barwy tresurowej do barw sąsiednich po obu stronach, to w pierwszej krzywej znajdujemy wartość średnią przesuniętą na stronę zieleni.



Ryc. 4.



Ryc. 5.

Ryc. 4. Tresura na barwę żółtą 2. Objaśnienia wykresu jak do ryc. 2. $n = 30$.

Rys. 5. Tresura na barwę żółtą 2. Objaśnienia jak do ryc. 3. $n = 50$.

W krzywej drugiej liczby wyrażające ilość reakcyj chwytowych są w obu sąsiednich grupach barw mniej więcej dość równe.

Tresurę na zieleni nr 22 przeprowadzono z żółciem nr 3, który przedtem przyzwyczajony był do barwy żółtej. Odwrócenie tresury poszło gładko. Przez kilka dni karmiono go przy nowej barwie, a następnie podawano mu różne barwy z naszej 8-stopniowej skali. Z początku robił przy dawnej barwie wabiącej dość dużo błędów. Liczby przy barwie żółtej nr 2 wykazują, że zwierzę uczyło się stopniowo nie reagować na tę barwę. Z 7 błędów w 10 pierwszych doświadczeniach spadła cyfra reakcyj błędnych do 0 w ostatniej dziesiątce. Ogółem wykonano z każdą barwą po 40 doświadczeń (tab. 4).

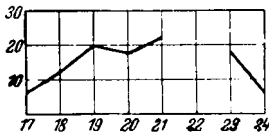
W doświadczeniach z barwami sąsiednimi okazało się, że wprawdzie przy najbliższych klasach barw robi zwierzę nieco mniej błędów, niż w doświadczeniach z barwą czerwoną i żółtą, lecz błędy rozciągają się na większą ilość klas. Rozproszenie krzywej jest więc stosunkowo duże (ryc. 6). To samo potwierdza wykres uzyskany z ostatniej grupy doświadczeń (ryc. 7). Wierzchołek jego jest jeszcze niższy przy odpowiednim wykresie z tre-

Tabela 4.

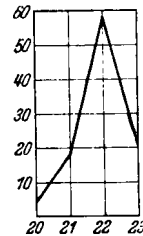
Odróżnianie rozmaitych barw po tresurze na barwę zieloną 22.
(po przetresowaniu)

Numery papierów Ostwalda		2	5	7	10	14	17	22	24
Ilość błędów w grupach po 10 doświadczeń	I	7	2	2	2	0	0	—	2
	II	3	1	1	3	0	1	—	0
	III	3	0	1	2	1	0	—	1
	IV	0	1	3	2	1	0	—	0
Razem		13	4	7	9	2	1	—	3
w %		32	10	17	22	5	2	—	7

sury na barwę żółtą 2, wysokość jego wynosi tylko 58%. Barwę zieloną odróżniają więc żółwie od barw obok leżących gorzej niż czerwoną i żółtą. O stosunku podobieństwa do barw sąsiednich, leżących w widmie po obu stronach barwy tresurowej, nie można powiedzieć nic pewnego.



Ryc. 6.



Ryc. 7.

Ryc. 6. Tresura na barwę zieloną 22. Objaśnienia jak do ryc. 2. $n = 30$.

Ryc. 7. Tresura na barwę zieloną 22. Objaśnienia jak do ryc. 3. $n = 50$.

Tresurę na barwę niebieską nr 14 przeprowadzono u żółwia, który poprzednio przyzwyczajony był do barwy czerwonej nr 7. Po odwróceniu tresury wykonano z każdą barwą 8-stopniowej skali po 40 doświadczeń. Jak widać z tabeli 5, żółw nasz robił najwięcej błędów przy barwie fioletowej nr 10 i niebieskiej nr 17, a więc przy barwach sąsiednich. Pomimo stosunkowo wielkiej ilości błędów także przy innych barwach widać, że zwierzę potrafi odróżnić również i barwę niebieską od wszystkich innych barw. Największa ilość błędów przy fiolecie nr 10 nie przekracza 40%. W doświadczeniach z barwami sąsiednimi użyto wszystkich odcieni barw, zawartych między nr 8 i 18 skali

Tabela 5.

Odróżnianie rozmaitych barw po tresurze na barwę niebieską 14.

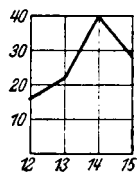
Numery papierów Ostwald a		2	5	7	10	14	17	22	24
Ilość błędów w grupach po 10 doświadczeń	I	2	3	3	4	—	0	1	0
	II	1	2	2	5	—	8	0	1
	III	0	1	1	4	—	3	0	1
	IV	0	2	2	3	—	1	0	2
Razem		3	7	8	16	—	12	1	4
w %		7	17	20	40	—	30	2	10

Ostwald a. Pomiedzy temi znajdował się także fiolet nr 10 i barwa niebieska nr 17, przy których w poprzednim szeregu doświadczeń zaobserwowano największą ilość błędów. Z każdą z tych barw przeprowadzono 30 doświadczeń z wyjątkiem nr 9, gdzie ze zwierzęciem wykonano 40 prób. Otrzymana w ten sposób krzywa (ryc. 8) okazuje, że żółw odróżnia wyraźnie barwę niebieską od wszystkich innych barw. Ilość błędów przy barwie fioletowej i niebieskiej znacznie zmalała; zwierzę nauczyło się więc odróżniać lepiej te odcienie barwne. Znaczna ilość błędów przy barwach sąsiednich i to, że obejmują one liczne klasy, wykazuje jednak, że zdolność odróżniania w okolicy barwy niebieskiej jest u żółwia rozwinięta znacznie gorzej, aniżeli na innych polach barw. Krzywa na ryc. 9, z ostatniego szeregu doświadczeń,



Ryc. 8.

Ryc. 8. Tresura na barwę niebieską 14. Objaśnienia jak do ryc. 2. n dla nr. 9 = 40, dla innych = 30.



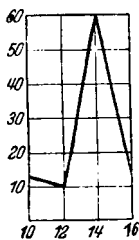
Ryc. 9.

Ryc. 9. Tresura na barwę niebieską 14. Objaśnienia jak do ryc. 3. $n = 50$.

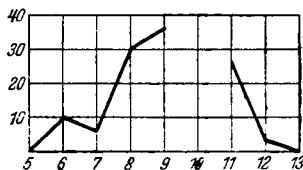
którą uzyskano przy podawaniu równoczesnem czterech barw sąsiednich, jest również, jak można było przypuszczać bardzo łagodna. Wierzchołek jej wykazuje tylko 40% wszystkich reakcyj

na barwę tresurową. Dopiero gdy przy takim samym układzie doświadczenia podaliśmy zwierzęciu nie cztery bezpośrednio sąsiadujące odcienie, lecz szereg, do którego wybrano tylko co drugi stopień barwny, otrzymaliśmy krzywą bardziej stromą (ryc. 10). Wierzchołek jej wykazuje teraz 60% wszystkich reakcyj na barwę tresurową, jest więc tak wysoki, jak wykazany przy tresurze na barwę zieloną. Ze wszystkich tych doświadczeń wynika, że najgorzej odróżniają żółwie tony niebieskie.

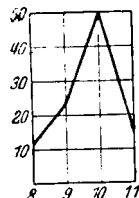
Żółw nr 1 został przetresowany, po poprzedniej tresurze na czerwień nr 7, na fiolecie nr 10. Doświadczenia z barwami sąsiednimi od pomarańczowej nr 5 do niebiesko-fioletowej nr 13 wykazują, że procent błędów i zakres jaki one obejmują, jest znacznie mniejszy, niż przy barwie niebieskiej (ryc. 11). Wierzchołek krzywej, uzyskanej z trzeciej grupy doświadczeń, wykonanych z czterema barwami, osiąga wysokość 50%, jest więc nieco wyższy aniżeli w odpowiedniej krzywej ilustrującej odróżnianie barwy niebieskiej (ryc. 12). Wartość średnia obu ostatnich krzywych jest przesunięta względem klasy podstawowej w stronę barw grupy czerwonej, t. zn.



Ryc. 10.



Ryc. 11.



Ryc. 12.

Ryc. 10. Tresura na barwę niebieską 14. Objaśnienia jak do ryc. 3. $n = 30$.

Ryc. 11. Tresura na barwę fioletową 10. Objaśnienia jak do ryc. 2. $n = 30$.

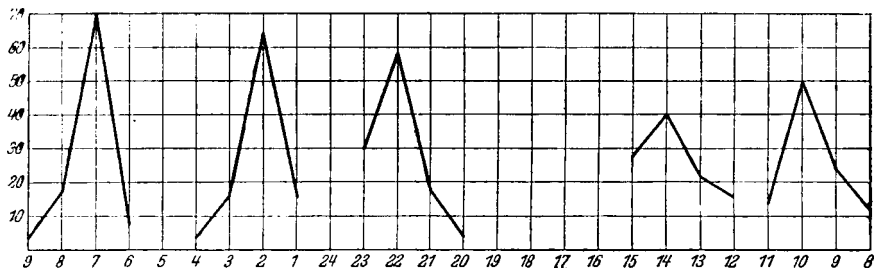
Ryc. 12. Tresura na barwę fioletową 10. Objaśnienia jak do ryc. 3. $n = 50$.

barwa fioletowa jest dla zwierzęcia podobniejsza do czerwieni aniżeli do niebieskiej. Ostatni fakt zgadza się doskonale z wynikiem, otrzymanym w przedstawionej poprzednio tresurze na barwę czerwoną. Wskazuje on już obecnie na udowodnione w późniejszych doświadczeniach istnienie zamkniętego kręgu barw u naszych zwierząt.

3. Czulość na różnice w odcieniach poszczególnych barw.

Zestawienie wykresów otrzymanych z trzeciej serji doświadczeń z tresur na poszczególne barwy, daje nam obraz zdolności

odróżniania barw na różnych odcinkach skali barwnej Ostwalda (ryc. 13). Jeżeli wyobrazimy sobie, że wszystkie wierzchołki krzywych zostaną połączone linją, to otrzymujemy wykres, w którym punkt *minimum* leży przy barwie niebieskiej; od tego miejsca wznoszą się ramiona krzywej w górę i tworzą przy barwie czerwonej wyższe, a przy fiolecie niższe *maximum*. Z zestawienia tego okazuje się więc, że w skali Ostwalda najlepiej od-



Ryc. 13. Zdolność odróżniania barw pigmentowych ze skali Ostwalda. Objasnienia jak do ryc. 3.

różniają żółwie barwę czerwoną i żółtą. Gorzej zaznacza się zdolność odróżniania fioleci i barwy zielonej; dla barwy niebieskiej zaś jest ona rozwinięta najslabiej.

4. Odróżnianie barw od szarości rozmaitego stopnia.

Po stwierdzeniu, że żółwie odróżniają krążki różnokolorowe, należało stwierdzić, czy zdolność ta polega rzeczywiście na jakościowo różnych wrażeniach barw, czy też może na rozmaitej jasności użytych papierów. Drogę do rozwiązania tego pytania stanowiła metoda użyta już dawniej przez Frischa (1914), a później przez różnych innych autorów, polegająca na tem, że zwierzęciu wytresowanemu na pewną barwę, podaje się tę barwę pomiędzy różnymi stopniami szarości. Doświadczenia takie przeprowadzono w podobny sposób, jak to miało miejsce w przypadku pierwszej i drugiej serji prób przy badaniu zdolności odróżniania barw. Żółwiowi podawano do wyboru równocześnie dwa krążki, z których jeden posiadał barwę tresurową, drugi jeden z odcieni szarości. Ten ostatni zmieniano w poszczególnych próbach. Jako stopni szarości użyto następujących numerów z 17-stopniowej

skali: 1 (1), 3 (2), 5 (3), 8 (4), 10 (5), 13 (6), 15 (7) i 17 (8). Cyfry ujęte w klamry oznaczają odpowiednie numery Ostwalda. Wyniki doświadczeń przedstawiono w tabeli 6. Widać z nich, że żółwie odróżniały każdorazowo barwę tresurową od wszystkich

Tabela 6.

Odróżnianie rozmaitych barw tresurowych pstrych od 8 stopni szarości z 17-stopniowej skali, Ilość reakcyj na każdy stopień szarości po 10-razowej próbie z każdą barwą.

Barwa tresurowa	Stopnie szarości							
	1	3	5	8	10	13	15	17
czerwona 7	1	0	0	0	0	0	0	0
żółta 2	0	0	0	0	0	0	0	0
zielona 22	0	0	0	0	0	0	1	0
niebieska 14	1	1	1	0	0	1	1	2
fioletowa 10	0	0	0	0	0	0	0	0

użytych stopni szarości. Tylko u jednego żółwia, karmionego przy barwie niebieskiej nr 14, występują błędy nieco częściej, a mianowicie przy sześciu stopniach szarości z ogólnej liczby ośmiu, lecz one nie przekraczają nigdy 20%; żółwie odróżniają więc i tę barwę od barw szarych o różnej jasności. Nie można podnieść tu zarzutu, że użyte stopnie szarości były od siebie jeszcze za bardzo odległe i że żółwie mogły odróżnić swą barwę tresurową według jasności, gdyż leżała ona pomiędzy dwoma użytymi stopniami szarości. Po pierwsze należałoby oczekiwać w takim przypadku, że reakcje błędne na barwę szarą, o ile wogóle występują, przypadałyby głównie na sąsiednie człony podanej skali. Pomiedzy temi leżałaby wtedy barwa szara odpowiadająca swą jasnością barwie tresurowej, a niewystępująca w skali szarości. Tymczasem, gdzie tylko występują błędy w większej ilości, a mianowicie przy tresurze na barwę niebieską, są one szeroko rozproszone i leżą na dwóch przeciwnych końcach skali. Po drugie, jak później zobaczymy, zdolność odróżniania barw szarych u żółwi jest wogóle rozwinięta bardzo słabo.

5. Odróżnianie różnych stopni szarości od rozmaitych barw.

W tej serii doświadczeń postępowano odwrotnie aniżeli w poprzedniej. Do tarczki tresurowych użyto papierów szarych i te jako barwy wabiące zwierzę musiało wybierać z pośród krąż-

ków kolorowych. Pierwszym stopniem szarości, do którego przyzwyczajano zółwia, była barwa szara średnia nr 9. Do tresury użyto zwierzę nr 2. Z każdą barwą przeciwną wykonano po 20 prób. Z ilości błędów wnosić można, że zwierzę musiało się najpierw nauczyć nie tykać krążków barwnych. Pierwszych dziesięć prób musimy więc traktować jako doświadczenia, w ciągu których zwierzę uczyło się. Do porównania z wynikami innych tresur na stopnie szarości użyto odpowiednich cyfr z ostatnich dziesięciu doświadczeń. Po ukończeniu tych doświadczeń przetresowano to samo zwierzę na stopnie szarości nr 1, 3, 6, 13 i 17 i przy każdym stopniu szarości przeprowadzono próby z temi samemi barwami, jak przy szarości nr 9. Ponieważ zwierzę było wytresowane już w pierwszej serji doświadczeń z szarym papierem nr 9 ogólnie na barwę szarą przeciw barwom pstrym, przeto wystarczyło wykonać z każdą barwą tylko po dziesięć doświadczeń, aby otrzymać jasne wyniki. Razem wykonano doświadczenia z sześcioma stopniami szarości.

Tabela 7.

Ilość reakcyj na barwy pigmentowe pstre po tresurze na stopnie szarości po 10-razowej próbie z każdą barwą.

Tresurowe stopnie szarości	Barwy pstre Ostwald a							
	2	5	7	10	14	17	22	24
1	0	1	0	3	3	1	3	3
3	0	1	0	0	1	3	1	0
6	1	0	0	0	3	2	0	1
9	0	1	0	1	0	2	0	0
13	0	0	0	1	1	3	0	0
17	1	0	0	2	3	1	0	1

Tabela 7 zawierająca wyniki tych doświadczeń, wskazuje znowu, że zółwie odczuwają barwy jako osobne wrażenia jakościowo różne, a nie jako różne stopnie jasności. Reakcje błędne nie przekraczają w żadnym przypadku 30%. Także tutaj błędów nie można uważać za wynik mieszania ze strony zwierzęcia różnych barw pstrych z równo jasnymi stopniami szarości, albowiem należały one do grup barw dość od siebie odległych. Przy porównywaniu tej tabeli z tabelami otrzymanymi w doświadczeniach poprzednich uderzyć nas muszą głównie dwie rzeczy: Przed-

wszystkiem w tych ostatnich doświadczeniach, gdzie jako tarczkę wabiącą podawano tarczkę szarą, a jako tarczkę przeciwną barwną, znajdujemy większą ilość błędów, niż w poprzednich, gdy wabiącą była tarczka barwna, a przeciwną szara. Ten fakt zdaje się wskazywać na to, że krążki o barwach pstrych wywierają na żółwie większą siłę przyciągającą. Powrócimy do tego jeszcze przy omawianiu czasu, jakiego wymaga przetresowywanie zwierząt z barw odróżnianych gorzej od innych barw i od szarości na barwy odróżniane lepiej i odwrotnie.

Dalej dzięki większej liczbie błędów w ostatniej serji doświadczeń, uderza nas to, że po tresurze na barwy, reakcje mylne na stopnie szarości występują przy poszczególnych barwach różnie często. Po dodaniu wszystkich błędów, które zrobiło zwierzę przy odpowiednich barwach we wszystkich doświadczeniach z papierami szaremi (tabela 8), widzimy, że najniższa ilość błędów wy-

Tabela 8.

Reakcje na barwy pigmentowe pstre ze skali Ostwalda po tresurze na stopnie szarości 1—17.

Nr barw pstrych	2	5	7	10	14	17	22	24
Ilość błędów z wszystkich tresur na barwy szare	2	3	0	7	11	12	4	5

stępuje przy barwie czerwonej i żółtej, poczem idą barwy zielona i fioletowa z większą ilością błędów. Największa ilość błędów występuje przy barwie niebieskiej (nr 14 i 17). Częstotliwość błędów w poszczególnych grupach barw zgadza się w zupełności z różnicami znalezionemi poprzednio dla wrażliwości żółwi na różnice między barwami. Większa ilość błędów, stwierdzona w okolicy barw niebieskich przy tresurach na szare tarczki, zdaje się wskazywać, że, chociaż zdolność jakościowego odróżniania tych barw nie ulega żadnej wątpliwości, to jednak niebieskie tonacje barwne wydają się dla żółwi podobniejsze do stopni szarości, silniej nasycone barwą szarą, aniżeli inne barwy pstre. Byłoby to z tego względu ważne, ponieważ przypomina to stosunki zachodzące u ptaków, u których barwne kulki tłuszczowe zdają się odgrywać wielką rolę.

6. Odróżnianie stopni szarości od siebie.

Doświadczenia mające na celu stwierdzić zdolność odróżniania różnych stopni szarości, tworzą ważne uzupełnienie poprzednich doświadczeń. Miały one rozstrzygnąć, czy używane w dotychczasowych doświadczeniach stopnie szarości wystarczały, aby móc stwierdzić na pewne, że zdolność odróżniania barw pstrych polega na ich różnicach jakościowych (por. str. 29). Oprócz tego stanowiłyby one przyczynek do zagadnienia, o ile czopki, które u żółwi są jedynymi elementami histologicznymi siatkówki, uzdalniają je do odróżniania intensywności światła. Doświadczenia te przeprowadzono w podobny sposób, jak doświadczenia odnoszące się do zagadnienia odróżniania barw. Żółwia nr 2 wytresowano na krążek szary stopnia nr 9, a następnie obok tresurowego podano mu inny stopień szarości. Stopnie szarości, użyte na tarczki przeciwne, odpowiadały następującym numerom 18-stopniowej skali: 1, 3, 5, 7, 11, 13, 15, 17. Z każdym stopniem wykonano 30 prób. Wyniki tej serii doświadczeń przedstawia tabela 9. Widać z niej

Tabela 9.

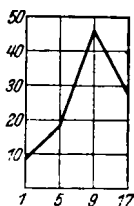
Zdolność odróżniania stopni szarości. Barwa tresurowa: stopień szarości 9.

Stopnie szarości	1	3	5	7	9	11	13	15	17
Ilość błędów	1	1	3	3	—	5	2	2	5
w grupach po 10	2	3	1	3	—	5	4	2	1
doświadczeń	1	3	2	3	—	4	6	2	2
Razem	4	7	6	9	—	14	12	6	8
To samo w %	13	23	20	30	—	46	40	20	26

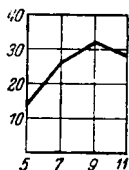
że największą ilość błędów — 30 i 46% — zrobiło zwierzę przy stopniach sąsiednich. Przy stopniach odleglejszych ilość błędów maleje, utrzymuje się jednak dość wysoko i nigdy nie spada poniżej 13%, nawet przy stopniach najbardziej odległych.

Po ukończeniu tych doświadczeń przedsięwzięto 50 prób z czterema stopniami szarości, podawanymi równocześnie. Jednym z tych odcieni była oczywiście barwa szara nr 9. Obok niej podano stopnie bardzo od siebie oddalone, a mianowicie nr 1 (biały), 5 (szary) i 17 (czarny). Krzywa na ryc. 14 okazuje, że żółwie wprawdzie potrafią odróżnić podaną im szarą barwę od innych stopni szarości, jednak wierzchołek krzywej jest dość niski; wy-

sokość jego wynosi 46%. Uzyskawszy wyniki dodatnie ze stopniami szarości najodleglejszemi, zacieśniłem w następnych 50 próbach różnice w stopniach szarości, wybierając stopnie bliżej siebie leżące, a mianowicie nr: 5, 7, 9 (barwa szara tresurowa) i 11. Otrzymana z tych doświadczeń krzywa (ryc. 15) ma przebieg jeszcze bardziej łagodny niż poprzednia. Wierzchołek jej osiąga zaledwie wysokość 32%. Reakcje chwytowe przy dwóch odcieniach stojących najbliżej barwy szarej tresurowej, a mianowicie nr 7 i 11 są bardzo liczne i zaledwie o 4—6% niższe niż przy tarczce tresurowej. Żółwie dadzą się wprawdzie tresować na stopnie szarości, odróżniają je jednakowoż bardzo słabo, szczególnie te, które leżą bliżej siebie. Dalsze



Ryc. 14.



Ryc. 15.

Ryc. 14. Odróżnianie stopni szarości od siebie; tresura na barwę szarą 9. Oś odciętych: stopnie szarości (1 = biały, 17 = czarny). Oś rzędnych: reakcje chwytowe w % przy podawaniu 4 stopni szarości w 50 doświadczeniach.

Ryc. 15. Odróżnianie stopni szarości od siebie po tresurze na barwę szarą 9. Oś odciętych: stopnie szarości. Oś rzędnych jak na ryc. 14. $n = 50$,

doświadczenia z jeszcze bardziej zacieśnionemi stopniami szarości byłyby bezcelowe.

Ze wszystkich doświadczeń, w których tresowano żółwie na tarczki szare, wypadło zgodnie, że zwierzęta te odróżniają dość dobrze tylko bardzo różne jasności, tylko niewiele odcieni zawartych między barwą białą a czarną. Z tego względu stopnie szarości, użyte w poprzednich doświadczeniach do udowodnienia zdolności widzenia barw, były najzupełniej wystarczające. Ilość reakcyj chwytowych na tarczkę, przy której zwierzę otrzymywało pokarm, jest wyższą po tresurze na barwy pstre aniżeli po tresurze na barwy szare. Po tresurze na barwy o falach długich jest ona znacznie wyższą, aniżeli po tresurze na barwę szarą i po próbach z czterema najodleglejszemi stopniami szarości. Reakcje na papiery barwiste możnaby uważać tylko wtedy za reakcje na

jasność tych papierów, gdyby różnice w jasności sąsiednich barw były conajmniej tak wielkie jak między barwą białą i czarną, albo nawet większe, co naturalnie jest rzeczą niemożliwą.

b) Doświadczenia z barwami widma lampy łukowej.

Dalsze badania nad zmysłem barw u żółwi przeprowadzono przy użyciu aparatu widmowego (spektroskopu). Metoda ta stosowana po raz pierwszy przez Kühna i Pohla (1921) w doświadczeniach nad pszczołami, znalazła wielokrotne zastosowanie nie tylko przy owadach, ale także przy rybach (Schiemens 1924, Wolff 1925, Hamburger 1926). Jest ona od innych dokładniejszą, zapewnia nam czystość barw i pozwala podawać zwierzęciu do wyboru równocześnie wszystkie odcienie barwne. Dzięki temu możemy otrzymać w krzywych dokładniejszy obraz rozproszenia i przesunięcia średniej wartości względem barwy podstawowej, na podstawie których możemy ująć ściślej wnioski o zdolności żółwi odróżniania barw i podobieństwach zachodzących między barwami.

Jako barw tresurowych użyto dwanaście pasków widma zawartych pomiędzy długościami fal $673 \mu\mu$ a $438 \mu\mu$. Barwy te odpowiadają wszystkim tonacjom barwnym od czerwieni do fioletu. Przy próbach używano jeszcze więcej pasków barwnych. Cały widzialny zakres widma podzielono na 20 odcinków (klas), z których tylko 4—15 używano jako barwy tresurowe. W stosunku do skali Wolffa (1925) skala używana przezemnie była bardziej uproszczona, zawierała bowiem na cały zakres widma o cztery odcinki barwne (klasy) i o pięć pasków tresurowych mniej od tamtej (po wykluczeniu Wolffowskich tresur na barwy pozafioletkowe). Wyniki tego grubszego podziału na odcinki barwne będziemy mieli sposobność poznać w dalszym ciągu.

Dzięki pewnym ulepszeniom technicznym przy dokonywaniu doświadczeń i w pewnym sensie dzięki korzystniejszemu materiałowi mogłem uniknąć szeregu trudności, z którymi miał do czynienia Wolff. Przedewszystkiem zastosowanie gry cieniów na tle barwnych odcinków widma pozwoliło wyeliminować prawie w zupełności wpływ tresury wstecznej na jeden tylko wycinek. Zwierzę widziało tu stale «coś» poruszającego się, co przypominało kawałek mięsa. Następnie po opuszczeniu tekturowej zasłony, otrzymywało stale pokarm przy barwie tresurowej, bez

względu na to, czy wybrało barwę tresurową, czy jedną z barw sąsiednich. Zwierzę nie miało więc żadnej sposobności nauczyć się, że pokarm dostaje tylko wtedy, gdy ukaże mu się pojedyncza barwa, natomiast że w obecności całego widma nie otrzymuje nic. Celem uniknięcia ewentualnej tresury na położenie, przesuwano, jak już wspomnieliśmy, barwę tresurową ciągle gdzieindziej. Oprócz tego zmieniano porządek barw z lewej strony na prawą, obracając pryzmat o 180° . Zmiany te w układzie doświadczenia nie powodowały żadnych różnic w reakcjach zwierząt.

Przed każdą próbą z całym widmem, ustawiano żółwia, z którym robiono doświadczenia, na środku akwarjum, z głową zwróconą ku »ekranowi barwnemu«. Stąd mogło zwierzę objąć wzrokiem całą skalę barw i jedną z nich wybrać. Po każdej takiej reakcji karmiono je. Wyjątkowo tylko umieszczano je na środku akwarjum i zmuszano do nowej reakcji. W odróżnieniu od ryb, gdzie można było otrzymać z jednej próby wiele reakcyj chwytowych, ilość reakcyj otrzymanych w naszych doświadczeniach pokrywa się prawie całkowicie z ilością wykonanych prób.

Spowodu małej ilości zwierząt i dość krótkiego czasu, jakim rozporządzałem, doświadczenia moje musiały się ograniczyć do tresury jednego tylko zwierzęcia na daną barwę. Tylko wyjątkowo tresowaliśmy dwa okazy na jedną barwę. Ażeby z doświadczeń z tresurą zwierząt otrzymać do celów porównawczych wyniki równowartościowe i pewne, potrzeba było podczas prób szczególnej uwagi. Próby przeprowadzano z każdym zwierzęciem tak długo, póki nie ustaliła się ilość błędów, jakie robiło ono w każdej grupie po dziesięć doświadczeń. Dopiero wtedy używano wyników dalszych na materiał do tabel i wykresów. W ten sposób wyłączono w miarę możliwości wpływy indywidualne na zdolności uczenia się. Do obliczeń używano tylko 100 ostatnich prób. W przypadku gdy mieliśmy do rozporządzenia wyniki otrzymane z doświadczeń z dwoma okazami, używano średniej arytmetycznej wypadającej z obu. Sprawę ewentualnego wpływu jasności barw na reakcje poruszymy później przy sposobności omawiania tresury na filtry szare. Omawianie wyników otrzymanych z tresur na poszczególne barwy uszeregujemy tak, jak przy doświadczeniach z krążkami barwistemi, a mianowicie od barwy czerwonej ku fioletowej. Ułatwi nam to porównanie doświadczeń naszych z doświadczeniami Wolffa.

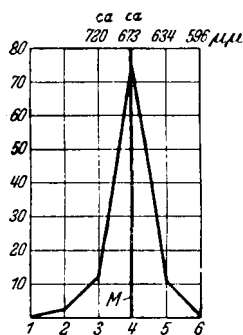
1. Wykresy otrzymane z tresury na poszczególne barwy widma.

Jako pierwszą barwę tresurową z długofalowej okolicy widma obrano czerwień o długości fali $673 \mu\mu$. Do tresury służył zółw nr 2, który poprzednio przyzwyczajany był przy żywieniu do barwy szarej 9. Wyniki tresury przedstawia tabela 10 i odpowiedni wykres (ryc. 16). Wierzchołek krzywej leży przy barwie tresurowej; wysokość jego wynosi 74% . Od tego punktu opada krzywa na obie strony dość stromo. Rozproszenie jej jest bardzo niewielkie. Z prawej strony, a więc od strony barw krótkofalowych, widać reakcje chwytowe tylko przy pierwszej barwie sąsiedniej o długości fali $634 \mu\mu$, odpowiadającej barwie pomarańczowej; przy drugiej barwie sąsiedniej z tej strony nie występują żadne reakcje. Od strony barw krótkofalowych odróżnia więc zółw czerwień tresurową bardzo dobrze. Po stronie przeciwnej, przy barwach przechodzących stopniowo w nadczerwoną stwierdzamy przy pierwszej barwie przyległej o $720 \mu\mu$, która wydaje się nam ciemnoczerwoną tę samą ilość reakcyj chwytowych, co przy barwie pomarańczowej. Oprócz tego występują jeszcze dwie reakcje chwytowe przy drugim lewym pasku sąsiednim, który widzimy jako słaby odcień czerwony. Spowodu prawie symetrycznego przebiegu krzywej, przedstawiającej tresurę na barwę czerwoną, średnia jej wartość jest tylko niewiele przesunięta w stosunku do klasy o wartości modalnej, t. zn. klasy o największej częstotliwości reakcyj, a mianowicie na stronę lewą ku barwom długofalowym.

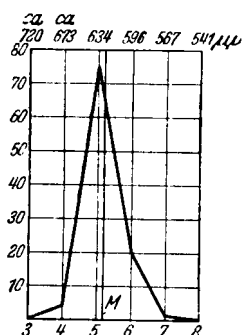
Do tresury na barwę pomarańczową o długości fali $634 \mu\mu$ wybrano zółwia nr 5, którego używano już poprzednio w doświadczeniach na barwę zieloną (tabela 10 i ryc. 17). Wierzchołek krzywej wynosi 75% . Krzywa jest asymetryczna: po stronie barw długofalowych spada bardziej stromo aniżeli po stronie przeciwnej, skutkiem czego wartość średnia przesunięta jest w stosunku do klasy o wartości modalnej ku barwie żółtej. Barwa żółta jest więc dla zółwia podobniejszą do barwy tresurowej, aniżeli czerwona. Rozproszenie krzywej jest bardzo małe.

Na barwę żółtą o długości fali $596 \mu\mu$ tresowano dwa zółwie: nr 6. używanego poprzednio przy doświadczeniach z tarczką koloru żółtego, oraz zółwia nr 4, u którego barwą tresurową była barwa zielona o długości fali $567 \mu\mu$. Ostatni okazał przy tresurze na zieleni tak liczne reakcje na barwę żółtą (patrz rozdział: Różnice

osobnikowe), że przetresowano go na tę ostatnią barwę, aby móc stwierdzić ewentualne różnice w zachowaniu się zwierzęcia. Okazało się, że po tresurze na barwę żółtą były jego reakcje na tę barwę



Ryc. 16.



Ryc. 17.

Ryc. 16. Tresura na barwę o długości fali (λ) = 673 $\mu\mu$. $n = 100$. Oś odciętych: wycinki widma, na dole nr wycinków, na górze długości fali w $\mu\mu$. Oś rzędnych: reakcje chwytowe w %.

Ryc. 17. Tresura na barwę o $\lambda = 634 \mu\mu$. Objaśnienia jak do ryc. 16.

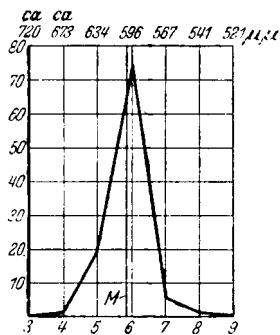
tak podobne do reakcyj okazu nr 6, że użyto ich jako uzupełnienie tamtych. Wierzchołek krzywej, otrzymanej z sumy obu seryj doświadczeń (tabela 10, ryc. 18) posiada wysokość 73%, jest więc nieco niższy, aniżeli przy barwie pomarańczowej. Rozproszenie krzywej jest tutaj, przeciwnie, większe. Z lewej strony spada krzywa bardziej stromo, aniżeli z prawej. Wartość średnia krzywej przesunięta jest w stosunku do klasy o wartości modalnej na lewo.

Ze strefy zielonych odcieni widma użyto czterech wycinków jako barw tresurowych: barwę żółto-zieloną o długości fali 567 $\mu\mu$, zieloną o 541 $\mu\mu$ i 521 $\mu\mu$, oraz niebiesko-zieloną o 504 $\mu\mu$.

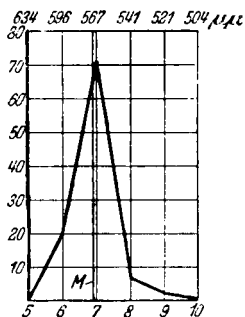
Krzywa pierwsza (ryc. 19), uzyskana z tresury na barwę żółto-zieloną (u żółwia nr 6, przetresowywanego po poprzedniej tresurze na barwę żółtą), wykazuje nieco mniejszą wysokość, aniżeli krzywe opisane poprzednio dla tresur na barwy długofalowe. Po stronie lewej opada ona łagodniej niż po prawej. Wartość średnia jest znów przesunięta w stosunku do klasy o wartości modalnej na lewo. Barwa żółta jest więc podobniejszą do żółto-zielonej, aniżeli zielona. Rozproszenie krzywej jest tylko nieco większe jak przy barwie żółtej.

Na barwę zieloną o długości fali 541 $\mu\mu$ przetresowano zwierzę

nr 3, które poprzednio przyzwyczajone było do tarczki zielonej, (tabela 10 i ryc. 20). Wierzchołek krzywej leży tu o 10% niżej



Ryc. 18.



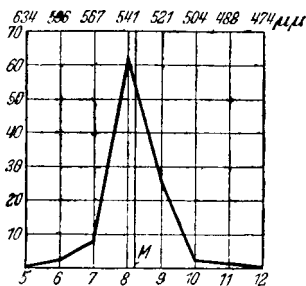
Ryc. 19.

Ryc. 18. Tresura na barwę o $\lambda = 596 \mu\mu$. Objasnienia jak do ryc. 16.

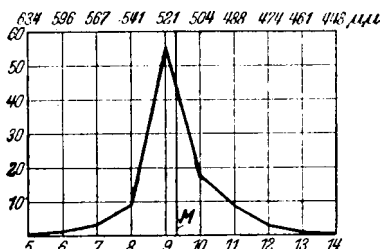
Ryc. 19. Tresura na barwę o $\lambda = 567 \mu\mu$. Objasnienia jak do ryc. 16.

aniżeli po tresurze na barwę żółtą; rozproszenie znacznie się zwiększyło. Wartość średnia przesunięta jest znacznie na prawo. Żółwie percepują więc barwę zieloną o $541 \mu\mu$ jako podobniejszą do krótkofalowych odcieni barwnych, aniżeli do barwy żółto-zielonej.

„ Tresurę na trzecią skolei barwę zieloną o długości fali $521 \mu\mu$ przeprowadzono u żółwia nr 5, który poprzednio przyzwyczajony był do pomarańczowej. Przetresowywanie trwało bardzo długo, prawie 1 miesiąc (patrz tabela 13). Wynik ukończonej tresury (tabela 10 i ryc. 21) wykazuje znacznie zwiększone rozproszenie przy zmniejszonej



Ryc. 20.



Ryc. 21.

Ryc. 20. Tresura na barwę o $\lambda = 541 \mu\mu$. Objasnienia jak do ryc. 16.

Ryc. 21. Tresura na barwę o $\lambda = 521 \mu\mu$. Objasnienia jak do ryc. 16.

szonej wysokości krzywej w stosunku do barw tresurowych długo-falowych. Lewe ramię krzywej opada stromiej; wartość średnia

Tabela 10.

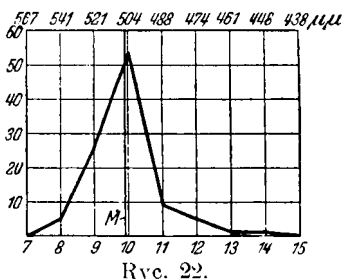
Tresury na wycinki widma lampy łukowej i na purpurowy filter. Ilość reakcyj chwytyowych (n) = 100 (a wiege podane liczby oznaczają wyniki w odsetkach). σ = rozproszenie krzywych, $M-A$ = różnica między wartością średnią (M), a wartością modalną (A), $M \pm m$ = błąd średni.

Klasy wycinków widma	nr																			σ	$M-A$	$M \pm m$
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19				
Wycinki widma w $\mu\mu$	ca.	ca.	ca.	ca.	ca.	ca.	ca.	ca.	ca.	ca.	ca.	ca.	ca.	ca.	ca.	ca.	ca.	ca.	ca.			
Długość fali świetlnej tresurowej w $\mu\mu$	Okaz																					
	nr																					
ca. 673	2	12	74	12																		
634	5		4	75	20	1																
596	6		2	20	72	5	1															
596	4		18	74	7	1																
596	4		1	19	73	6	1															
567	6				20	71	7	2														
541	3				2	8	61	26	2													
521	5				1		9	55	19	3												
504	5				3		5	26	53	9	1											
488	6						8	25	47	11	7	1										
474	4						4	7	18	48	14	6	3									
461	3						2	2	5	16	49	19	7	2								
448	2							3	5	17	54	15	5	1								
438	1								1		6	17	56	13	6							
Tresura na purpurowy filter przepuszczalny tylko dla promieni o długości fal powyżej 600 $\mu\mu$ i poniżej 460 $\mu\mu$	4	3	17	27	21	3	1				1	3	4	6	9	4	1					
	3	5	20	14	4							3	4	10	19	12	6					
	4	18,5	20,5	12,5	1,5	0,5						0,5	3	4	8	14	8			3,5		
	4	3	4	1	1	0,5														1		

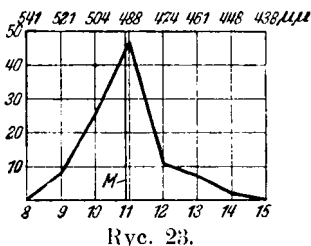
krzywej przesuwają się w stosunku do klasy o wartości modalnej jeszcze bardziej ku stronie krótkofalowej widma.

Po tresurze na barwę niebiesko-zieloną o długości fali $504 \mu\mu$ (żółw nr 5) wierzchołek krzywej (ryc. 22 i tabela 10) jest jeszcze niski, lecz już nie o wiele niższy niż przy barwie zielonej o $521 \mu\mu$. Krzywa jest silnie asymetryczna. Z prawej strony spada stromo w dół. Wartość średnia przesunięta jest w stosunku do klasy o wartości modalnej na lewo w okolice barw długofalowych. Barwa niebiesko-zielona jest więc podobniejszą do sąsiednich odcieni zielonych, aniżeli do najbliższej sąsiedniej barwy jasno-niebieskiej.

Pierwszą barwą tresurową z grupy niebieskich była barwa niebieska o długości fali $488 \mu\mu$, którą odczuwamy jako barwę jasno-niebieską. Doświadczenia przeprowadzono ze zwierzęciem nr 6, tresowanym poprzednio na barwę żółtą. Wierzchołek uzyskanej z tych doświadczeń krzywej (ryc. 23, tabela 10) jest najniższym



Ryc. 22.



Ryc. 23.

Ryc. 22. Tresura na barwę o $\lambda = 504 \mu\mu$. Objasnienia jak do ryc. 16.

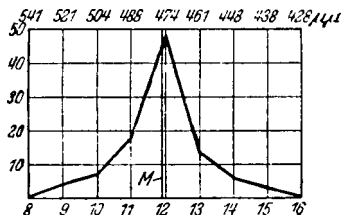
Ryc. 23. Tresura na barwę o $\lambda = 488 \mu\mu$. Objasnienia jak do ryc. 16.

ze wszystkich jakie otrzymano z tresur na barwy. Rozproszenie jest większe niż przy ostatnio opisywanej barwie niebiesko-zielonej. Rozmieszczenie błędów wykazuje, że podobieństwo barwy tresurowej do barw sąsiednich długofalowych jest znacznie większe, aniżeli do krótkofalowych. Wartość średnia krzywej jest przesunięta w stosunku do klasy o wartości modalnej daleko w okolice barw długofalowych.

Krzywa na ryc. 24 (tabela 10) odpowiadająca tresurze na przyległą barwę niebieską o $474 \mu\mu$, wskazuje na mały wzrost wrażliwości na różnice między barwami. Wierzchołek jej jest wyższy, aniżeli po tresurze na barwę sino-niebieską; rozproszenie jej jest jednak bardzo wysokie. Asymetria krzywej nieco się zmniejszyła. Wartość

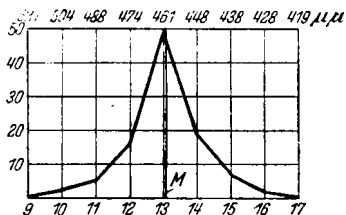
średnia również jak dotychczas przesuwają się w stosunku do klasy o wartości modalnej na lewo. Wymieniona barwa niebieska jest podobniejszą do sino-niebieskiej, aniżeli do barw sąsiednich przechodzących w fiolet.

Następną barwą tresurową z grupy niebieskich była barwa niebieska o długości fali $461 \mu\mu$, która dla mego oka posiadała odcień ultramaryny. Do tresury użyto żółwia nr 3, przyzwyczajonego poprzednio do barwy zielonej. Wysokość krzywej (ryc. 25, tabela 10)



Ryc. 24.

Ryc. 24. Tresura na barwę o $\lambda = 474 \mu\mu$. Objaśnienia jak do ryc. 16.



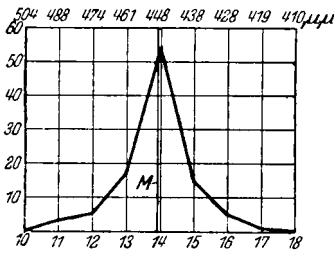
Ryc. 25.

Ryc. 25. Tresura na barwę o $\lambda = 461 \mu\mu$. Objaśnienia jak do ryc. 16.

wykazuje znów mały wzrost. Rozproszenie w porównaniu z poprzednio rozpatrywanymi barwami zmniejszyło się dość znacznie. Prawe ramię krzywej opada nieco słabiej niż lewe. Wartość średnia przesuwają się w stosunku do klasy o wartości modalnej na stronę krótkofalową; barwy fioletowe są więc dla zwierzęcia podobniejsze do barwy tresurowej, aniżeli barwa niebieska.

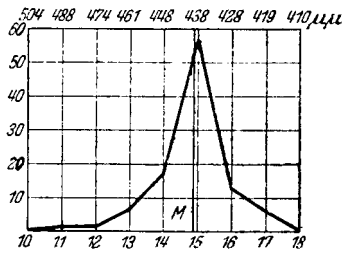
Na barwę fioletową o długości fali $448 \mu\mu$ wytresowano żółwia nr 2. Zwierzę wykazało przy tej barwie tresurowej dalszy przyrost wrażliwości na różnice barw. Wierzchołek krzywej jest wyższy o 5% , aniżeli przy barwie tresurowej poprzedniej. Rozproszenie zmniejsza się w dalszym ciągu. Wartość średnia krzywej przesuwają się w stosunku do klasy o wartości modalnej znów na lewo, a prawe ramię krzywej opada teraz bardziej stromo niż lewe (ryc. 26, tabela 10).

Ostatnią barwą tresurową z barw widma był fiolet o długości fali $438 \mu\mu$ (zwierzę nr 1). Obraz uzyskanej krzywej (tabela 10, ryc. 27) wykazuje jeszcze większą wrażliwość na różnice w odcieniach barw sąsiednich. Wierzchołek krzywej posiada obecnie wysokość 56% , jest więc o 10% wyższy niż przy barwie sino-niebieskiej i prawie odpowiada wysokości krzywych z tresur na środkowe barwy zie-



Ryc. 26.

Ryc. 26. Tresura na barwę o $\lambda = 448 \mu\mu$. Objaśnienia jak do ryc. 16.



Ryc. 27.

Ryc. 27. Tresura na barwę o $\lambda = 438 \mu\mu$. Objaśnienia jak do ryc. 16.

lone. Rozproszenie także nieco zmalało. Zwierzę widzi barwy sąsiednie długofalowe jako bardziej podobne w tonie do barwy tresurowej, aniżeli barwy krótkofalowe.

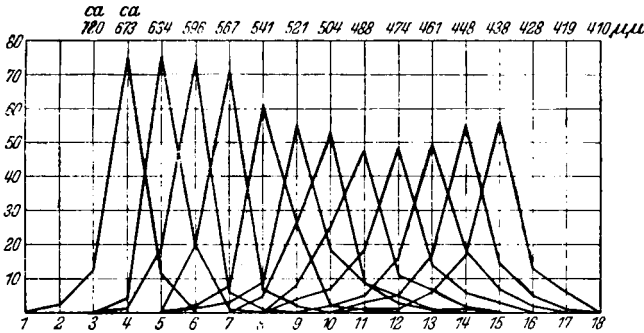
2. Wrażliwość na różnice w długości fal świetlnych w obrębie widma.

Pierwszym rezultatem tych doświadczeń było stwierdzenie faktu, że żółwie odróżniają przynajmniej dwanaście rozmaitych odcieni barwnych zawartych w widzialnej dla nas części widma. Można przyjąć, że liczba ta nie wyczerpuje jeszcze całkowicie wszystkich odcieni barwnych, które żółwie byłyby w stanie rozróżniać.

O granicach widzialnych dla żółwi stref widma nie można orzec nic ostatecznego ze względu na brak dalszych doświadczeń, albowiem tresury przeprowadzano tylko w określonym zgóry zakresie widma. Mimo to można wyciągnąć pewne wnioski w tym kierunku, biorąc pod uwagę reakcje chwytowe przy najskrajniejszych długo- i krótkofalowych wycinkach barwnych. Z opisanych i z dalszych doświadczeń nad zagadnieniem kręgu percepowanych barw można przypuszczać, że granica widzialności przy długofalowym końcu widma leży co najmniej w 2 wycinku (klasie), ponieważ żółwie tutaj jeszcze próbowały chwytów. Wycinek ten odpowiada ostatniej barwie zaznaczającej się dla nas słabo-czerwono o długości fali $760 \mu\mu$. Przy świetle o jeszcze dłuższych falach nie występują już żadne reakcje. Po stronie krótkofalowej widma reakcje chwytowe rozciągają się aż do 19 wycinka o długości fali

około 401 μm . Ten odcień barwny odpowiada także mniej więcej ostatniej barwie na granicy widma widzialnego dla nas.

Z zestawienia wszystkich otrzymanych krzywych (ryc. 28), które unaocniają wrażliwość na barwy w różnych strefach widma, otrzymujemy obraz, który przypomina uderzająco stosunki przedstawione przy omawianiu doświadczeń z papierowymi krążkami kolorowymi. Tak tu jak i tam widzimy dwa główne maxima:



Ryc. 28. Krzywe otrzymane z tresur na rozmaite wycinki widma. Objasnienia jak do ryc. 16.

jedno wyższe leży w długofalowej okolicy widma przy barwach żółto-czerwonych, drugie niższe, po stronie przeciwnej w fioletcie. Pomiędzy temi dwiema strefami rozciąga się szerokie minimum w okolicy barw niebieskich. Barwy zielone tworzą tutaj, tak jak poprzednio, przejście od pierwszego maximum wyższego w okolicy długofalowej do minimum. Ilość reakcyj chwytowych na barwę tresurową przy tresurze na środkową zieleń odpowiada i tutaj ilości reakcyj przy tresurze na fiolet.

3. Wartości rozproszenia krzywych.

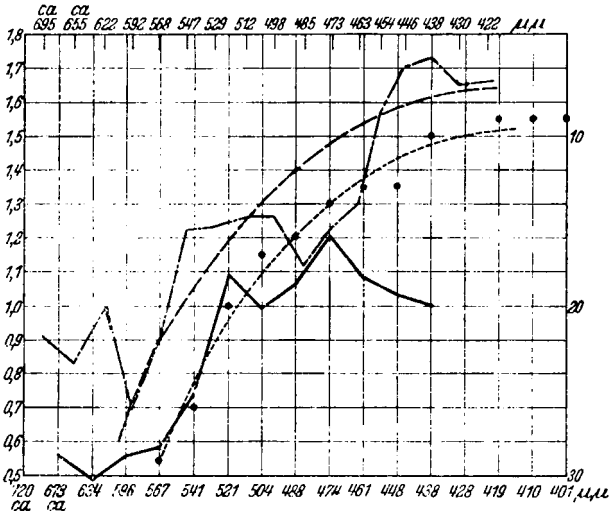
Dokładniejszy obraz odróżniania barw możemy uzyskać z porównania rozproszenia (rozstrzału) poszczególnych krzywych przedstawiających rozmieszczenie reakcyj chwytowych. Najbardziej przejrzystym jest wykres, jaki ułożył po raz pierwszy Wolff dla strzebli, zaznaczając na osi odciętych długości fal barw tresurowych, a na osi rzędnych rozproszenie reakcyj otrzymanych po poszczególnych tresurach. Krzywa ta w ogólnym swym przebiegu wznosi się od długofalowego końca widma ku krótkofalowemu. Przebieg jej stanie

się całkiem zrozumiałym, gdy porównamy obraz ten z krzywą dyspersji naszego widma. Celem wyznaczenia tej krzywej zaznaczono na osi odciętych klasy używanych wycinków widma, zaś na osi rzędnych różnice między długościami fal dwóch sąsiednich wycinków widma. Ogólne obniżenie wrażliwości na różnice w odcieniach sąsiednich wycinków tresurowych, wzmagające się wraz ze zbliżaniem się do barw krótkofalowych, wynika stąd, że różnice w długości fal między sąsiednimi wycinkami widma stają się coraz mniejsze skutkiem wzrastającej dyspersji widma. Krzywa przedstawiająca rozproszenie krzywych nie przebiega jednak całkiem równoległe do krzywej dyspersji, lecz wykazuje zygzakowate załamania. Punkty o wyższej wartości rozproszenia, tworzące wierzchołki linii zygzakowatej, wskazują na mniejszą wrażliwość na barwy, punkty o mniejszych wartościach rozproszenia, leżące w obniżeniach, większą wrażliwość zółwi na różnice barw w odpowiednich strefach widma. Na podstawie naszych doświadczeń możemy stwierdzić obecność dwóch większych minimów (ryc. 29). Jedno na polu barwy zielonej przy $521 \mu\mu$, drugie w obrębie barwy niebieskiej przy falach o długości $474 \mu\mu$. Co się tyczy maximów wrażliwości, to podobnie jak w poprzednim zestawieniu krzywych oznaczających rozmieszczenie reakcyj chwytowych w poszczególnych tresurach, widzimy dwa główne maxima, pierwsze w strefie długofalowej przy barwie pomarańczowej o $634 \mu\mu$, drugie w strefie fioletowej. Niestety, spowodu braku tresur z okolicy najskrajniejszego fioletu, nie da się oznaczyć dokładnie punktu, w którym to maximum osiąga swoją najwyższą wartość. Trzecie wyraźne maximum leży przy barwie niebiesko-zielonej o $504 \mu\mu$.

Dla porównania tych wartości znalezionych u zółwi z innymi, wykazanymi dla innych zwierząt, stoją do rozporządzenia wartości uzyskane przez Wolffa dla ryb. Według danych tego autora (1925) stosunki dotyczące wrażliwości u ryb zgadzają się dość dobrze z temiż u człowieka (Laurens i Hamilton 1923). Jeżeli obok krzywej rozproszenia dla zółwi przeniesiemy na ten sam układ współrzędnych taką samą krzywą wykreśloną przez Wolffa dla ryb, to zobaczymy, że krzywa rozproszenia jest u zółwi niższą niż u ryb. Stoi to w związku głównie z tem, że krzywa dyspersji Wolffa przebiega wyżej niż nasza. Różnica ta jest następstwem różnej ilości wycinków widma w doświadczeniach naszych i Wolffa.

W obrębie tego zakresu widma, w którym w doświadczeniach z żółwiami użyto tylko dwanaście wycinków barwnych, przypada w doświadczeniach ze strzelbami 14—15 klas barw. Różnice między długościami fal każdego dwu sąsiednich wycinków są więc w doświadczeniach z żółwiami większe, aniżeli w doświadczeniach z rybami.

Załamania obu krzywych rozproszenia wykazują jednak różnice: Na miejsce dwóch wyraźnych maximów w obrębie długo-



Ryc. 29. Krzywa rozproszenia (σ). Z lewej strony: skala wartości dla krzywej rozproszenia, z prawej strony: skala dla krzywej dyspersji = różnice w długości fal między sąsiednimi wycinkami widma. U góry: barwy tresurowe z doświadczeń nad strzelbą, u dołu barwy tresurowe z doświadczeń z żółwiami.

— wartości σ u żółwi, krzywa rozproszenia u żółwi.
 - - - - - wartości σ u ryb, - - - - - krzywa rozproszenia u ryb.

falowej połowy widma, jednego słabszego, leżącego u ryb przy 655μ , u człowieka przy $625-635 \mu$ w czerwieni, oraz drugiego wyraźniejszego, leżącego u ryb przy 592μ , a u człowieka mniej więcej przy $580-590 \mu$ w barwie żółtej, spotykamy u żółwi tylko jedno wyraźne maximum w obrębie barwy pomarańczowej przy długości fali 634μ . Maximum to leży więc bardzo blisko pierwszego mało wyraźnego maximum u człowieka, bliżej nawet, aniżeli ma to miejsce u strzebli. Z drugim, wyraźniejszym maximum możnaby poniekąd porównać bardzo słabe wygięcie krzywej rozproszenia u żółwi przy barwie żółto-zielonej o 567μ . W takim

razie silniej zaznaczonemu maximum u człowieka i u ryb odpowiadałoby mniej wyraźne u żółwi i odwrotnie, a równocześnie byłyby u nich oba maxima przesunięte nieco w stronę krótkofalową widma. Trzeciemu maximumu wrażliwości, leżącemu u ryb przy $485 \mu\mu$. u człowieka przy $480\text{---}490 \mu\mu$, odpowiada u żółwi maximum przy $504 \mu\mu$. Wszystkie trzy wartości odpowiadają w przybliżeniu barwie niebiesko-zielonej. Istnienie czwartego maximum wrażliwości można, jak już wspomnieliśmy, przypuszczać tylko na podstawie silnego spadku wartości rozproszenia przy barwach fioletowych. Wszelako położenie jego pozostaje nieokreślone.

Położenie pierwszego minimum u żółwi zgadza się dość dobrze z odpowiednim minimum u ryb i człowieka. U wszystkich trojga leży to minimum w zieleni, a mianowicie u człowieka przy barwie około $540 \mu\mu$, u ryby przy $547 \mu\mu$, u żółwia przy $524 \mu\mu$. U żółwia wydaje się ono tylko nieco przesunięte na krótkofalową stronę widma. Drugie główne minimum, które u człowieka leży między 446 a $430 \mu\mu$, a u ryb w barwie niebieskiej przy $450 \mu\mu$, znajduje się u żółwi przy $474 \mu\mu$, jest więc przesunięte nieco na długofalową stronę widma. O innych minimach nie możemy powiedzieć nic bliższego.

Na podstawie zestawienia krzywych rozproszenia u żółwi i ryb można jeszcze dodać parę słów o różnicach w zdolności odróżniania barw u tych obu grup zwierzęcych w obrębie najskrajniejszych okolic widma. U ryb krzywa rozproszenia w tych okolicach wznosi się w stosunku do krzywej dyspersji dość silnie w górę, u żółwi opada przy długofalowym końcu widma jeszcze bardziej w dół. W strefie fioletu przebieg obu krzywych we wprost przeciwnych kierunkach jest również wyraźny. U ryb wznosi się krzywa rozproszenia wysoko ponad krzywą dyspersji. U żółwi spada ona już od barwy niebieskiej w dół i oddala się od przynależnej do niej krzywej dyspersji. Obniżenie się wartości rozproszenia u żółwi w obrębie czerwieni i fioletu wykazuje w stosunku do ryb, że u żółwi panuje w tych dziedzinach widma większa wrażliwość na różnice w odcieniach barwnych, aniżeli u ryb. W okolicy barw o średniej długości fali wrażliwość na różnice barw jest u obu grup równa, albowiem położenie wartości rozproszenia w stosunku do położenia krzywej dyspersji jest u obu mniej więcej jednakowe. Te same stosunki można wyczytać także z zestawienia krzywych przedstawiających zdolność odróżniania

poszczególnych barw u obu grup omawianych. Szczególnie wyraźne różnice są tutaj w obrębie czerwieni. U ryb wierzchołki krzywych, otrzymanych z tresury na odcienie czerwone, są znacznie niższe, niż przy tresurze na barwę żółtą i żółto-zieloną; w szeregu krzywych daje się zauważyć skutkiem tego na granicy tych obu grup barw nagłe załamane się linii łączącej wierzchołki krzywych. U żółwi wierzchołki krzywych przy barwach czerwonych są równie wysokie jak i przy barwach żółtej i żółto-zielonej, zaś po tresurze na barwę pomarańczową wierzchołki krzywych stają się nawet jeszcze wyższe.

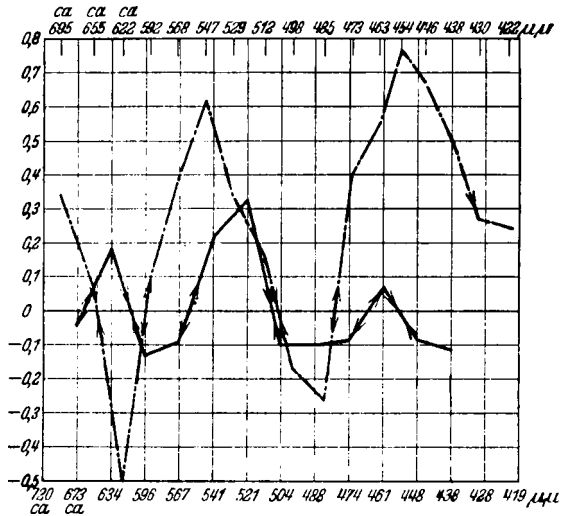
Wszystkie przedstawione właściwości dotyczące zmysłu odróżniania barw u żółwi, jak przesunięcia w położeniu maximum i minimum wrażliwości na różnice w odcieniach barw na długofalowym końcu widma i wielka wrażliwość na te różnice przy czerwieni, w przeciwieństwie do wrażliwości na barwy widma o średniej długości fali, dadzą się łatwo wyjaśnić, jeżeli przyjmiemy selektywne działanie barwnych kulek tłuszczowych w oku żółwi. Słabe działanie barw o tonach zielonych i niebieskich w stosunku do barw długofalowych można wyobrazić sobie, jeżeli spogląda się na widmo przez filter, przepuszczający głównie promienie długofalowe. Podczas gdy barwy długofalowe stają się wtedy bardzo wyraźne, to barwy zielone, a szczególnie niebieskie wydają się o wiele ciemniejsze, jakgdyby przysłonięte odcieniem szarym. Można wtedy zauważyć, że barwą najlepiej widoczną stała się barwa pomarańczowa. Należy tu jeszcze nadmienić, iż filtracyjne działanie kulek tłuszczowych nie może być bardzo silnem. Oprócz długofalowych promieni muszą przechodzić przez nie i wszystkie inne, albowiem w przeciwnym razie żółw mógłby widzieć tylko jedną połowę widma. Jest to ważnem z tego powodu, ponieważ Hess, przedstawiając wyniki swoich badań, nie zwrócił uwagi na to dość wyraźnie. Skutkiem tego przypisuje kulkom tłuszczowym zbyt wielkie działanie selektywne. Nieco trudniej przychodzi wyjaśnić dość wysoką wrażliwość na różnice między odcieniami fioletowemi. Gdybyśmy chcieli, tak jak żółwie, widzieć w widmie barwy czerwone i fioletowe najlepiej, w przeciwieństwie do barw o średniej długości fali, musielibyśmy wziąć przed oczy filter zabarwiony jasno-pomarańczowo lub purpurowo-czerwono. Według danych Hessa znajdujemy w oku żółwi kulki tłuszczowe rozmaitego rodzaju. Istnieją kulki czerwone, pomarańczowe, wreszcie żółte,

lub nawet blado-niebiesko-zielone. Musimy więc przyjąć, że albo całość wszystkich kulek tłuszczowych działa jak pomarańczowy, lub purpurowo-czerwony filter na całą siatkówkę, jak to przypuszcza Hess, albo że poszczególne rodzaje kulek tłuszczowych, tworzą, dzięki swemu różnemu działaniu selektywnemu, szczególne maleńkie filtry dla różnych elementów czopkowych. W ostatnim przypadku mielibyśmy do czynienia z dziwnym zróżnicowaniem elementów czopkowych w odniesieniu do ich wrażliwości na barwy. O zagadnieniu tem nie da się jednak nic więcej pewnego powiedzieć, jak tylko to, że istnieje działanie filtracyjne kulek tłuszczowych. Byłoby rzeczą pożądaną, zbadać bliżej zagadnienie widzenia fioletu i ewentualnie także ultrafioletu na większej ilości okazów.

4. Położenie wartości średnich w poszczególnych wykresach.

Na końcu naszego rozpatrywania wyników doświadczeń nad zdolnością odróżniania barw widmowych u żółwi pozostaje jeszcze omówić zagadnienie pokrewieństwa barw u tych zwierząt w porównaniu z rybami i człowiekiem. W tym celu posłużymy się położeniem wartości średniej w stosunku do wartości modalnej w krzywych, otrzymanych z tresur na barwy w rozmaitych okolicach widma. Stosunek wyrażający położenie wartości średniej przedstawimy podobnie jak Wolff w postaci wykresu (ryc. 30). Na osi odciętych zaznaczono używane podczas doświadczeń tresurowe wycinki widma, na osi rzędnych różnice pomiędzy wartością średnią i wartością modalną każdej krzywej tresurowej, a mianowicie w ten sposób, że wartości średnie przesunięte w stronę krótkofalową otrzymały znak ujemny, wartości zaś przesunięte w stronę długofalową widma znak dodatni. Punkty, w których krzywa przechodzi przez linię zerową, oznaczają te miejsca widma, gdzie odcienie barwne, sąsiadujące z obu stron z barwą tresurową są do niej w równej mierze podobne, a to z tego powodu, że wartości średnie i klasa o wartości modalnej krzywej tresurowej wzajemnie się pokrywają. Punkt przejściowy przy $655 \mu\mu$ rozpatrzmy na końcu. Punkt przy $612 \mu\mu$ leży w obrębie barwy, odczuwanej przez nas jako pomarańczowa. Odcinek krzywej na lewo od tego punktu znajduje się ponad linią zerową, t. zn. wartość średnia leżącej tutaj barwy tresurowej o $634 \mu\mu$ przesunięta jest w stosunku do należącej do niej klasy o wartości modalnej w stronę krótkofalową, a więc w kierunku punktu przejściowego.

Barwa ta jest zatem podobniejszą do pomarańczowej, aniżeli do długofalowej czerwieni. Odwrotnie, odcinek krzywej położony na prawo od punktu przejściowego znajduje się popod linią zerową, t. zn., że obie barwy o 596 i 567 $\mu\mu$ są podobniejsze do sąsiednich długofalowych, aniżeli do krótkofalowych. Ostatnia grupa stanowi więc dla żółwi zamkniętą strefę widma złożoną ze spokrewnionych odcieni barwnych skupionych wokół promieniowania o długości



Ryc. 30. Krzywe przedstawiające różnice między wartością średnią i modalną ($M-A$) u żółwi (linia ciągła, skala barw na osi odciętych u dołu) u strzebli (linia przerywana, skala barw na osi odciętych u góry. Według Wolffa). Oś rzędnych: różnice między wartością średnią i wartością modalną. Strzałki oznaczają kierunek wzrastającego podobieństwa pomiędzy barwanami widma.

fali 612 $\mu\mu$. Stosunki te uzmysławiają strzałki zaznaczone na odcinkach krzywej. Naokoło następnego punktu przejściowego przy 555 $\mu\mu$ znajdują się odcinki krzywej, leżące od strony lewej poniżej, a od strony prawej powyżej linii zerowej. Oznacza to, że barwy długofalowe leżące po stronie lewej przyłączają się do co tylko omówionej dziedziny barwnej, natomiast krótkofalowe, leżące po stronie prawej punktu przejściowego, u których wartość średnia przesunięta jest względem klasy o wartości modalnej w stronę krótkofalową, należą do grupy innej, rozciągającej się szeroko na spokrewnione tony barwne, jakie skupiają się dookoła

następnego punktu przejściowego przy $508 \mu\mu$. Ku temu punktowi zdążają z obu stron wyrysowane strzałki, podczas gdy przy punkcie przejściowym przy $555 \mu\mu$, rozdzielającym dwie grupy spokrewnionych z sobą odcieni barwnych, strzałki rozchodzą się. Druga ta grupa obejmuje barwy tresurowe 541, 521, 504, 488 i $474 \mu\mu$, odpowiadające naszej barwie zielonej i niebieskiej. Teraz spotykamy przy $467 \mu\mu$ znów punkt przejściowy, w którym zaznaczone strzałki rozchodzą się, t. zu. że zaczyna się tutaj nowa grupa barw pokrewnych, które skupiają się około ostatniego punktu przejściowego przy $454 \mu\mu$ i obejmuje ona barwy tresurowe o 461, 448 i $438 \mu\mu$. Barwy te wydają się naszym oczom niebiesko-fioletowe i fioletowe.

O pierwszej barwie tresurowej o $673 \mu\mu$ jeszcze nic nie wspominaliśmy. Z położenia przynależącego do niej punktu krzywej pod linią zerową wynika, że wartość średnia krzywej tresurowej przesunięta była tutaj w stosunku do przynależnej klasy tresurowej o wartości modalnej w okolice długofalową. Świadczy to jednak, że barwa o długości fali $673 \mu\mu$ nie należy już do pierwszej grupy spokrewnionych barw, obejmującej barwy tresurowe 634, 596 i $567 \mu\mu$. W punkcie przejściowym przy $655 \mu\mu$ rozdzielają się więc dwie grupy barw spokrewnionych. Że barwy długofalowe, z których barwa o długości fali $673 \mu\mu$ służyła do tresury, są podobne do grupy krótkofalowej barw pokrewnych można przypuszczać na podstawie przedstawionych ostatnio faktów, jakkolwiek nie potrafilibyśmy tego na razie bliżej udowodnić.

U zółwi można więc wyróżnić trzy grupy spokrewnionych z sobą barw, jedną odpowiadającą naszej barwie pomarańczowej, drugą naszej zieleni i trzecią naszemu fioletowi. Jest rzeczą możliwą, że barwy o najdłuższych falach, niepodobne do barw grupy pomarańczowej, łączą się u zółwi z grupą ostatnią t. j. barw fioletowych. Na podstawie przebiegu strzałek na obu końcach naszej krzywej mielibyśmy więc pewną wskazówkę co do istnienia u zółwi zamkniętego kręgu barw, o którym będzie mowa poniżej.

Celem porównania tych stosunków z odpowiednimi danymi u ryb, przenieśliśmy na ryc. 30 odpowiednią krzywą z doświadczeń Wolffa wspólnie z naszą na ten sam układ współrzędnych. Z zestawienia tego okazuje się natychmiast, że obie krzywe zgadzają się z sobą dość dobrze w środkowej i krótkofalowej okolicy widma. W okolicy długofalowej występują natomiast pewne róż-

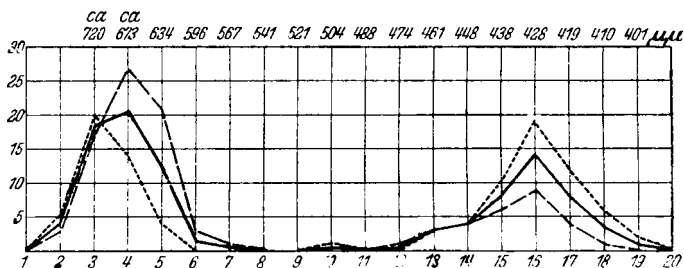
nice. Dla ryb stwierdzamy wogóle trzy główne grupy barw: czerwoną, zieloną i fioletową. Są one oddzielone od siebie wąskimi strefami barwy żółtej i sino-niebieskiej. Z trzech głównych grup barwnych znalezionych u żółwi dadzą się porównać z takimiż u ryb tylko druga i może trzecia. Ostatnia jest u żółwi przesunięta nieco na stronę promieniowania o falach dłuższych. Dalsza główna grupa pokrewnych barw u żółwi nie leży w czerwieni lecz w barwie pomarańczowej. W związku z temi przesunięciami występują u obu grup zwierzęcych jeszcze dalsze różnice w pokrewieństwach barw. Mianowicie czerwień, która u ryb tworzy z barwą pomarańczową jedną grupę barw pokrewnych, oddala się u żółwi od tej ostatniej i, jak to później udowodnimy stwierdzając u żółwi istnienie zamkniętego kręgu barw, barwa ta zdaje się stać w związku z fioletową grupą barw z przeciwnego końca widma. Barwy żółta i żółto-zielona, które stoją u ryb bliżej grupy zielonej, należą u żółwi do grupy pomarańczowej. Wskutek tego grupa zielona uległa tutaj zmniejszeniu.

Z przeglądu pokrewieństwa między barwami z jednej strony u żółwi, z drugiej zaś u ryb i człowieka, okazuje się, że najważniejsze różnice występują w skrajnych okolicach długo- i krótkofalowych. Różnice te przypadają więc na te same strefy, w których wykazaliśmy już poprzednio różnice we wrażliwości na poszczególne barwy. Ponieważ różnice owe mogliśmy wytłumaczyć filtracyjnym działaniem barwnych kulek tłuszczowych, przeto nasuwa się przypuszczenie, że i te zaburzenia w pokrewieństwach barw wywołuje ten sam czynnik. W każdym razie potwierdza się szczególne stanowisko barwy pomarańczowej, która przedtem tworzyła punkt centralny dla zachodzących różnic.

c) Doświadczenia nad zagadnieniem kręgu barw.

Ażeby stwierdzić, czy u żółwi istnieje zamknięty krąg barw, przeprowadzono najpierw doświadczenia na dwóch okazach, z których jeden wytresowany był na barwę czerwoną, drugi na fioletową. Podczas tresury nie wybrał żółw zamiast barwy tresurowej nigdy innej, z przeciwnego końca widma. Celem zmuszenia zwierząt do takich reakcyj ukazywano im tylko jedną połowę widma, a mianowicie okazowi tresowanemu na barwę czerwoną połowę krótkofalową, poczynając od barwy zielonej. W tej podanej części widma nie było więc ani barwy czerwonej ani żółtej, natomiast

zawarte w niej były odcienie niebieskie i fioletowe. Okazowi tresowanemu na barwę fioletową odsłaniano odwrotnie długofalową połowę widma z barwami czerwonymi. Wszystkie te doświadczenia nie przyniosły niestety wyraźnych wyników. Zwierzęta wykazywały albo mało zupełnie rozbieżnych reakcyj, albo wędrowały po akwarjum nie zdradzając żadnej ochoty do reakcyj chwytowych. Najlepszą metodą do rozwiązania pytania o istnieniu zamkniętego kręgu barw okazała się tresura na ciemny filter purpurowy. Filter ten przedstawiał barwę mieszaną, przepuszczając wszystkie promienie powyżej $600 \mu\mu$ i poniżej $460 \mu\mu$. Po kilkunastodniowej



Ryc. 31. Reakcje na barwy widma po tresurze na filter purpurowy, przepuszczający fale o długości powyżej $600 \mu\mu$ i poniżej $460 \mu\mu$. Objaśnienie jak do ryc. 16 (por. tabelę 10) okaz nr 3, --- okaz nr 4, ——— oba okazy razem.

tresurze obu zwierząt podano im między doświadczeniami, w których otrzymywały pokarm, do wyboru całe widmo bez barwy tresurowej. Jeżeli zwierzę chwyciło za jedną z barw widma, karmiono je kilkakrotnie w świetle purpurowego filtra. W pierwszych dniach prób wykazywały żółwie jeszcze dość dużą ilość reakcyj chwytowych przy dawnych barwach tresurowych, jeden w fiolecie, drugi przy barwie żółtej. Po dłuższem karmieniu przy purpurze zapomniały one wkońcu o barwie starej i chwyciły tylko za barwy na obu końcach widma. Wobec dość długotrwałej pamięci na stare barwy tresurowe, przeprowadzono większą ilość doświadczeń. Do ostatecznego przedstawienia wyników użyto 100 ostatnich reakcyj. Wykres, przedstawiający ilość reakcyj chwytowych (ryc. 31, tabela 10), dowodzi, że reakcje występują w dwóch strefach, które rozdziela szeroki środkowy pas widma.

W reakcjach obu okazów można zauważyć pewne różnice. Okaz nr 4 chwycił najczęściej za barwę jasno-czerwoną przy

673 $\mu\mu$, okaz nr 3 za najbliższą barwę ciemno-czerwoną o fali długości około 720 $\mu\mu$. U jednego okazu wysokość krzywej w dziedzinie czerwonej przewyższa znacznie wysokość krzywej w fiolecie, u drugiego oba wierzchołki leżą w wysokości mniej więcej jednakowej. Możliwym jest, że u pierwszego żółwia, tresowanego poprzednio na barwę żółtą (patrz wyżej), jeszcze obecnie wywierała swój wpływ dawna tresura. Zwierzę nie może zresztą po długim przetresowywaniu pamiętać dokładnie barwy dawnej, albowiem wierzchołek krzywej wcale na nią nie przypada. Wpływ poprzedniej tresury przejawia się może w tem, że okaz, przyzwyczajony poprzednio do barwy żółtej, wykazuje przesunięcie reakcyj chwytowych z ciemniejszej ku jaśniejszej czerwieni.

W krzywej wypadkowej, otrzymanej z wyników obu seryj doświadczeń, jeden z wierzchołków leży w czerwieni o długości fali 673 $\mu\mu$; wartość średnia przesunięta jest w stosunku do klasy o wartości modalnej nieco w stronę długofalowego końca widma. Drugi wierzchołek przypada na fiolet o długości fali 428 $\mu\mu$. Pomiedzy obiema krzywymi leży szeroki odcinek widma od 541—488 $\mu\mu$ z barwami zielonemi i niebieskimi, w którym nie występują prawie żadne reakcje. Dla zwierząt tresowanych na barwę purpurową są barwy czerwone i fioletowe podobniejsze do barwy tresurowej, aniżeli zielone i niebieskie. Jeżeli przypadkiem żółwie nie odróżniają w barwie mieszanej osobno barw długo- i krótkofalowych, co dla naszej ludzkiej zdolności widzenia jest rzeczą niemożliwą, to doświadczenia nasze udowodniają u żółwi obecność zamkniętego kręgu barw, co do którego znaleźliśmy już wskazówki w doświadczeniach opisanych poprzednio.

d) Tresura na stopnie szarości (filtry szare).

Po zakończeniu doświadczeń z barwami widma, przeprowadzono jeszcze raz tresury na rozmaite stopnie jasności światła nierozłożonego. Zamiast papierów szarych użyto przy tem filtrów. Po usunięciu pryzmatu zastąpiono wąską szparę przysłony aparatu widmowego szparą szerszą i przez to okienko rzucano do akwarjum białe światło lampy łukowej. Jako filtrów o różnej jasności używano płytek szklanych o czterech stopniach szarości sporządzonych przez dra Henkego z płyt fotograficznych do doświadczeń nad *Armadillidium* (1930).

Płyty te były naświetlane odcinkami 2 cm szerokimi, roz-

maicie długo. Po wywołaniu płyt powstawały na nich skutkiem tego paski o rozmaitym stopniu zaciemnienia, przepuszczające od jednego końca płyty do drugiego coraz to mniej światła. Wycinki te zasłonięto osobną drabinką tekturową o pięciu okienkach, z których każde miało 1 cm szerokości i 10 cm wysokości. Odstęp między szparami wynosiły 2 cm. Używane stopnie jasności oznaczono cyframi 2—5. Stopień 1 stanowiło niezasłonięte światło lampy, rzucane bez filtra na tylny ekran obok innych stopni szarości. Intensywność światła wynosiła w tej klasie jasności 100%. Dla każdego stopnia jasności był oznaczony procent przepuszczonego natężenia światła. Porządek stopni szarości zmieniano dość często przez obrócenie całej płyty o 180°.

Do tresury użyto trzech żółwi: nr 2 wytresowano na barwę białą 1, nr 1 na stopień szarości 3 i nr 6 na stopień szarości 4. Tabela 11 wykazuje, że największa ilość reakcyj chwytywych

Tabela 11.

Tresura na filtry szare o różnych stopniach jasności.

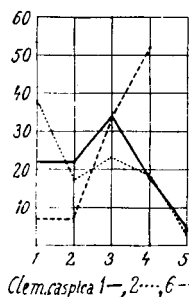
Klasy stopni jasności		1	2	3	4	5	n
% przepuszczonego światła		100	89—90,33	33—38	5,8—6,3	1,1—1,6	—
Reakcje chwy- towe w %	Okaz nr 2. Tresura na stopień 1	38	17	23	19	3	100
	Okaz nr 1. Tresura na stopień 3	22	22	34	18	4	50
	Okaz nr 6. Tresura na stopień 4	7	7	34	52	—	100

przypada na stopień tresurowy. U obu zwierząt tresowanych na paski ciemniejsze przebiegają krzywe dość regularnie, t. zn. od wierzchołka opadają stopniowo w dół (ryc. 32). U zwierzęcia karmionego przy stopniu 4, spadek krzywej przy obu ostatnich najjaśniejszych stopniach jest znacznie silniejszy niż u okazu tresowanego na stopień 3. Różnica ta odpowiada w całości oddaleniu tresurowych stopni szarości od obu najjaśniejszych pasków 1 i 2. Żółw nr 6, tresowany na najbardziej skrajną jasność odróżnia swą szarość tresurową od wycinków 1 i 2, lepiej aniżeli żółw

nr 1, tresowany na stopień 3. Okaz tresowany na pełną jasność (1 stopień) wykazuje krzywą odróżnienia mniej regularną, która oprócz wierzchołka przy wycinku tresurowym posiada jeszcze drugi mały wierzchołek przy stopniu 3.

Wyniki tresury dowodzą podobnie jak w doświadczeniach z barwami pigmentowymi, że żółwie dadzą się tresować na stopnie jasności. Zdolność rozróżniania stopni jasności jest jednak słabsza aniżeli zdolność rozróżniania barw pstrych. Z położenia wierzchołków krzywych wynika, że żółwie odróżniają dość dobrze tylko najskrajniejsze stopnie szarości. Fakt ten jest znowu dowodem, że wytłumaczenie zdolności odróżniania barw na podstawie ich jasności jest niemożliwe. Możliwość przyzwyczajania się żółwi do pewnych jasności mogłaby działać najwyżej pomocniczo przy tresurze na barwy pstre, jednakowoż nie osłabia to w zupełności zdolności jakościowego odróżniania barw.

Możemy jeszcze wspomnieć krótko o pewnych różnicach indywidualnych, uwidocznionych na krzywych, które przedstawiają wyniki tresur na stopnie jasności. Będzie to stanowiło zarazem przejście do jednego z następujących rozdziałów. Żółwie nr 1 i 2 odróżniały mianowicie stopień szarości 5 od tła, chociaż stopień ten dla człowieka był bardzo słabo widoczny. Zwierzę nr 6 tymczasem nie reagowało nigdy na tę barwę szarą (5) chociaż stanowiła ona sąsiedni wycinek stopnia tresurowego 4. U okazu tego kończyła się wrażliwość na jasność nieco wcześniej niż u zwierząt nr 1 i 2



Ryc. 32. Tresura na filtry szare: okaz nr 2 na stopień 3, okaz nr 2 na stopień 1, okaz nr 6 na stopień 4. Oś odciętych: stopnie szarości. Oś rzędnych: reakcje chwytowe w %.

Zdolność widzenia figur jednobarwnych.

a) Zdolność odróżniania kształtów przedmiotów.

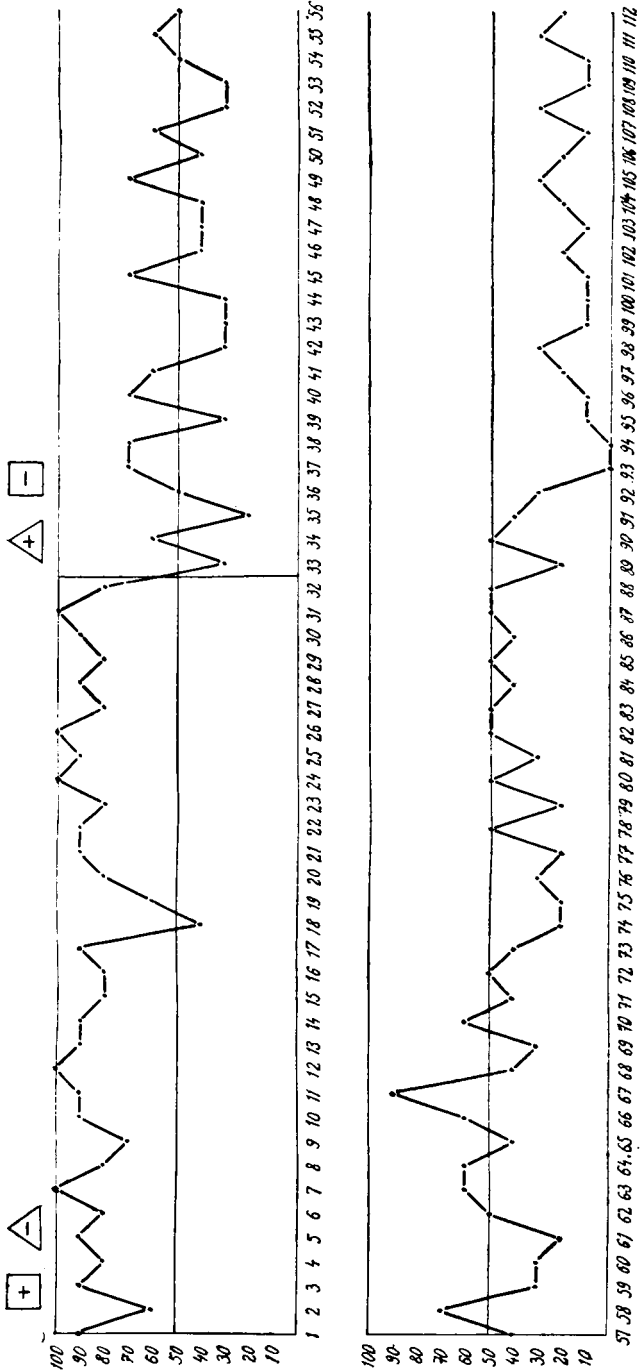
Jak zaznaczyliśmy już wyżej przy omawianiu programu naszej pracy, w drugiej głównej grupie doświadczeń mieliśmy się zająć zagadnieniem, czy w świecie wrażeń wzrokowych żółwi oprócz barw grają także rolę i kształty wyodrębnionych przed-

miotów. W pierwszej serii tych doświadczeń nad zdolnością rozpoznawania przedmiotów mieliśmy przedewszystkiem ustalić, czy żółwie są wogóle w stanie rozróżniać rozmaite figury pod względem ich kształtów. W tym celu przeprowadziliśmy szereg tresur na rozmaite figury płaskie z białego kartonu o mniej więcej równej wielkości.

Nasamprzód przeprowadzono tresurę na kwadrat o bokach 2 cm z żółwiem *Clemmys leprosa* nr 1. Po karmieniu zwierzęcia jakieś 40 razy przy kwadracie dano mu do odróżnienia od tej figury tresurowej trójkąt. Wyniki doświadczeń uzyskane w ciągu 320 prób przedstawia wykres na ryc. 33. Widać z-niego wyraźnie, że we wszystkich grupach po 10 prób, za wyjątkiem jednej, procent reakcyj pozytywnych był znacznie wyższy od 50%. Średnio wynosił on 84·4%, zwierzęta odróżniały więc obie figury wyraźnie.

Dla kontroli, oraz celem zbadania u żółwi pamięci na kształty przeprowadzono u tego samego okazu tresurę odwrotną. Jako figurę wabiącą, przy której zwierzę stałe otrzymywało pokarm, użyto trójkąta, który poprzednio był figurą negatywną, a jako figurę negatywną kwadrat, t. j. figurę dawniej wabiącą. Dla lepszego porównania przedstawiono wyniki jako dalszy ciąg wykresu poprzedniego, w ten jednak sposób, że na osi rzędnych zaznaczano nie reakcje na nową figurę tresurową, lecz nadal jak poprzednio reakcje na kwadrat, — figurę obecnie negatywną. Tego rodzaju przedstawienie wyników uwydatnia znacznie lepiej różnice zachodzące w reakcjach chwytowych przed i po zamianie figur. Widzimy mianowicie, że już od chwili, gdy zwierzęciu podano mięso przy trójkącie zamiast przy kwadracie, ilość reakcyj na dawną figurę tresurową gwałtownie spada. Krzywa waha się z początku po obu stronach linii 50%, aż po 200—300 doświadczeniach uzyskują przewagę reakcje na trójkąt. Zaznacza się to szczególnie wyraźnie, gdy porównujemy z sobą krzywą z pierwszej tresury, która przebiega powyżej linii 50% i krzywą z drugiej, przebiegającą poniżej tej linii. Doświadczenia te stwierdziły więc u żółwi zdolność przyswajania sobie kształtów geometrycznych, oraz silnie rozwiniętą pamięć na bodźce optyczne, o której będzie mowa w jednym z rozdziałów następnych.

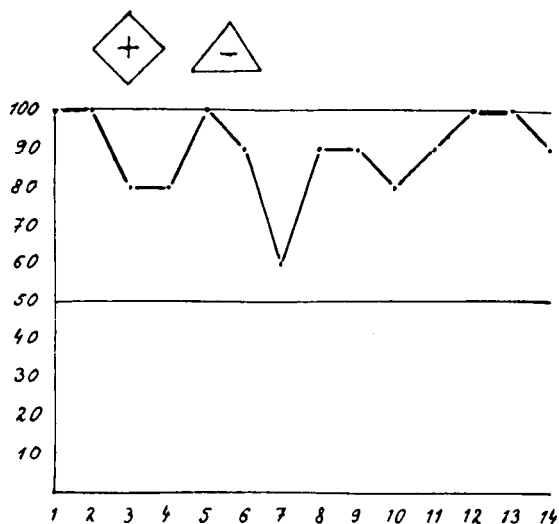
Dalsze doświadczenia tej serii można podzielić dla łatwiejszego przeglądu na trzy grupy, w których chodziło o zbadanie zdolności odróżniania przez żółwie: 1) innych jeszcze figur geo-



Ryc. 33. Objasnienia jak do ryc. 1.

metrycznych o bokach prostych, 2) rozmaitych figur krzywolini-
 nych od siebie wzajem i od figur o bokach prostych, wreszcie
 3) rozmaitych głosek drukowanych, jako połączenia linii prostych
 i krzywych.

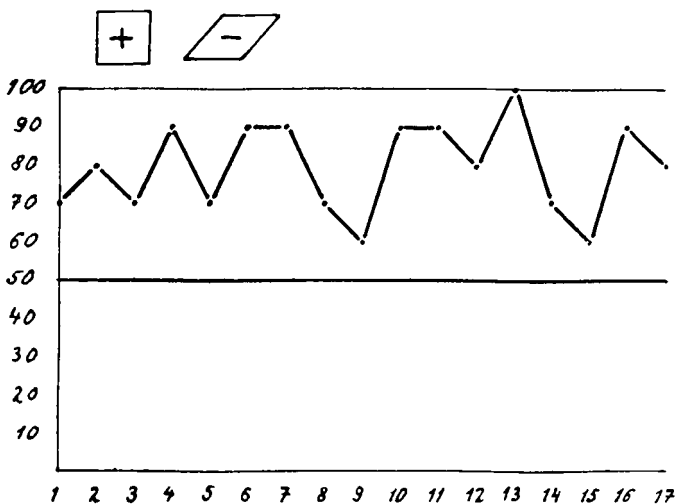
Z grupy pierwszej przeprowadzono tresurę u żółwia *Geoclemmys reevesi* nr 1. Chodziło w niej o zbadanie zdolności odróż-
 niania kwadratu jako figury czworobocznej od trójkąta. Istotną
 modyfikację, odróżniającą tę tresurę od opisanej poprzednio, sta-



Ryc. 34. objaśnienia jak do ryc. 1.

nowiło to, że zwierzęciu podawano kwadrat w położeniu ukośnem,
 wierzchołkiem w górę lub w dół, tak że jedna z przekątni zor-
 jentowana była poziomo, druga pionowo. Podobne ustawienie ką-
 tów miało złagodzić różnice między kwadratem a trójkątem. Wykres
 na ryc. 34, będący wynikiem 140 doświadczeń, wykazuje wyraźnie,
 że zwierzę mimo wszystko odróżniało obie figury całkiem dobrze.
 Średni procent reakcyj właściwych wynosił tu aż 89,3%.

W dalszym ciągu przeprowadzono tresurę na kwadrat prze-
 ciw innym figurom czworobocznym, różniącym się od pierwszej
 jużto długością boków, jużto rozwartością kątów. W tym celu
 przyzwyczajano *Clemmys leprosa* najpierw na kwadrat jako fi-
 gurę wabiącą przeciw rombowi, następnie na ten sam kwadrat
 przeciw prostokątowi o bokach dłuższych, zorientowanych po-



Ryc. 35. Objaśnienia jak do ryc. 1.



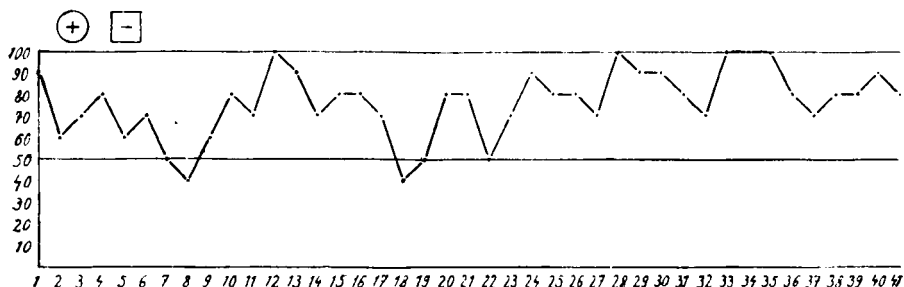
Ryc. 36. Objaśnienia jak do ryc. 1.

ziomo. W pierwszym' szeregu doświadczeń dokonano 170 prób, w drugim 140. Jak wskazują wykresy na ryc. 35 i 36 odróżniał żółw podane mu czworoboki w obu przypadkach. Średni procent

8*

reakcyj dodatnich wynosił w jednym przypadku 79·7%, w drugim 77·8%.

Z grupy drugiej przeprowadzono przedewszystkiem doświadczenia mające stwierdzić zdolność rozróżniania figur krzywolini-
nijnych (koła) od prostolini-
jnych (kwadratu). Do tresury na koło
użyto żółwia *Clem. leprosa* nr 3. Ponieważ okaz wzięty do
doświadczeń wykazał dwukrotnie, a mianowicie w 7 i 18 dzie-
siątce prób, niski procent reakcyj pozytywnych, a mianowicie
tylko 40% na figurę wabiącą, przeto przeprowadzono z nim 410
prób (ryc. 37). Wyniki ogólne o 76·1% reakcyj dodatnich wyka-
zują, że i tu również zwierzę odróżniało wyraźnie obie figury.

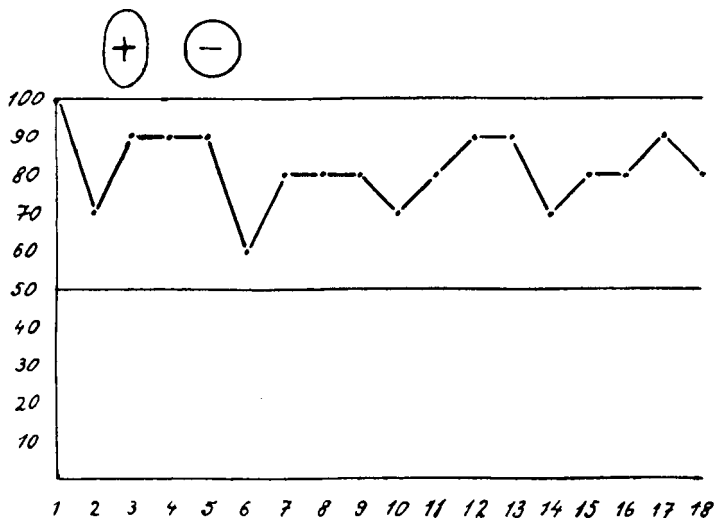


Ryc. 37. Objasnienia jak do ryc. 1.

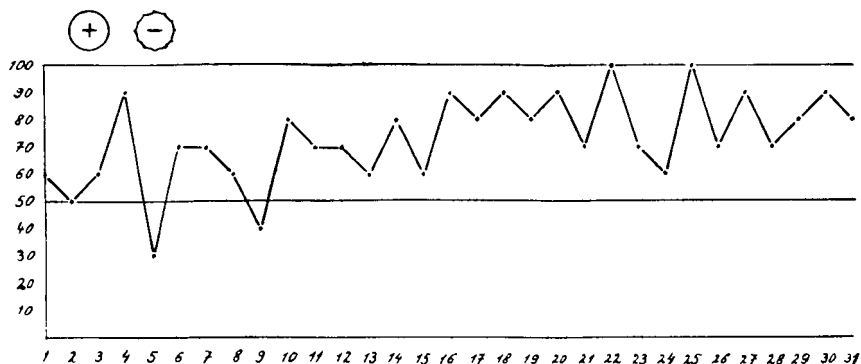
Drugą część doświadczeń tej grupy stanowiła tresura żółwia
Geocl. reevesi nr 1 na figurę eliptyczną, ustawioną osią dłuższą
pionowo, przeciw kołu jako figurze negatywnej. Także i tutaj
wyniki doświadczeń wykazały jasno zdolność rozróżniania obu
figur; średni procent wynosi mianowicie 81·6% (ryc. 38).

Na zakończenie doświadczeń z grupy drugiej należało zba-
dać, czy i o ile żółwie zdolne są odróżniać figury o linjach krzy-
wych od wieloboków, które dla oka człowieka posiadają znaczne
podobieństwo do koła. Doświadczenia zaczęto od postawienia żół-
wiowi *Clem. leprosa* nr 3 zadania dość trudnego jakim było
odróżnienie koła od dwunastoboku, a więc figury bardzo zbliżo-
nej do koła. Wyniki doświadczeń przedstawia wykres na ryc. 39.
Widać z niego, że żółw odróżniał początkowo obie figury bardzo
słabo; średni procent reakcyj na figurę tresurową wynosił w pierw-
szych 100 próbach zaledwo 61%. Stopniowo zwierzę uczyło się
odróżniać obie figury coraz lepiej, tak, że średni procent z ostat-

nich 100 prób wyniósł już 81%. Doświadczenia te okazały, iż żółwie nie tylko posiadają zdolność rozróżniania figur geometrycznych, lecz że zdolność ta rozwi-



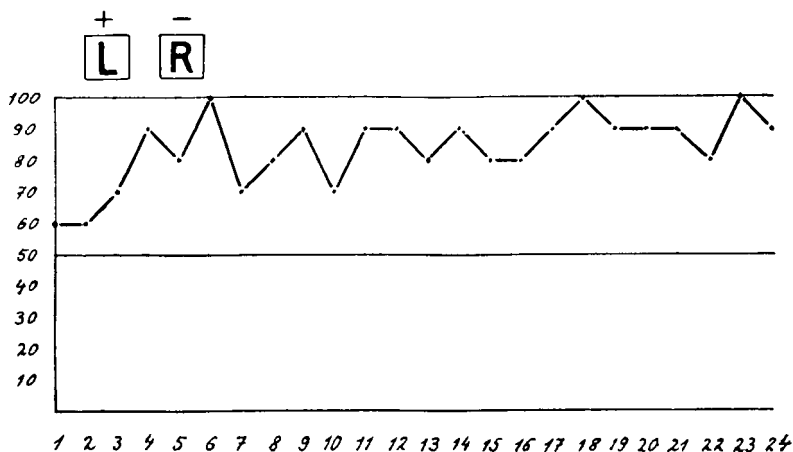
Ryc. 38. Objaśnienia jak do ryc. 1.



Ryc. 39. Objaśnienia jak do ryc. 1.

nięta jest u nich w wysokim stopniu, albowiem obie użyte figury przedstawiają nawet dla oka ludzkiego bardzo słabe różnice. Że żółwie są w stanie odróżniać od koła także inne wieloboki o mniejszej ilości boków, przekonamy się w rozdziale następnym.

Z trzeciej grupy doświadczeń przeprowadzono u żółwia *Geocl. reevesi* nr 1 tresurę na literę duże L, wymalowaną tuszem na białej tarczce kwadratowej o bokach 2 cm. Za figurę przeciwną służyło duże R, również na kwadracie tej samej wielkości. Obie te głoski wybrano z tego względu, że już poprzednio używał ich Herter (1929) do podobnych doświadczeń z rybami. Skutkiem tego wyniki naszych doświadczeń mogliśmy łączyć użyć do porównania z wynikami jakie otrzymano u ryb. Z głoskami temi wykonano 240 prób, których wynik przedstawia wykres na ryc. 40.



Ryc. 40. Objasnienia jak do ryc. 1.

Z przebiegu krzywej wynika, że zwierzę odróżniało obie głoski początkowo słabo i dopiero stopniowo uczyło się rozróżniać je lepiej. Wartość średnia reakcyj pozytywnych ze 100 ostatnich doświadczeń wynosi 89%, jest więc wystarczająco wysoka. Żółwie podobnie jak ryby, zdolne są więc odróżniać od siebie i połączenia linii prostych i krzywych, jakimi są znaki alfabety.

b. Stosunki podobieństwa pomiędzy figurami geometrycznymi.

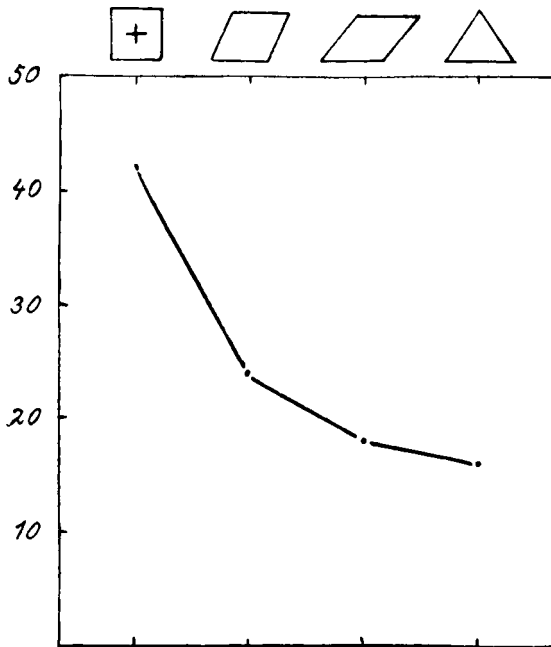
Stwierdziwszy w ten sposób u żółwi zdolność rozróżniania przedmiotów według kształtu, najbliższym zadaniem jakie mieliśmy przed sobą, było zbadanie stopnia podobieństwa poszczególnych figur geometrycznych dla oka żółwi. Pewne wskazówki w tym kierunku uzyskaliśmy już przy tresurze *Clem. leprosa*

nr 3 na koło przeciw dwunastobokowi. Zwierzę, które poprzednio odróżniało wyraźnie od samego początku doświadczeń koło od kwadratu, przy próbach z kołem i dwunastobokiem musiało się dopiero uczyć rozróżniać obie te figury od siebie. Widocznie zachodziło dlań między temi figurami znacznie większe podobieństwo, aniżeli między kołem i kwadratem. Bliższe dane w tym względzie można było uzyskać tylko w drodze osobnych doświadczeń. W tym celu przeprowadzono dwie serje doświadczeń: w pierwszej z nich chodziło o stwierdzenie ewentualnych podobieństw i różnic, jakie przedstawiają się żółwiom przy oglądaniu kwadratów i innych figur czworobocznych, oraz trójkąta, w drugiej o to jak ma się rzecz przy kole i innych wielobokach.

Do doświadczeń pierwszego rodzaju użyto żółwia *Clem. leprosa* nr 2, który już poprzednio tresowany był na kwadrat przeciw rombowi. W doświadczeniach tych zastosowano metodę opisaną na początku pracy, a stosowaną już przy próbach z krążkami barwnymi. Podano mianowicie żółwiowi do wyboru równocześnie cztery figury. Jedną z nich był ten sam kwadrat, a więc figura wabiąca, za trzy inne służyły: romb mało skośny o kątach nachylenia boków 50° i 130° , romb bardziej skośny o kątach 68° i 112° i trójkąt równoboczny. Notowano ilość reakcyj chwytowych na każdą z figur. Wyniki jakie otrzymano z 50 doświadczeń przedstawia wykres 41. Widać z niego wyraźnie, że zwierzę w przeważającej ilości przypadków (42%) wybierało kwadrat, znacznie rzadziej romb słabo skośny (24%), jeszcze rzadziej romb silnie skośny (18%), a najrzadziej trójkąt (16%). Okazało się więc, że żółw z czterech podanych mu figur wybierał najczęściej kwadrat jako kształt już mu znany, inne zaś figury znacznie rzadziej, a mianowicie w kolejności liczbowej, odpowiadającej dokładnie stopniowi ich podobieństwa do kwadratu jako figury zasadniczej.

Do drugiej serji doświadczeń wybrano żółwia *Clem. leprosa* nr 3, który przebył poprzednio tresurę na koło przeciw kwadratowi. Obecnie, obok koła jako figury tresurowej, podano zwierzęciu na czteroramiennych widełkach do wyboru równocześnie pięciobok, sześciobok i ośmiobok. Wykres na ryc. 42 przedstawia wyniki z 50 doświadczeń. Jak poprzednio, tak i tutaj widać wyraźnie, że zwierzę wybierało najczęściej figurę tresurową t. zn. koło, rzadziej ośmiobok, jeszcze rzadziej sześciobok, a najrzadziej chwyciło za pięciobok, jako figurę najmniej podobną do koła.

Wyniki otrzymane zarówno z pierwszej jak i z drugiej serii doświadczeń wskazują, że wymienione figury geometryczne przedstawiają dla oka zółwi, pod względem podobieństw zachodzących między nimi, różne wartości. Figury użyte przez nas,



Rys. 41. Podobieństwa między figurami dla zółwia tresowanego na kwadrat. Oś odciętych: figury podawane zółwiowi równocześnie. Oś rzędnych reakcje chwytowe w %.

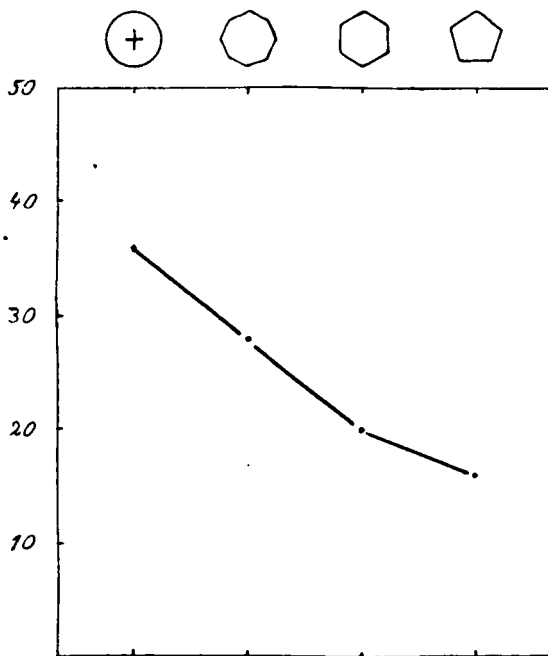
ułożone według wartości jakie przedstawiają dla oka zółwi, odpowiadają w kolejności swej stosunkom podobieństwa, jakie figury te przedstawiają także dla oka ludzkiego.

c) Zdolność odróżniania rozmaitego położenia figur.

W tej serii doświadczeń chodziło o stwierdzenie, czy zółwie są w mocy odróżniać figury płaskie tego samego kształtu i wielkości wyłącznie na podstawie różnic w ich położeniu przestrzennym. W tym celu dokonano kilku tresur. Przy jednych z tych

tresur podsuwano zwierzętom figury geometryczne, przy innych literę L w różnych położeniach na tej samej płaszczyźnie.

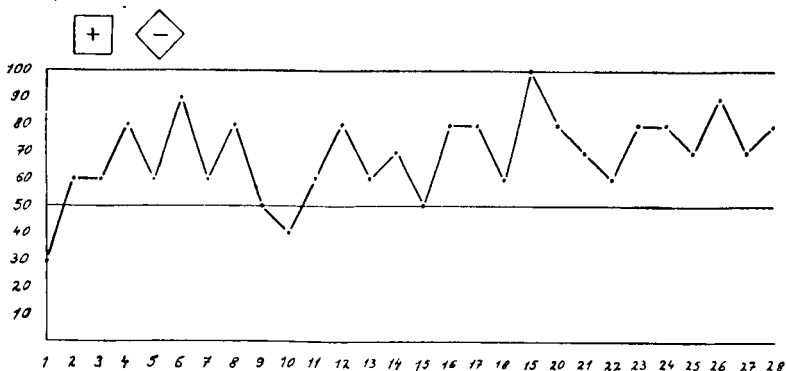
Żółw *Geocl. reevesi* nr 1 został wytresowany na kwadrat w położeniu normalnym t. j. ustawiony dwoma bokami równoległe do podstawy, dwoma pozostałymi pionowo. Do odróżnienia pokazywano mu taki sam kwadrat w położeniu ukośnym t. j. takiem,



Ryc. 42. Podobieństwo między figurami dla żółwia tresowanego na koło. Objaśnienia jak do ryc. 41.

gdzie jedna z jego przekątni przebiegała poziomo, druga pionowo. Z okazji tym wykonano 280 prób. Wykres nr 43, przedstawiający wyniki tych doświadczeń, jest dowodem, że zwierzę odróżniało oba kwadraty bardzo wyraźnie. Średni procent reakcyj dodatnich wynosił 68,9%.

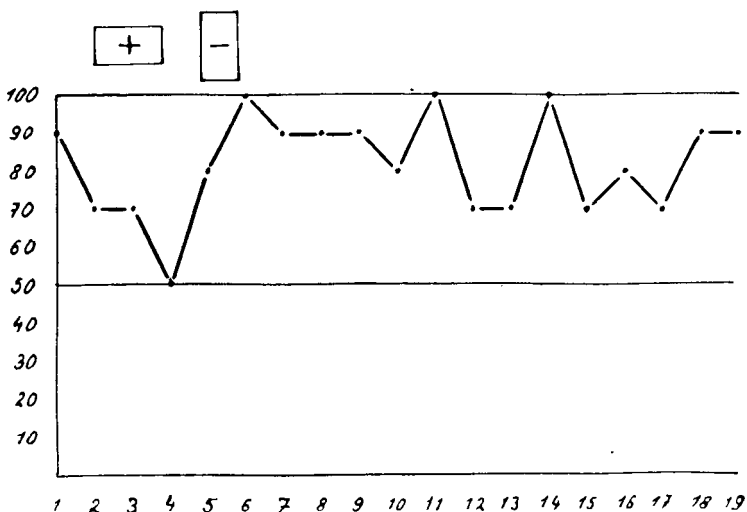
W dalszym ciągu doświadczeń wytresowano żółwia *Clem. leprosa* nr 2 na prostokąt leżący, 25 mm długi, a 15 mm wysoki. Jako figury przeciwnej użyto podobnego prostokąta w położeniu stojącym. W ogólnym wyniku otrzymano z 190 prób 71,5%



Ryc. 43. Objasnienia jak do ryc. 1.

reakcyj na figurę tresurową w położeniu poziomem. Przebieg krzywej tresurowej przedstawia ryc. 44.

Na trójkąt równoboczny, zwrócony wierzchołkiem na dół wytresowano dwa inne okazy, *Geocl. reevesi* nr 3 i *Clem. leprosa*

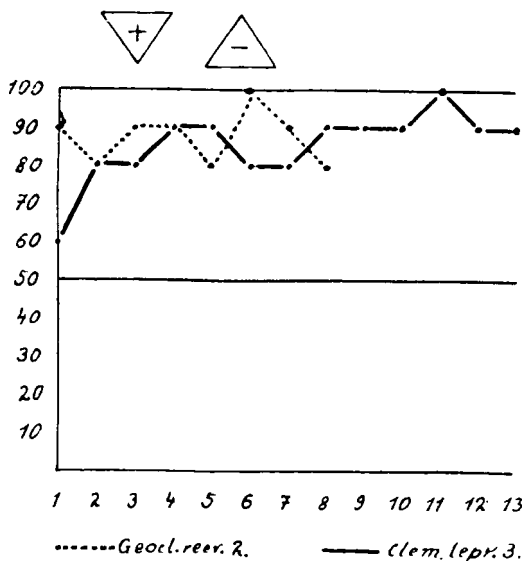


Ryc. 44. Objasnienia jak do ryc. 1.

nr 3. Miały one odróżniać ten trójkąt od takiegoż trójkąta leżącego t. j. zwróconego wierzchołkiem do góry. Z okazem pierwszym przeprowadzono 80 prób (ryc. 45, linja kropkowana), z drugim 130 prób (ryc. 45, linja ciągła). Średni procent reakcyj po-

zytywnych wynosił u pierwszego 87·5%, u drugiego 84·6%; oba zwierzęta odróżniły więc od siebie jednakowe trójkąty równoboczne jedynie na podstawie różnic w ich położeniu.

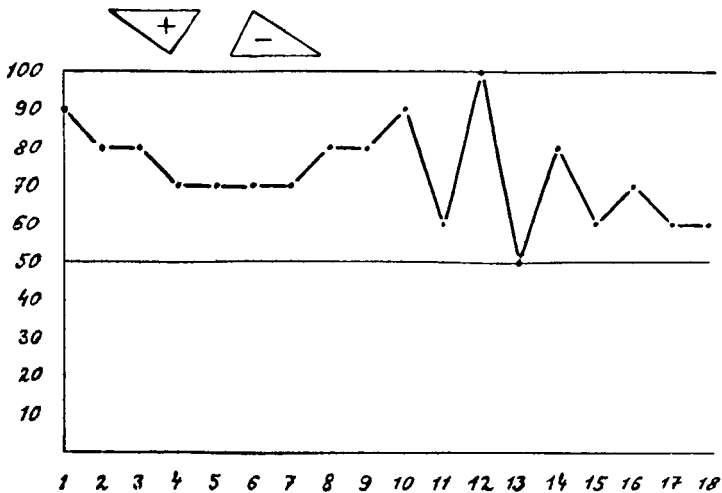
Podobne doświadczenia przeprowadzono jeszcze z *Geocl. reevesi* nr 2. Zwierzę miało tu jednak do czynienia z dwoma jednakowymi trójkątami różnobocznymi, zamiast jak poprzednio z trójkątami równobocznymi. Figura sygnałowa dodatnia zwrócona



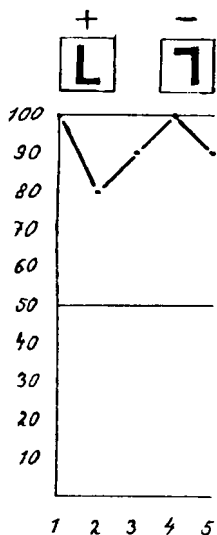
Ryc. 45. Objaśnienia jak do ryc. 1.

była wierzchołkiem o największym kącie w dół, figura druga, negatywna tym samym wierzchołkiem w górę. Także i w tym przypadku zwierzę odróżniało obie figury (73·3%, ryc. 46).

Na zakończenie tej serii doświadczeń przeprowadzono próby nad zdolnością rozróżniania przez żółwie liter jednakowych, różnie zorientowanych w przestrzeni. Aby otrzymać materiał porównawczy z wynikami osiągniętymi u ryb, wybrałem umyślnie znów te same głoski drukowane, jakich używał Herter, mianowicie duże L. Na literę L był już wytresowany *Geocl. reevesi* nr 2 i odróżniał ją od dużego R. Najpierw przeprowadzono doświadczenie, czy żółw potrafi rozróżnić L w położeniu normalnem od odwróconego o 180°. Z 50 prób jakie przeprowadzono z literami



Ryc. 46. Objaśnienia jak do ryc. 1.

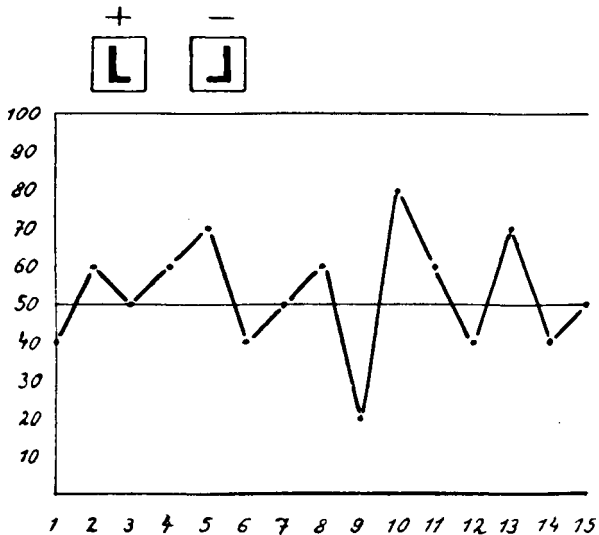


Ryc. 47. Objaśnienia jak do ryc. 1.

zorientowanemi w opisany sposób, otrzymaliśmy średnio 92% reakcyj dodatnich (ryc. 47). Zwierzę odróżniało więc znak alfa-

betyczny w tem położeniu, w jakim go poznało w czasie tresury, od tego samego znaku w położeniu innym.

Temu okazowi podano w dalszym ciągu doświadczeń literę L obok innego znaku przedstawiającego odbicie litery L w zwierciadle, t. zn. literę L ustawioną pionowo, której jednak dolne ramię poprzeczne skierowane było w lewo zamiast w prawo. Z tą parą figur przeprowadzono 150 doświadczeń. Jak poucza nas rzut oka na wykres 48, ilustrujący wyniki, żółw nie potrafił odróżnić

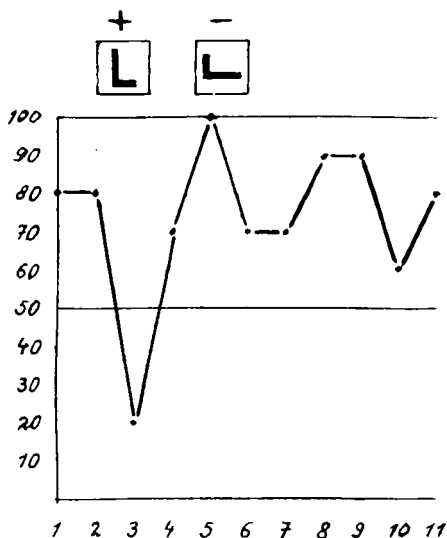


Ryc. 48. Objasnienia do ryc. 1.

obu figur. Średni procent reakcyj na figurę właściwą wyniósł tu mianowicie 52·6%.

Na zakończenie podano temu samemu żółwiowi jeszcze raz te same znaki z tą różnicą, że L będące odbiciem w zwierciadle głoski normalnej, obrócono o 90°, tak że jego oś główna znalazła się w położeniu poziomem. Jak wynika z wykresu na ryc. 49, żółw był w stanie odróżniać obie figury, podobnie jak to czyniły ryby Hertera, jednak procent średni reakcyj pozytywnych nie był tak wysoki, jak w doświadczeniach, w których zwierzęciu dano do odróżnienia jako literę przeciwną, L normalne, obrócone o 180° (por. ryc. 47). Średni procent wyniósł tutaj tym razem 73·6%.

Z porównania wszystkich doświadczeń nad zdolnością odróżniania przez żółwie litery L podawanej im w rozmaitem położeniu, widzimy, że zwierzę kierowało się w swym wyborze wzajemnym stosunkiem obu ramion litery. Można stwierdzić, że dla reakcji zwierzęcia czynnikiem decydującym było to, czy beleczka poprzeczna osadzona była u góry, czy u dołu beleczki

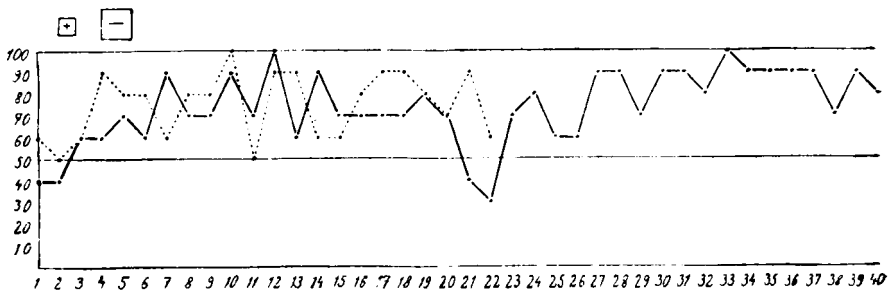


Ryc. 49. Objasnienia jak do ryc. 1.

dłuższej. Na podstawie tej cechy odróżniało zwierzę L zorjentowane normalnie od innej figury. Przy rozróżnianiu litery tresurowej odgrywał u zwierzęcia znaczną rolę także wzajemny stosunek długości obu beleczek, chociaż ta cecha odróżniająca zdaje się przedstawiać mniejszą wartość, aniżeli poprzednia. Interesującym jest fakt, że przy rozpoznawaniu wspomnianych znaków ten czynnik, czy dolna, krótsza beleczka odgałęzia się z prawej czy z lewej strony od dłuższej, pionowej beleczki głównej, nie tworzy ważniejszej cechy rozpoznawczej, t. zn. że zwierzę nie może odróżnić wyraźnie przedmiotu od jego odbicia w zwierciadle. Zjawisko to jest dla nas interesujące z tego względu, że ryby, a więc zwierzęta stojące niżej w rozwoju filogenetycznym odróżniają te same głoski także w położeniu symetrycznym, stanowiącym ich odbicie w zwierciadle.

d) Zdolność odróżniania rozmaitej wielkości figur.

W trzeciej i ostatniej grupie doświadczeń nad widzeniem kształtu przedmiotów podawano żółwiom do odróżnienia figury tego samego kształtu lecz różnej wielkości. Do tego celu użyto kwadratów i trójkątów, wyciętych z białego kartonu. Pierwszą tresurę na mały kwadrat o bokach długich 12 mm przeprowadzono u żółwia *Geoc. reevesi* nr 1. Za figurę przeciwną służył kwadrat o długości boków 20 mm. Wykonano 400 doświadczeń (ryc. 50, linja ciągła). Żółw reagował początkowo niewyraźnie, po 40 próbach nauczył się jednak odróżniać obie figury. Z wszystkich doświadczeń otrzymano 73·3% reakcyj pozytywnych.



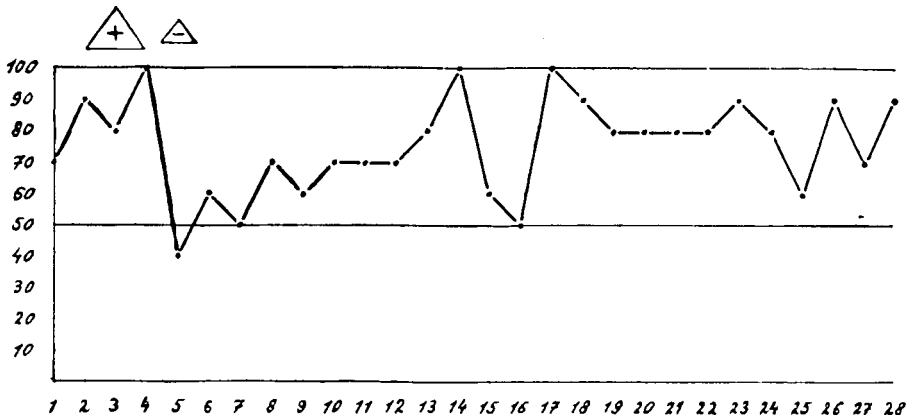
Ryc. 50. Objasnienia do ryc. 1.

Dla kontroli powtórzono te doświadczenia z temi samymi figurami jeszcze z drugim żółwiem (*Clem. leprosa* nr 2). Wynik otrzymany z 220 prób przedstawia wykres na ryc. 50, (linja kreskowana). Jak widać, zwierzę rozróżniało obie figury na podstawie różnic w ich wielkości; procent reakcyj dodatnich wynosił bowiem 75%.

Z tym samym okazem *Clem. leprosa* nr 2 przedsięwzięto jeszcze jedną tresurę, a mianowicie na duży trójkąt równoboczny o wielkości takiej, jak używany w poprzednich serjach doświadczeń (20 mm wysokości) przeciw podobnemu trójkątowi mniejszemu o wysokości 13 mm. Ogółem wykonano z nim 300 prób (ryc. 51). W pierwszych 40 doświadczeniach, które nastąpiły bezpośrednio po karmieniu tresurowem, odróżniał żółw obie figury wyraźnie. Po tych próbach nastąpił gwałtowny spadek reakcyj na figurę tresurową, o którym będzie jeszcze mowa później w rozdziale o skojarzeniu wtórnem. Później zwierzę uczyło się znów

stopniowo rozróżniać obie figury. Średni procent reakcji właściwych wynosi dla wszystkich doświadczeń 75·3%. Z przebiegu krzywej przedstawiającej wyniki tresury, widać, że zaburzenia jakie wystąpiły w reakcjach żółwi w ciągu doświadczeń, są natury przejściowej, a równocześnie wykres ten potwierdza u żółwi zdolność odróżniania figur jednakowych jedynie na podstawie ich różnej wielkości.

Przy porównywaniu tych wyników z przebiegiem innych seryj doświadczeń musi uderzyć niski stosunkowo procent reakcji



Ryc. 51. Objasnienia do ryc. 1.

pozytywnych na figury, które różnią się od siebie jedynie wielkością. Podczas gdy przy użyciu figur posiadających różny kształt albo nawet tylko inne położenie, spotykamy wysokie wartości procentowe, które z małymi wyjątkami dochodzą do 90%, znajdujemy w ostatnich doświadczeniach zaledwie 73—75%. Fakt ten zdaje się przemawiać za tem, że różnice jedynie w wielkości figur przedstawiają dla żółwi słabszą cechę rozpoznawczą, aniżeli różnice w kształtach i położeniu.

Kojarzenie i pamięć wrażeń wzrokowych.

Jak zauważyliśmy już przy przedstawianiu poszczególnych tresur, żółwie są w stanie tworzyć kojarzenia sprawy pokarmu zarówno z wrażeniami barwnymi jak i figurami jednobarwnymi o określonych zarysach. Zdolność kojarzenia jest u nich bardzo

silnie rozwinięta. Przy tresurach wstępnych na barwiste pigmenty mogliśmy stwierdzić, że już po 2—3 dniach karmienia wybierały żółwie z dwóch podanych sobie równocześnie barw odrazu barwę tresurową, nie robiąc prawie żadnych błędów. Dzięki temu krzywe jakie otrzymaliśmy (ryc. 1), przedstawiały od samego początku wynik tresury; brakło w nich odcinka wskazującego na proces uczenia się zwierząt. Żółwie skojarzyły więc barwę tresurową tak silnie, że brały ją odrazu, nie zwracając uwagi na barwę drugą. Z podobnie szybkim tworzeniem kojarzeń spotkaliśmy się również i przy niektórych tresurach na figury jednobarwne o określonych kształtach. I tu od początku reagowały zwierzęta dodatkowo na figurę tresurową, wykazywały jednak pewien procent błędów. Błędy te utrzymywały się przez cały ciąg doświadczeń mniej więcej na jednakowym poziomie, wskazując, że widocznie zwierzę nie zdoła figur tych lepiej rozróżnić (np. ryc. 33); przyswojenie jednak figury tresurowej jest równie silne jak przy barwach.

Jeżeli w późniejszych doświadczeniach z barwami miały żółwie odróżnić barwę tresurową nie od jednej, ale od kilku rozmaitych barw, zauważyć można było większą ilość błędów. Można to łatwo zrozumieć. W pierwszym przypadku mogło zwierzę bardzo szybko zapamiętać sobie jedną barwę i nauczyć się nie odróżniać jej od innej. W drugim przypadku musiało się zwierzę uczyć nie brać w obecności swej barwy tresurowej wielu innych barw, z którymi nie miało jeszcze nic do czynienia.

Proces uczenia się żółwi uwidaczniał się tylko w niektórych przypadkach wyraźniej w przebiegu wykresów. Jako przykład możemy wymienić tresurę na koło przeciw dwunastobokowi (ryc. 39), lub jeszcze lepiej tresurę na kwadrat mały przeciw kwadratowi dużemu u *Geoc. reevesi* nr 1. Jak widać, odnośne krzywe wznoszą się stopniowo w górę. Początkowo zwierzęta nie potrafiły odróżnić podanych im figur, później jednak, ucząc się przez naukę, odróżniały je coraz lepiej.

Ze zdolnością tworzenia kojarzeń i pamięcią ściśle wiążą się stosunki zachodzące przy przetresowywaniu żółwi. Przetresowywanie w doświadczeniach z krążkami kolorowymi przebiegało znacznie szybciej, aniżeli w doświadczeniach z widmem. Za kryterjum czasu trwania przetresowywania przyjmujemy tutaj ilość doświadczeń z nową barwą lub figurą, które były potrzebne, aby wy-

gasić nawykowe reakcje na dawną barwę lub figurę tresurową. Przy doświadczeniach z kolorami żółt w widywał nową barwę tresurową stale, dawna zaś ukazywała mu się tylko rzadko pomiędzy rozmaitemi innymi barwami, jakie podawano po sobie co pewien czas. Zwierzę mogło tutaj znacznie szybciej zapomnieć barwę dawną. W doświadczeniach z widmem przetresowywanie trwało dłużej. Przy każdej próbie z nową barwą tresurową widywało zwierzę stale całe widmo, a więc w niem i dawną barwę. Skutkiem tego nie mogło ono tak łatwo zapomnieć wycinka barwnego dawnego. Następnie w całym widmie miało ono do wyboru większą ilość wycinków barwnych. Dla porównania możemy zestawić cyfry z dwóch doświadczeń. W doświadczeniach z papierami kolorowymi wystarczyło 10--40 prób z nową barwą, ażeby zwierzęta nie wybierały dawnej barwy tresurowej. W doświadczeniach z widmem potrzeba było do tego 10--260 prób (tabela 12).

Tabela 12.

Przetresowywanie żółwi, *Clemmys caspica*.

() = ostatnia barwa.

(Kaz nr	Przetresowywanie		Czas trwania procesu przetresowywania	Ilość dni	Ilość doświadczeń aż do chwili ukonczenia przetresowywania
	barwa dawna w $\mu\mu$	barwa nowa w $\mu\mu$			
6	żółta	b. niebieska	27. II - 7. III	9	130
2	b. eżerwona	b. fioletowa	8. III - 18. III	10	70
6	b. niebieska	b. zielona	14. III - 18. III	4	30
3	b. zielona	b. fioł.-niebieska	5. III - 15. III	10	100
3	b. pomarańczowa	b. zielona	19. III - 15. IV	27	260
5	b. zielona	b. pomarańczowa	10. III - 15. III	5	30
5	b. niebieska	b. zielona	5. III - 7. III	2	10
4	b. żółta	b. purpurowa	(21. III) - 22. IV	(32)	10
4	b. żółta	b. purpurowa	30. III	23	10

Przebieg przetresowywania można zilustrować najlepiej na dwóch załączonych tabelach 13 i 14. Jeżeli w równych odstępach między starą i nową barwą tresurową przeprowadzimy linię, dzielącą widmo na dwie części, to widzimy, że ilość reakcyj chwytowych w okolicy barwy tresurowej stale się zmniejsza, natomiast w okolicy barwy nowej wzrasta. W pierwszej dziedzinie barwnej wygasają w końcu wszystkie reakcje. Czas przetresowywania wynosił 2—27 dni (tabela 12). Najczęściej cały proces przetresowywania ukończony był już po 10—11 dniach. Najdłużej, bo aż 27

Tabela 13.

Clemmys caspica nr 6. Proces przetresowywania z barwy żółtej o 596μ (klasa 6) na barwę niebieską o 488μ (klasa 11).

	Okolica barwy dawnej. Razem	Klasy barw widma											Okolica barwy nowej. Razem		
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14				
Ilość reakcyj chwytowych w grupach po 10 doswiadczeń	I	9	1	5	3	—	—	—	—	1	3	1	—	—	1
	II	5	—	5	—	—	—	—	1	3	1	—	—	—	5
	III	6	—	3	1	2	—	—	1	1	2	—	—	—	4
	IV	8	—	6	1	1	1	1	—	—	—	—	—	—	2
	V	4	—	2	—	2	2	—	1	2	1	—	—	—	6
	VI	0	—	—	—	—	2	2	3	2	—	1	—	—	10
	VII	3	—	2	—	1	—	—	2	3	2	—	—	—	7
	VIII	0	—	—	—	—	2	3	4	1	—	—	—	—	10
	IX	2	—	1	1	—	4	—	3	1	—	—	—	—	8
	X	0	—	—	—	—	1	3	5	1	—	—	—	—	10
	XI	1	—	—	1	—	4	1	3	1	—	—	—	—	9
	XII	1	—	—	—	1	—	1	3	5	2	—	—	—	9
	XIII	0	—	—	—	—	2	1	5	2	—	—	—	—	10
	XIV	0	—	—	—	—	1	1	3	3	1	1	—	—	10
	XV	0	—	—	—	—	1	2	4	1	2	—	—	—	10

dni trwał on u żółwia *Clem. caspica* nr 5, którego chciano przetresować z barwy pomarańczowej na zieloną. Proces przetresowywania tego samego okazu z innej barwy zielonej na pomarańczową trwał tylko 5 dni. Jest rzeczą możliwą, że nie mamy tu do czynienia z różnicą przypadkową, ale że przetresowywanie z barwy zielonej, którą żółw gorzej odróżnia, na barwę pomarańczową, która jest jedną z barw najlepiej odróżnianych, odbywa się szybciej, aniżeli przetresowywanie odwrotne. Podobne stosunki spotykamy także w dalszych skrajnych przypadkach

Tabela 1.4

Clemmys caspica nr 3. Proces przetresowywania z barwy zielonej o 541 μm (klasa 8) na barwę niebieską o 461 μm (klasa 13).

	Okolica barwy dawnej. Razem	Klasy barw widna														Okolica barwy nowej. Razem
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
Pięć reakcyj chwytowych w grupach po 10 doświadczeń	I	8	—	—	2	1	4	1	—	—	1	1	—	—	2	5
	II	5	—	—	3	2	—	—	1	—	1	2	1	—	5	6
	III	4	—	—	1	—	1	2	2	1	1	1	1	—	6	5
	IV	5	1	—	—	2	—	2	1	2	—	2	—	—	8	8
	V	2	—	—	—	1	—	1	1	2	4	1	—	—	8	9
	VI	2	—	1	—	—	1	—	1	1	3	2	1	—	9	9
	VII	1	—	—	—	—	—	1	1	2	3	2	1	—	9	9
	VIII	1	—	—	—	—	—	1	1	1	5	2	—	—	9	9
	IX	1	—	—	1	—	—	—	—	3	3	3	—	—	9	9
	X	1	—	—	—	1	—	—	1	2	4	2	—	—	10	10
	XI	0	—	—	—	—	—	—	—	1	3	6	—	—	10	10
	XII	0	—	—	—	—	—	—	—	1	1	4	2	—	10	10
	XIII	0	—	—	—	—	—	—	—	1	1	6	2	—	10	10

u *Clem. caspica* nr 4 i 6, które przetresowywano z barwy niebieskiej na żółto-zieloną i odwrotnie. Ostatnią barwę odróżniają zwierzęta lepiej niż niebieską i dlatego dadzą się na nią szybciej przetresować. Stosunki zachodzące w ciągu przetresowywania żółwi z jednej figury geometrycznej na inną ilustruje również dobrze wykres na ryc. 33, o którym wspominaliśmy przy opisie tresury na kształty.

O długości czasu, przez który żółwie zachowują w pamięci barwy lub figury tresurowe, można powiedzieć niewiele, ponieważ ostatecznej granicy nie dało się bezpośrednio wykazać. Wszystkie zwierzęta przetresowywano mianowicie natychmiast po ukończeniu danego doświadczenia. Można jedynie określić czas, kiedy pojawiły się ostatnie reakcje chwytowe na dawną barwę tresurową przy przyzwyczajaniu zwierzęcia na barwę nową. Przedstawiliśmy to już częściowo powyżej. Tutaj podajemy jeszcze jako przykład żółwia *Clem. caspica* nr 4. U okazji tego ukończono doświadczenia z dawną barwą tresurową żółtą dnia 21. III 1932 r. Tresurę na nową barwę purpurową zaczęto dopiero 30. III. Dnia 4. IV, spowodu wyjazdu eksperymentatora, nastąpiła przerwa w tresurze, która trwała do 13. IV. Reakcje chwytowe na barwę żółtą obserwowano do 22. IV, a ostatnią z nich zanotowano jesz-

cze 25. IV (tabela 12). Zwierzę to zachowało więc w pamięci dawną barwę tresurową nie tylko przez 9 dni, w ciągu których nie otrzymywało pokarmu, ale przez okres jeszcze dłuższy podczas tresury na nową barwę, łącznie biorąc, dłużej niż jeden miesiąc. Dla porównania przytoczymy przykład z tresury na kształty. Wspomniane powyżej przetresowywanie żółwia, który przyzwyczajony był poprzednio na kwadrat przeciw trójkątowi, na trójkąt przeciw kwadratowi wymagało około 55 dni. Tak długo trwała zamiana dawnego skojarzenia na nowe. W ciągu tych 55 dni wykonano około 400 prób. Fakt ten zgadza się w zupełności z danymi o pamięci żółwi na wrażenia barwne.

Skojarzenie wtórne.

Przy końcu przedstawiania naszych doświadczeń należy wspomnieć o jednym jeszcze zjawisku, które łączy się ze zdolnością tworzenia kojarzeń i sposobem reagowania u żółwi. Przy przeglądaniu poszczególnych wykresów, otrzymanych z doświadczeń nad zdolnością odróżniania kształtów, uderzyć nas musi fakt, że przy niektórych tresurach linja wykazująca przebieg doświadczeń, która przez pewien czas przebiegała blisko 100%, spada nagle poniżej 50%, ażeby w dalszych doświadczeniach wznieść się znowu do poprzedniej wysokości. Zwierzę, które dotychczas odróżniało dobrze obie oglądane przezeń figury, zaczyna nagle okazywać szczególne zainteresowanie figurą negatywną. Tę zmianę sposobu reagowania trudno przewyciężyć nawet przy pomocy kary. Reakcje negatywne znikają same przy dalszym prowadzeniu doświadczeń.

Powyższe zjawisko możnaby oceniać jako przypadkowe, gdyby nie występowało w naszych doświadczeniach zbyt często i gdyby go nie zauważono również u żab (Razwiłowska 1927, Papierbuch 1928, Pache 1932), a nawet u pszczoł (Friedländer 1931). Pierwsi z wymienionych autorów podają mianowicie, że u żaby, która reagowała na figurę tresurową bardzo wyraźnie, występuje po pewnym czasie w sposobie reagowania znaczna nieregularność. Po okresie reakcyj pozytywnych następuje okres reakcyj mieszanych. Aby fakt ten wyjaśnić, wnioskuje ci autorzy, że obok pierwszego, pierwotnego skojarzenia figury tresuro-

wej, może się wytworzyć skojarzenie wtórne figury dodatkowej, które po pewnym czasie poczyną pierwsze przygłuszać.

Według naszych spostrzeżeń mielibyśmy i u żółwi do czynienia z wystąpieniem takiego wtórnego skojarzenia. Żółw, którego karmiono przy figurze tresurowej i który nauczył się, czy przyzwyczał, odróżniać tę figurę od określonej innej, podawanej mu równocześnie z pierwszą, przyswaja sobie wreszcie pamięciowo i tę drugą, jako figurę dobrze sobie znaną. Tworzyłoby się więc u żółwia skojarzenie wtórne, mogące nawet przez pewien czas działać silniej aniżeli pierwotne. Żółw reaguje teraz na figurę nowo skojarzoną pozytywnie, tak długo, dopóki dawne skojarzenie nie odrodzi się dynamicznie i zwierzę nie przekona się ponownie, że tylko figura tresurowa przynosi pokarm, figura inna nie oznacza dlań niczego.

Odtworzenie skojarzenia poprzedniego dokonuje się albo równie szybko i nagle jak wystąpienie asocjacji wtórnej (n. p. ryc. 50), albo też rozwija się powoli. W tym ostatnim razie zwierzę musi się stopniowo uczyć odróżniać obie figury i otrzymujemy wtedy typową krzywą uczenia się jak na ryc. 51 (od 9-tej dziesiątki doświadczeń), która może wznosić się mniej lub więcej stromo (ryc. 33, 18-ta grupa dziesiątek i następne; ryc. 51).

Czas w jakim miały miejsce wymienione odchylenia w reakcjach, był w poszczególnych doświadczeniach i u poszczególnych zwierząt różny. W niektórych przypadkach dadzą się one zauważyć już po 30—40 doświadczeniach (ryc. 44), w innych dopiero po 90—100 (ryc. 43). lub nawet po 210—220 (ryc. 50, *Geocl reevesi*). Druga asocjacja może występować także kilkakrotnie w ciągu tego samego doświadczenia (rys. 37); zdaje się ona być właściwością psychiczną okresową, przywiązaną do organizmów zwierzęcych wyżej uorganizowanych. Tymczasowo nie mogliśmy przeprowadzić bliższej analizy tego interesującego i trudnego do wyjaśnienia zjawiska; może doświadczenia dalsze przyniosą nam w tym kierunku pewniejsze dane.

Różnice osobnikowe.

W rozdziale o tresurze na stopnie szarości przy zastosowaniu filtrów zaznaczyliśmy już różnice zachodzące w odróżnianiu

jasności u poszczególnych okazów *Clem. caspica*. Również przy omawianiu skojarzenia wtórnego zwróciliśmy uwagę na fakt, że czas pojawienia się tych zaburzeń w reakcjach rozmaitych zwierząt bywa rozmaity. Tutaj należy jeszcze wspomnieć o innych różnicach indywidualnych. U zwierząt, których użyto do doświadczeń w styczniu 1932 r., tylko najmniejsze okazy *Clem. caspica* nr 1—4 wykazały odrazu żywe i trafne reakcje. Inne osobniki tego gatunku, nr 5 i 6, nie chciały w tym czasie nic jeść lub pobierały tylko niewiele pokarmu i reagowały bardzo słabo, tak że musiano je pozostawić przez pewien czas w spokoju. Po 1—1½ miesiącu pauzy reagowały jednak te same okazy bardzo dobrze. Odwrotnie zachowywały się żółwie pierwsze. Po 2—3 miesiącach wykazały wyraźny spadek tak pod względem żywości, jak i ilości reakcyj. Szczególnie silnie wystąpiło to u okazu nr 1. Tego rodzaju zmiany można łatwo wytłumaczyć tem, że zwierzęta przesyściły się pokarmem. Podobne różnice indywidualne w żywości reagowania objawiały później także żółwie *Clem. leprosa*.

Jedną z najważniejszych różnic indywidualnych okazał żółw *Clem. caspica* nr 4 przy tresurze na barwy. Pomimo długotrwałej tresury na barwę żółto-zieloną widma, po poprzedniej tresurze na barwę niebieską, największa ilość reakcyj przypadła u niego na barwę żółtą. Zachowanie się takie powtarzało się, pomimo tego, że zwierzę karmiono tylko przy barwie żółto-zielonej, natomiast przy barwie żółtej otrzymywało chininę lub nawet lekkie uderzenie »karne« końcem drutu. Ten sam okaz wytresowano wtedy na barwę żółtą. Teraz reakcje były całkiem normalne, tak, że wyniki z tych doświadczeń mogły posłużyć do uzupełnienia wyników uzyskanych z tresury na barwę żółtą innego okazu (patrz rozdział: Wykresy otrzymane z tresury na poszczególne barwy widma, str. 36).

Rozważania ogólne.

Po przedstawieniu wszystkich naszych doświadczeń z żółwiami, zarówno nad światem barw jak i kształtów, możemy przejść do rozważenia ogólnego stanowiska jakie zajmuje ten rząd gadów ze względu na świat ich wrażeń wzrokowych, w stosunku do innych grup spokrewnionych. Ponieważ najciekawsze fakty

przez nas zauważone dotyczą zmysłu odróżniania barw, przeto od tej sprawy przegląd nasz zaczniemy.

Już dawniej wymieniani niejednokrotnie autorzy znaleźli dość znaczne podobieństwo między zmysłem odróżniania barw u ryb i człowieka, przeto porównyując zdolności odróżniania barw, grup barw i ich pokrewieństwa u żółwi i u ryb, poznaliśmy temsamem pośrednio podobieństwa i różnice w odniesieniu do nas samych. I tak zauważyliśmy pewne obniżenie zdolności odróżniania barw w krótkofalowej okolicy widma, szczególnie przy odcieniach niebieskich, w stosunku do okolicy długofalowej. W obrębie odcieni fioletowych zdolność ta utrzymuje się dość wysoko. Największe różnice występują przy barwach długofalowych. W czerwieni wykazują żółwie równą lub nawet wyższą wrażliwość na różnicę barw aniżeli w barwach żółtej lub żółtozielonej. Po porównaniu z odpowiednimi stosunkami, zachodzącymi u ryb, możemy przyjąć z dużym stopniem prawdopodobieństwa, że u żółwi istnieje szczególnie wysoka wrażliwość na różnice w odcieniach barw czerwonych i pomarańczowych. Najwyższe *maximum* tej nadwrażliwości przesunięte jest u nich ku długofalowemu końcowi widma i przypada na okolicę odpowiadającą naszej barwie pomarańczowej. W związku z tem zauważyć można pewne przesunięcia w grupach barw i ich pokrewieństwach. U żółwi można wykazać trzy wyraźne, główne grupy barw. Pierwsza grupa barw długofalowych ryb dzieli się tutaj na dwie. Jedna z nich z barwą pomarańczową tworzy pierwszą grupę główną, podczas gdy druga zawierająca barwę czerwoną zbliża się bardziej do ostatniej, trzeciej grupy barw fioletowych. Barwy zielone, tak jak u ryb, tworzą drugą grupę główną. Trzy te główne grupy barwne oddzielone są od siebie przez pola barw żółtych, oraz niebieskozielonych i jasno-niebieskich, które tutaj są obszerniejsze aniżeli u ryb.

Odrązu rzuca się w oczy podobieństwo wrażliwości u żółwi ze zmysłem tym u ptaków dziennych. U obu tych grup zresztą monofiletycznych Sauropsidów zdolność odróżniania barw krótkofalowych jest znacznie obniżona. W obrębie barw długofalowych zachodzą u obu grup pewne przesunięcia. Podobieństwa te możemy sprowadzić do jednego i tego samego czynnika, t. zn. do barwnych kulek tłuszczowych. Kulki owe działają w obu przypadkach jako filtry, które osłabiają promienie krótkofalowe, szcze-

gólnie niebieskie. U ptaków powodują one przesunięcie *maximum* wrażliwości na jasność barw w długofalową okolice widma. Dowodem na to jest fakt podany przez Honigmann'a (1923), że u młodych kur, adaptowanych na jasność, które posiadają czerwone kulki tłuszczowe jaśniejsze i mniejsze, *maximum* przesunięte jest w okolice widma o długości fali 550 μm . U kur płciowo dojrzałych, które posiadają ciemniejsze i większe kulki tłuszczowe, rzeczony przesunięcie sięga jeszcze dalej na stronę długofalową i *maximum* znajduje się tu przy 580 μm . U żółwi spostrzegamy znów przesunięcie zdolności rozróżniania barw; *maximum* leży przy 634 μm , a więc przesunięte również ku barwom długofalowym. Zaznaczyć nadto należy, że żółwie posiadają w oku jeszcze ciemniejszy zespół kulek tłuszczowych, aniżeli ptaki dojrzałe (Hess 1910, 1913), a wskutek tego i zróżnicowanie wrażliwości na barwy musi być u nich dalej posunięte, aniżeli u ich upierzonych pobratymców.

W stosunku do innych rzędów gadów odznaczają się żółwie pod względem zmysłu widzenia barw pewną odrębnością. Jak już wspomnieliśmy krótko we wstępie, wyniki badań Laurensa zdają się wskazywać na pewne podobieństwo w wartościach pupillomotorycznych bodźców świetlnych o różnej długości fali u tych zwierząt i człowieka. Zjawisko to stanie się dla nas zrozumiałem, jeżeli przypomnimy sobie, że w oku krokodyli braknie ów barwny filter, któremu przypisujemy wszelkie zmiany w obrębie zmysłu barw. Prawdopodobnie i zdolność odróżniania barw jest skutkiem tego u krokodyli bardziej zbliżona do zdolności tej u człowieka, aniżeli u żółwi. Bliższe dane dotyczące tego przypuszczenia mogłoby nam dać jedynie systematyczne zbadanie zmysłu widzenia barw u krokodyli temi samymi metodami, co u żółwi.

W stosunku do jaszczurek wykazują nasze zwierzęta również dość znaczne różnice. U żółwi widzimy strefy barwne, gdzie zdolność odróżniania barw jest wysoka, a mianowicie *maximum* duże w okolicy barwy pomarańczowej i mniejsze w okolicy fioletu. W strefie barw niebieskich zdolność odróżniania odcieni jest rozwinięta najslabiej. U jaszczurek, według badań Wagnera (1933), najwyższa zdolność odróżniania barw leży w okolicy barw czerwonych i niebieskich, a najslabsza w okolicy zielonych. Drugie *maximum* leżałoby więc u jaszczurek w tej części widma, gdzie żółwie okazują najmniejszą wrażliwość na różnice w od-

cieniach. Możemy tu jeszcze zauważyć, że Wagner wykazał u jaszczurek również obecność kulek tłuszczowych w oku, ale znacznie słabiej zabarwionych niż w oku żółwi. Czy różnice te należy sprowadzić do różnicy w zabarwieniu kulek tłuszczowych, czy też wywołane są one u jaszczurek przypuszczalnym spontanicznym upodobaniem ich do pewnych barw i przekładaniem ich nad inne, i ta kwestja nie da się rozstrzygnąć bez dalszych systematycznych doświadczeń.

Obok omówionych różnic wykazują zresztą oba te rzędy gadów daleko idące podobieństwa pod względem zdolności odróżniania stopni szarości. U jaszczurek jest ona bardzo słaba: odróżniają one bardzo dobrze tylko skrajne stopnie barw szarych t. zn. barwę białą i czarną. U żółwi stwierdziliśny również bardzo słabą zdolność odróżniania stopni jasności, która chociaż może nieco wyższa niż u jaszczurek — nie dorównuje zdolności tej u człowieka. Podobieństwo to może znaleźć wytłumaczenie w analogicznej budowie histologicznej siatkówki. U dziennych przedstawicieli obu grup gadów stwierdzono mianowicie istnienie wyłącznie elementów czopkowych.

Sprawa ta łączy się ściśle z teorią, przyznającą poszczególным elementom siatkówki rozmaity rolę. Zdaniem jej zwolenników czopki byłyby elementami wrażliwemi na barwy pstre, zaś pręcikom przypadałaby rola odróżniania różnic jasności. (B u d d e n b r o c k 1924). Stwierdzona przez nas wysoko rozwinięta zdolność jakościowego rozróżniania barw stałaby z tą teorią w zupełnej zgodzie, wobec tego, że żółwie posiadają elementy czopkowe. Kwestja rozróżniania stopni szarości wymaga w naszym przypadku osobnego wyjaśnienia. Doświadczenia nasze stwierdziły mianowicie, że jakkolwiek zdolność odróżniania stopni szarości jest u żółwi stosunkowo słabo rozwinięta, niemniej jednak istnieje bezsprzecznie i właśnie ona umożliwia tresurę tych żółwi na dostatecznie odległe od siebie stopnie jasności. .Pouieważ w oku żółwi brak elementów pręcikowych, którym przypisuje się tę zdolność, przeto nasuwa się przypuszczenie, że należy ją warunkować obecnością czopków. Mielibyśmy w takim razie do czynienia z faktem, że te elementy siatkówki są u żółwi tylko częściowo zróżnicowane. Czopki byłyby naczulone specjalnie (aczkolwiek nie wyłącznie), na barwy, oprócz tego jednak posiadałyby w pewnym stopniu zdolność percepowania różnic w jasności. Czy nie mamy

tu przypadkiem do czynienia ze zróżnicowaniem fizjologicznem tych jedynych elementów histologicznych, jakie zawiera siatkówka żółwi, nie da się naturalnie na razie rozstrzygnąć. Pewne światło mogłoby rzucić na te stosunki badania nad zdolnością przystosowania do różnych intensywności światła u żółwi i nad zmianami, jakie w związku z niem mogłyby zachodzić w sprawności odróżniania barw.

Skolei możemy przejść do uwag, dotyczących świata kształtów u żółwi. Doświadczenia nasze stwierdziły u nich wysoko rozwiniętą zdolność rozeznawania kształtów. Świadczy ona równocześnie o znacznej bystrości ich wzroku. Wystarczy przypomnieć doświadczenia nad odróżnianiem dwunastoboku od koła, z których wynika jasno, że musi być ona pokaźna, skoro żółw potrafił rozróżnić obie te figury. Również spostrzeżenia, zebrane przez nas w ciągu doświadczeń, zdają się na to wskazywać. Zauważyliśmy mianowicie wielokrotnie, że żółwie rozróżniały dwie figury geometryczne o boku, względnie średnicy 2 cm jeszcze z odległości 40—50 cm, a więc największej, na jaką pozwalały rozmiary akwarjum. Prawdopodobnie odległość ta nie stanowi jeszcze maksymalnej granicy, w obrębie której żółwie są w stanie rozróżniać figury tej wielkości. Bliższy wgląd w istotny stan rzeczy, jak również rozwiązanie zagadnienia, jaką jest bystrość wzroku żółwi przy patrzeniu nad i pod powierzchnią wody, zależą i tutaj jedynie od dalszych specjalnych doświadczeń.

Powracając do sprawy zdolności odróżniania kształtów, musimy podkreślić, że żółwie rozróżniały figury geometryczne i litery na podstawie czysto postaciowego momentu (*Gestalt*differenz niemieckich autorów). Według zasady t. zw. psychologii postaci K ö h l e r a - W e r t h e i m e r a (K ö h l e r 1920, W e r t h e i m e r 1921, D e x l e r 1922, D e m b o w s k i 1933, R u s s e l l 1934), źródła dotyczących wrażeń nie należałoby doszukiwać się wyłącznie w samym narządzie zmysłowym, ale we wzajemnem przyporządkowaniu, w koordynacji aparatu zmysłowego i centralnego systemu nerwowego. Obraz figury odebrany przez oko otrzymuje w czasie aktu postrzegania pewne swoiste znaczenia w ośrodkach świadomości, staje się dla percepującego zwierzęcia »postacią«. Organizm uświadamia sobie go jako pewną całość, znaczącą i tworzącą coś więcej, aniżeli prosta suma poszczególnych postaciowych składników. W naszym przypadku żółw dostrzega różnice występujące

między figurami na podstawie cech ogólnych, jakie przedstawiają mu one jako scalone postaci, nie analizując szczegółów takich jak ilość boków, ich długość i t. p. Odróżnia on postać, która ma dla niego znaczenie rzeczy, zdatnej na pokarm.

Dzięki tej zasadzie możemy wyjaśnić w prosty sposób także sprawę ujmowania stosunków podobieństw i różnic, jakie dla oka żółwi zachodzą pomiędzy poszczególnymi figurami. Jak stwierdziliśmy, stosunki te odpowiadają swym porządkom w zupełności tym, jakie istnieją dla człowieka. Ujmowanie stosunków podobieństwa przez niektóre zwierzęta skłoniło Szymańskiego (1920) do przypisywania im zdolności do działań inteligentnych i pewnej pozaludzkiej świadomości («außermenschliches Bewußtsein»). Na tle psychologicznej teorii postaci zjawiska te wytłumaczyłyby się znacznie prościej; dokonywałyby się one na drodze koordynacji między polem zmysłowym (Sinnesfeld.) z jednej, a płaszczyzną nerwową (nervöse Fläche) z drugiej strony. Zwierzęta ujmowałyby podobieństwa i różnice w całościach, tak jak się im one przedstawiają przy percepcowaniu specyficznych kształtów, bez poddawania ich bliższej analizie. Jednak w rozważaniu stosunków tych natury teoretycznej wchodzić tu bliżej nie będziemy.

Oprócz zdolności odróżniania kształtów wykazały doświadczenia nasze dla żółwi także zdolność rozróżniania położenia i wielkości figur. W świecie wrażeń wzrokowych żółwi musimy tedy i tym momentom percepcji przyznać pewną rolę. Opierając się na danych, otrzymanych w tej kwestji dla innych grup zwierzęcych możemy przypuszczać, że przy rozróżnianiu wielkości kierują się żółwie wartością względną figur t. zn., że raz wytre-sowane np. na figurę większą, przy następnych próbach wybierają stale tę, której wymiary są większe w stosunku do figury dodatkowej, niezależnie od jej wielkości bezwzględnej. Ale i tu przypuszczenie to wymaga doświadczalnego sprawdzenia. W odniesieniu do rozmaitego położenia danej litery żółwie kierować się mogą kilkoma czynnikami. Momentem różnicowym przy literze L może być po pierwsze położenie przestrzenne beleczki poziomej w stosunku do pionowej. Wchodzi tutaj w grę umieszczenie jej na dole lub w górze znaku jako całości; natomiast kierunek jej przebiegu na prawo lub na lewo od głównego pnia pionowego wydaje się nie mieć u żółwi żadnego znaczenia, a raczej uchodzi ich uwadze. Oprócz położenia w przestrzeni drugim mo-

mentem różnicowym jest tutaj wzajemny stosunek długości obu ramion znaku do siebie.

Jeżeli wyniki naszych doświadczeń nad zdolnością rozróżniania kształtów u żółwi porównany z wynikami uzyskanymi dla innych zwierząt kręgowych, np. ryb i płazów (albowiem nad innymi grupami gadów doświadczeń tych brak), to przekonamy się, że w ogólnych zarysach są one wszystkie z sobą zgodne. Jedyną wyraźniejszą różnicę w reakcjach żółwi w porównaniu z rybami stanowiłby fakt, że żółwie nie są w stanie odróżniać figur niesymetrycznych od ich odbicia w zwierciadle. Nie jest jednak wykluczone, że mamy tu do czynienia ze swoistym sposobem reagowania pewnych gatunków lub tylko osobników.

Na podstawie doświadczeń zarówno nad światem barw jak światem kształtów, możemy przyjąć dla żółwi, że najłatwiej uchwytnie różnice przedstawiają dla nich barwy pstre. Do tego przypuszczenia uprawnia nas fakt, że w przypadku gdy po ukończeniu tresury miały żółwie do odróżnienia od siebie dwie różne barwy (ryc. 1), nie okazywały prawie żadnych reakcyj błędnych. Że barwy szare przedstawiają dla nich w znacznie słabszym stopniu kryterjum rozpoznawcze podkreśliliśmy na innym miejscu. Na podstawie podobnych zestawień statystycznych (w odsetkach) z doświadczeń, w których żółwie miały rozróżniać figury jednobarwne, możemy przypuszczać, że najistotniejsze różnice przedstawiają dla nich kształty figur, a dopiero na dalszem miejscu wchodzi w rachubę ich położenie wreszcie ich wielkość. Ścisłejsze ujęcie tych stosunków wymaga jednak, jak rzekliśmy wyżej, dalszych doświadczeń.

Zbierając na zakończenie krótko nasze wyniki, możemy przypomnieć, iż w stosunku do innych grup kręgowców i człowieka wykazują żółwie wyraźne różnice tylko w zmyśle barw. W zdolności rozróżniania kształtów, wielkości i położenia istotnych różnic wykazać niepodobna. Odrębność swego świata barw zawdzięczają żółwie bezwątpienia obecności w oku barwnych kulek tłuszczowych.

Streszczenie wyników.

1. Żółwie dadzą się tresować bardzo dobrze na barwy i kształty. Tresura polega na przyswojeniu sobie przez żółwia pewnej określonej barwy lub kształtu jako sygnału wabiącego.

2. Przy użyciu barwnych papierów powiodła się tresura na pięć barw zasadniczych: czerwoną, żółtą, zieloną, niebieską i fioletową. Szereg ten nie wyczerpuje wszystkich barwików na które tresura byłaby możliwa.

3. Żółwie odróżniają barwy jakościowo od siebie i od stopni szarości.

4. Można je tresować na określoną jasność, zarówno szaro zabarwionych papierów, jak i światła przepuszczone przez filtry.

5. Zdolność odróżniania stopni szarości jest u żółwi rozwinięta znacznie słabiej, aniżeli zdolność rozróżniania barw. Są one w stanie odróżniać tylko bardzo oddalone od siebie stopnie szarości, leżące między barwą czysto białą i zupełnie czarną.

6. W obrębie barw widmowych udaje się tresura na dwaście kolorów. Jest rzeczą prawdopodobną, że powiodłaby się ona na jeszcze liczniejsze inne odcienie.

7. Granice widzialności barw w obrębie widma pokrywają się mniej więcej z zakresem ich widzialności u człowieka. Żółwie widzą barwy, zawarte pomiędzy długością fali 760 $\mu\mu$ i 401 $\mu\mu$.

8. Największą czułość na odcienie okazują żółwie w obrębie barwy pomarańczowej przy 634 $\mu\mu$. Dalsze, słabsze *maxima* na polu barwy zielono-niebieskiej przy 504 $\mu\mu$ i w fiolecie.

9. Stwierdzono dla żółwi trzy główne klasy jakościowe barw, które przypadają na pola w barwie pomarańczowej, zielonej i fioletowej, a oddzielone są od siebie barwą żółto-zieloną i niebieską. W związku z tem, że w stosunku do zmysłu barw u człowieka, *maximum* wrażliwości na różnice między barwami przesunięte jest u żółwi z barwy żółtej ku pomarańczowej, barwy żółta i żółto-zielona należą — perceptywnie — do grupy pomarańczowej. Barwa czerwona oddziela się od tej klasy i zbliża się do klasy fioletowej.

10. W porównaniu z rybami odznacza żółwie wzmoczona wrażliwość na różnice w dziedzinie barw czerwonych. W okolicy barwy zielonej, a szczególnie niebieskiej, zdolność odróżniania jest bardzo słaba, w strefie fioletowej znów nieco wyższa.

11. U żółwi można wykazać podobieństwo między najskrajniejszymi barwami krótko- i długofalowymi, a więc istnienie zamkniętego kręgu barw.

12. Żółwie odróżniają jednobarwne figury geometryczne lub głoski na podstawie ich kształtów.

13. Poszczególne figury geometryczne przedstawiają dla żółwi, jak i dla nas, rozmaity stopień podobieństw i różnic. Uszeregowane stopnie wzajemnego ich podobieństwa dla żółwi odpowiadają w zupełności szeregowi podobieństw, jakie figury te przedstawiają dla człowieka.

14. Żółwie są w stanie odróżnić figury jednobarwne na podstawie różnic w ich położeniu przestrzennem lub wielkości.

15. Przy dłuższem wykonywaniu doświadczeń z dwiema figurami, występuje u nich po pewnym czasie skojarzenie wtórne figury negatywnej z pokarmem, które przygłusza skojarzenie pierwotne i zmienia tę figurę na figurę tresurową, tresurową zaś na negatywną. Po pewnym czasie skojarzenie to znika.

16. W sposobie reagowania zwierząt dadzą się wykazać różnice osobnikowe, co świadczy o wyższym stopniu ich zróżnicowania psychicznego wogóle.

Wykaz literatury.

Buddenbrock W.: Grundriß der vergleichenden Physiologie. Berlin 1928.

Dembowski J.: Zasada postaci 1933 (dodatkowy rozdział w tłumaczeniu książki: Buddenbrock W.: Świat zmysłów. Warszawa 1933.

Dexler H.: Das Köhler-Wertheimersche Gestaltungsprinzip und die moderne Tierpsychologie. Lotos. 69, 1922.

Friedlaender M.: Zur Bedeutung des Fluglochs im optischen Feld der Biene bei senkrechter Dressuranordnung. Z. vergl. Physiol. 15, 1931.

Frisch K.: Farbensinn und Formensinn der Biene. Zool. Jb. Abt. Physiol. 35. Jena 1914.

— Farbensinn der Fische und Duplizitätstheorie. Z. vergl. Physiol. 2, 1925.

Hamburger V.: Versuche über Komplementärfarben bei Ellritzen. Z. vergl. Physiol. 4, 1926.

Henke K.: Die Lichtorientierung und die Bedingungen der Lichtstimmung bei der Rollassel *Armadillidium cinereum* Zenker. Z. vergl. Physiol. 13, 1930.

Henning H.: Optische Versuche an Vögeln und Schildkröten über die Bedeutung der roten Ölkugeln im Auge. Pflügers Arch. 178, 1920.

Herter K.: Dressurversuche an Fischen. Z. vergl. Physiol. 10, 1929.

Hess C.: Untersuchungen über den Lichtsinn bei Reptilien und Amphibien. Pflügers Arch. 132, 1910.

— Gesichtssinn. Wintersteins Handbuch der vergleichenden Physiologie. 4, 1913.

Honigmann H.: Zur Biologie der Schildkröten. Biol. Zbl. 41, 1921.

- Honigmann H.: Untersuchungen über Lichtempfindlichkeit und Adaptierung des Vogelauges. Pflügers Arch. 189, 1921.
- Johnson G. L.: Contributions to the comparative anatomy of the reptilian and amphibian eye, chiefly based on ophthalmological examination. Philos. Tr. R. Soc. London. (B). 215, 1927.
- Köhler W.: Die physischen Gestalten in Ruhe und im stationären Zustand. Braunschweig 1920.
- Psychologische Probleme. Berlin 1933.
- Kühn A.: Farbensinn der Tiere. Tabulae biol. 4, 1927.
- Farbensinn der Bienen. Z. vergl. Physiol. 5, 1927.
- Farbenunterscheidungsvermögen der Tiere. Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie. 12, 1, Berlin 1929.
- Kühn A. u. Pohl R.: Dressurfähigkeit der Bienen auf Spektrallinien. Naturwiss. 1921.
- Laurens H.: Studies on the relative physiological value of spektral lights. III. The pupillomotor effects of wave-lengths of equal energy content. Amer. J. Physiol. 64, 1923.
- Laurens H. u. Hamilton W. F.: The sensibility of the eye to differences in wave-lengths. Amer. J. Physiol. 65, 1923.
- Menner E.: Untersuchungen über die Retina, mit besonderer Berücksichtigung der äußeren Körnerschicht. Ein Beitrag zur Duplizitätstheorie. Z. vergl. Physiol. 8, 1929.
- Minkiewicz R.: Doświadczenia wzrokowe płazów. I. Wstęp ogólny. Prace Inst. im. Nenckiego. 4, 1927.
- Pache J.: Formensehen bei Fröschen. Z. vergl. Physiol. 17, 1932.
- Papierbuch L.: Zmysł i pamięć kierunków przedmiotu u żab. Różnicowanie i uogólnianie nałogu. Formy wygaszania i ich skutki. Zaburzenia. Wyzwalanie i hamowanie reakcyj nabytych. (Doświadczenie wzrokowe płazów. Cz. IV). Acta Biol. Exper. 2, 1928.
- Pawłow J. P.: Die höchste Nerventätigkeit (das Verhalten) von Tieren. München 1926.
- Razwiłowska S.: Zmysł i pamięć przedmiotu u żab. Typy reagowania osobnicze. Współbytność kilku procesów skojarzeniowych niezależnych od siebie. (Doświadczenia wzrokowe płazów. Cz. III). Prace Inst. im. Nenckiego. 4, 1927.
- Révész G.: Tierpsychologische Untersuchungen (Versuche an Hühnern). Z. Psychol. 87, 1921.
- Roaf H. E.: The influence of coloured lights on the sensitivity of the eye to various regions of the spectrum. A study in relation to the theories of colour vision. Quart. J. exp. Physiol. 18, 1927.
- Rochon-Duvigneaud A.: La vision et l'oeil des oiseaux. Bull. biol. de la France et Belgique. 54, 1920.
- Russell E. S.: The behaviour of animals. London 1934.
- Schiemenz E.: Über den Farbensinn der Fische. Z. vergl. Physiol. 1, 1924.
- Szymański J. S.: Ein Versuch über die Disposition der Tiere zum Erfassen der Ähnlichkeitsbeziehungen. Z. angew. Psychol. 17, 1920.

Trendelenburg W. u. Schmidt J.: Untersuchungen über das Farbensystem der Affen. (Spektrale Unterschiedsempfindlichkeit und spektrale Farbenmischung bei Helladaptation). Z. vergl. Physiol. 12, 1930.

Uexküll J.: Umwelt und Innenwelt der Tiere. Berlin 1921.

— Theoretische Biologie. Berlin 1928.

Uexküll J. u. Krischat G.: Streifzüge durch die Umwelten von Tieren und Menschen. Berlin 1934.

Wagner H.: Über den Farbensinn der Eidechsen. Z. vergl. Physiol. 18, 1933.

Werner F.: Kriechtiere, w: Brehms Tierleben, Lurche-Kriechtiere. Leipzig—Wien 1912.

Wertheimer W.: Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt. Psychol. Forschung. 1, 4, 1921, 1923.

Wolff H.: Farbenunterscheidungsvermögen der Ellritze. Z. vergl. Physiol. 3, 1925.

Wojtusiak R. J.: Über den Farbensinn der Schildkröten. Z. vergl. Physiol. 18, 1933.



Klische diagramów na str. 33—51, ogłoszonych w Biuletynie P. A. Um. Wydz. matematyczno-przyrodniczy z r. 1934, stanowią własność Polskiej Akademji Umiejętności, która zezwoliła na skorzystanie z nich w ogłoszeniu niniejszej pracy w Roczniku Wydziału filozoficznego U. J.

SPIS RZECZY.

	Str.
1. L. Stankiewiczówna: Wyznaczenie orbit planetoid 1262 (Snia-deckia) i 1263 (Varsavia)	1
2. Tauba Becherówna: Grabbes Hohenstaufen-Dramen in ihrem Verhältnis zur Geschichte	32
3. R. J. Wojtusiak: Świat wrażeń wzrokowych u żółwi	57
