

**Wróblewski, Witold / Bieganowski,
Lech / Bielski, Andrzej**

**Mechanizm powstawania obrazu w oku
i wiedzenie obuoczne w Księdze III
Perspektywy Witelona**

Kwartalnik Historii Nauki i Techniki 31/2, 315-334

1986

Artykuł umieszczony jest w kolekcji cyfrowej Bazhum, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych tworzonej przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego.

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie ze środków specjalnych MNiSW dzięki Wydziałowi Historycznemu Uniwersytetu Warszawskiego.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.



Andrzej Bielski, Lech Bieganowski, Witold Wróblewski
(Toruń)

MECHANIZM POWSTAWANIA OBRAZU W OKU I WIDZENIE OBUOCZNE W KSIĘDZE III PERSPEKTYWY WITELONA

Wśród 10 ksiąg traktatu Witelona *Perspektywa*, poświęconego optyce, księga III zajmuje w pewnym sensie miejsce szczególne, gdyż obok zagadnień fizycznych, przedstawianych w księgach od II do X, omawia budowę oka, a dokładniej mówiąc opisuje model geometryczny oka, warunki, jakie muszą być spełnione, aby mogło zajść widzenie, mechanizm powstawania obrazu w oku, widzenie obuoczne oraz niektóre aspekty psychologii i fizjologii widzenia. W niniejszej pracy przedstawimy zagadnienie mechanizmu powstawania obrazu w oku i widzenie obuoczne oraz nakreślimy warunki, jakie, zdaniem Witelona, muszą być spełnione, aby mógł nastąpić sam akt widzenia. Zagadnieniom tym autor *Perspektywy* poświęcił aż 32 spośród 73 twierdzeń całej III księgi. Wprawdzie treść tej księgi była już wielokrotnie wzmiankowana¹, ale interesująca nas problematyka nie doczekała się dotąd wyczerpującego

¹ J. Bystrzycki: *O wzroście nauk fizycznych w Polsce*. „Roczniki Towarzystwa Królewskiego Warszawskiego Przyjaciół Nauk” t. 12 (1818) s. 185; L. Gąsiorowski: *Zbiór wiadomości do historii sztuki lekarskiej w Polsce*. Poznań 1839 s. 54—56; M. Wiszniewski: *Historia literatury polskiej*. Kraków 1840 t. 1 s. 450—459; *Historia nauk przyrodzonych podług ustnego wykładu Jerzego Kiuwiera (Couvier) ułożona i uzupełniona przez p. Madelen de St. Azn. Na język polski przełożyli i dodatkami do piśmiennictwa polskiego odnoszącymi się wzbogacili Gustaw Belke i Aleksander Kremer*, Wilno 1854 t. 2, s. 40; L. Wituski: *O życiu i dziele optycznym Vitelliona*. Poznań 1870 s. 46—47; Szokalski: *Stanowisko naukowe Ciotka (Vitelliona) w średniowiecznej optyce*. „Ateneum” t. 4 (1877) s. 559—561; S. Koźmiński: *Słownik lekarzów polskich*. Warszawa 1888 s. 73; A. Birkenmajer: *Witelo najdawniejszy śląski uczoney*. Katowice 1936 s. 21—28; P. Czartoryski: *Średniowiecze*. W: *Historia nauki polskiej*. T. 1 Wrocław 1970 s. 87—94.

omówienia. Nieco więcej uwagi poświęcili jej Szokalski², Melanowski³ i Burchardt⁴. Próba Burchardta nie wyjaśnia również do końca tego problemu, a ponadto popełnia on także błędy poprzedników, którzy swoje rozważania opierali na pewnych wybranych fragmentach tekstu księgi III, nie uwzględniając wszystkich przekazanych przez Witelona informacji na interesujące nas tematy.

Zrozumienie wywodów Witelona, odnoszących się do procesu widzenia, wymaga jednak znajomości budowy oka. Z tego też powodu na rys. 1 przedstawiono schemat modelu oka, jaki znajdujemy w rękopisach⁵, który jest zgodny z tekstem wydania Tanstettera-Apiana witelońskiej *Perspektywy* (na rysunku zamieszczonym w tym wydaniu są inne oznaczenia literowe niż w tekście). Rysunki oka zamieszczone w rękopisach i wydaniu Tanstettera-Apiana różnią się między sobą jedynie nieistotnymi szczegółami. Rysunek oka zamieszczony w wydaniu F. Risnera z 1572 r. jest zaczerpnięty przez wydawcę z dzieła Wesaliusza. Rysunek ten jest mało zrozumiały dla dzisiejszego czytelnika, gdyż został narysowany w nieco odmiennej konwencji niż stosowana współcześnie. Dla łatwiejszego poznania miejsc niejasnych postanowiliśmy przedstawić przekrój modelu oka, jaki otrzymaliśmy na podstawie analizy twierdzeń 3, 4, 7—12 i 21—26 księgi III *Perspektywy*, narysowany w sposób obecnie przyjęty. Przekrój ten przedstawia rys. 2.

Powstawanie obrazu w oku, czyli spełnienie się aktu widzenia zostało uzależnione przez Witelona od spełnienia pewnych warunków, które przedstawia już od pierwszych zdań księgi III. W postulacie 2 stwierdza: „Tylko dwie [rzeczy]⁶, a mianowicie światło i barwa, są widzialne same przez się...”⁷. Z tego założenia w twierdzeniu 1 wyciąga wniosek, iż

² W. Szokalski: *Wykład chorób przyrzędu wzrokowego u człowieka*. Warszawa 1869 t. 1 s. XII—XIX.

³ W. Melanowski: *Dzieje okulistyki*. Warszawa 1972 s. 64—70.

⁴ J. Burchardt: *Proces widzenia w ujęciu Witelona*. „Klinika Oczna” t. 86 1984 s. 505—506.

⁵ Oxford Bodleian Library, MS. Ashmolean 424; Bern, Burgerbibliothek, MS 61; Paris, Bibliothèque National, MS Fonds Latin 14739.

⁶ Nawiasem [] oznaczono wyrazy dodane przez nas do tekstu oryginału.

⁷ Przekładu III księgi dzieła Witelona dokonał po raz pierwszy Jerzy Burchardt na zlecenie Wrocławskiego Towarzystwa Naukowego w latach 60-tych. Przykład ten stał się podstawą dla filologiczno-fizycznego i medycznego opracowania wersji polskiej III księgi *Perspektywy* — dokonanego przez autorów artykułu, które znajduje się w maszynopisie w Zakładzie Badań Kopernikańskich Instytutu Historii Nauki, Oświaty i Techniki PAN. Z tego maszynopisu pochodzą wszystkie cytaty w języku polskim. Niniejsze opracowanie zostało dokonane na podstawie tekstu dzieła Witelona wydanego przez F. Risnera: *Opticae Thesaurus Alhazeni Arabis..... item Vitellonis..... a Federico Risnero*. Basileae 1572 i zamieszczonego w reпринcie tej edycji, przygotowanym wraz ze wstępem przez Davida C. Lindberga, New York — London 1972. Do tego wydania odsyłamy czytelnika (dalej cyt.: *Vit. Persp.* wraz z numerem odpowiedniej strony), s. 84.

Po tych uwagach wstępnych, w których wykłada założenia, jakie warunkują widzenie, przystępuje Witelo do przedstawienia swojej teorii widzenia. W twierdzeniu 5 polemizuje ze zwolennikami poglądu, którzy przyjmują, że widzenie zachodzi dzięki promieniom wysyłanym z oczu i dowodzi, że akt widzenia dokonuje się dzięki dochodzeniu promieni świetlnych od przedmiotu oglądanego do oka. Dzieje się tak w wyniku rozprzestrzeniania się form¹⁰. Teorię tę przyjął Witelo prawdopodobnie od Alhazena¹¹ i, zdaniem Burchardta¹², rozpowszechnił ją w średniowiecznej Europie. Działanie formy widzialnej na wzrok przedstawia Witelo w następujących słowach: „To działanie i doznawanie działania odbywa się na sposób innych oddziaływań naturalnych, ponieważ całe ciało oddziaływujące oddziałuje na każdy punkt ciała poddanego działaniu, także [na punkt] niepodzielny i całe ciało podlegające działaniu, doznaje oddziaływania od każdego punktu ciała działającego”¹³. W dalszych swoich rozważaniach Witelo twierdzi, że oko dostrzega przedmioty widzialne tylko wówczas, gdy istnieje pomiędzy nim i okiem jakiś ośrodek przezroczysty, a ponadto oglądany przedmiot musi znajdować się w pewnej odległości od oka (tw. 13 i 15). Dodaje również, że warunkiem widzenia jest konieczność istnienia różnicy przezroczystości mię-

¹⁰ Wyraz „forma” używane przez nas zarówno w artykule jak i w przekładzie odpowiada łacińskiemu rzeczownikowi „forma” występującemu w trakcie Witelona. Zrozumienie jednak jego istoty nasuwa pewne trudności. Uważa się, że wyraz „forma” służy do oznaczania siły czy energii, która wychodząc z jakiegoś przedmiotu oddziałuje na drugi przedmiot. Twórcą tej teorii był Robert Grosseteste, który przedstawił ją w traktacie *De multiplicatione specierum*. Witelo przejął ją od niego podobnie jak i inni wielcy optycy XVIII wieku, Roger Bacon i Peckham. Zamiast wyrazu „species” Witelo wprowadził jednak określenie „forma” pod wpływem Alhazena, jak twierdzi A. Birkenmajer; *Witelo, najdawniejszy śląski uczony*. Katowice 1936 s. 21. Według A. Crombiego: *Nauka średniowieczna i początki nauki nowożytnej*. Warszawa 1960, tłum. S. Łypacewicz, t. 1 s. 125, Grosseteste odnosił tę teorię do całej rzeczywistości, ale objaśniał ją na przykładzie światła, gdyż uważał je za pierwszą formę cielesną i uważał światło za zjawisko najłatwiejsze do zaobserwowania. Grosseteste wyobrażał sobie, że owe „species” (kształty, wizerunki) „uwielokrotniają się” (multiplicatio). Tłumacz Crombiego przekłada to łacińskie słowo przez „rozpromieniowywanie się” A. Birkenmajer: dz. cyt. s. 20 nazywa także species „dynamicznym ukształtowaniem agensu w środowisku”.

¹¹ D. C. Lindberg: *Theories of vision from Al-Kindi to Kepler*, Chicago 1976.

¹² J. Burchardt: dz. cyt. s. 506.

¹³ *Vit. Persp.*, s. 88. Przedstawione przez Witelona ujęcie oddziaływania (nazywanego oddziaływaniem naturalnym, tzn. występującym w przyrodzie) jest, z punktu widzenia dzisiejszej wiedzy, w dużej mierze prawdziwe. Prawdą jest, że każdy punkt jednego ciała działa na każdy punkt ciała drugiego. Nieprawdą zaś jest rozdzielanie ciał na ciała działające i ciała poddane działaniu innych ciał. Zgodnie bowiem z III zasadą dynamiki Newtona (sformułowaną w XVII w.) nie ma ciał działających i ciał poddanych działaniu, ale jest jedynie wzajemne działanie ciał na siebie.

dzy oglądanym przedmiotem a ośrodkiem, w którym on się znajduje. Taki wniosek wynika ze słów Witelona: „Widzenie nie zachodzi, jeżeli ciało widzialne ma taką samą przezroczystość jak ośrodek” (tw. 14)¹⁴. Stąd wynika, że ciało widoczne jest tylko wtedy, gdy ma inną przezroczystość niż otaczający je ośrodek. Na podstawie tego stwierdzenia można przypuszczać, że chodzi o odbicie światła od powierzchni rozgraniczającej ciało przezroczyste i otaczający je przezroczysty ośrodek. Taka interpretacja słów Witelona jest zgodna z wnioskami, wynikającymi ze wzorów Fresnela¹⁵ (opublikowanych w 1823 r.), według których odbicie światła od powierzchni rozgraniczającej dwa dowolne ciała przezroczyste występuje wówczas, kiedy współczynniki załamania tych ciał są różne, tj. kiedy na powierzchni rozgraniczającej te ciała zachodzi zjawisko załamania światła. Zjawisko załamania światła szerzej opisał Witelo w twierdzeniach II, 42 — II, 47. W ostatnim z tych twierdzeń dochodzi do następującej konkluzji: „Jeżeli promień prostopadły przenika przez każde ciało przezroczyste, [to nie załamuje się]; promień padający ukośnie załamuje się w drugim gęstszym ośrodku przezroczystym do prostopadłej, poprowadzonej z punktu padania do powierzchni drugiego [ośrodka] przezroczystego; w drugim rzadszym ośrodku przezroczystym załamuje się od niej”¹⁶. Jak wynika z przytoczonego cytatu, a także z twierdzeń II, 42 — II, 46, Witelo wiąże załamanie światła na granicy dwóch ciał z ich gęstością. W czasach Witelona nie znano jednak pojęcia gęstości optycznej danego ciała, scharakteryzowanej jego współczynnikiem załamania; z cytowanego tekstu można jednak przypuszczać, że pojęcie to wyczuwano intuicyjnie. Ciało gęstsze w terminologii Witelona jest ciałem optycznie gęstszym, czyli ma większy współczynnik załamania. W twierdzeniu II, 47 Witelo tłumaczy zjawisko załamania światła jako wynik oporu stawianego przez ciało przezroczyste przechodzącemu przez nie światłu, co tak formuluje: „Każde światło przechodząc przez ciało przezroczyste, przechodzi ruchem najszybszym i niedostrzegalnym zmysłami, jednakże tak, że przez bardziej przezroczyste ruch ten jest szybszy niż przez mniej przezroczyste. Każde ciało przezroczyste stawia bo-

¹⁴ *Vit. Persp.*, s. 91. Za ciało przezroczyste uważa Witelo, zgodnie z definicją II, 2, każde ciało, przez które przechodzi światło.

¹⁵ A. J. Fresnel 1788—1827, fizyk i inżynier francuski. O wzorach Fresnela patrz np. M. Grotowski: *Optyka*. Łódź 1954, rozdz. IX.

¹⁶ *Vit. Persp.*, s. 81. Załamanie zachodzi na powierzchni rozgraniczającej dwa ośrodki, a nie w drugim ośrodku. Witelo często używa zwrotu: „w drugim ośrodku”. W przedostatnim zdaniu tw. II, 43 pisze „... załamanie tego światła odbywa się u powierzchni wody” (*Vit. Persp.*, s. 78), a w tw. II, 45 czytamy: „... załamują się zatem na kulistej powierzchni (podkr. nasze) szkła...” (*Vit. Persp.*, s. 81). W tw. II, 46 Witelo pisze: „... Tę powierzchnię nazywamy powierzchnią załamania” (*Vit. Persp.*, s. 81). Jak widać z przytoczonych cytatów, Witelo zdawał sobie sprawę, że załamanie zachodzi na powierzchni rozgraniczającej dwa ośrodki. Zwrot „załamanie w drugim ośrodku” jest zapewne niezbyt trafnym wyrażeniem.

wiem przenikaniu światła mniejszy lub większy opór i w zależności od tego jest mniej lub bardziej przezroczyste. Gęstość ciała zawsze stawia opór przenikaniu światła. Gdy światło zatem przejdzie ukośnie przez jakieś ciało przezroczyste i napotyka inne gęstsze ciało przezroczyste, wtedy ciało gęstsze stawia większy opór światłu niż owo ciało rzadsze. Ruch światła zatem musi ulec zmianie ze względu na opór tego gęstszego ciała”¹⁷. Z przytoczonego tekstu wynika, że, zdaniem Witelona, ciała gęstsze są mniej przezroczyste, a ciała rzadsze są bardziej przezroczyste. Na podstawie definicji II, 2 i przytoczonych cytatach wydaje się, że pojęcie przezroczystości i gęstości (w sensie gęstości optycznej) jest używane przez autora *Perspektywy* wymiennie. Za taką interpretacją przemawia również treść szeregu twierdzeń księgi III¹⁸. Wyraźne potwierdzenie takiej interpretacji terminu przezroczystość znajdujemy zwłaszcza w twierdzeniu 17, gdzie czytamy: „...załamują się zgodnie z różnicą przezroczystości błony rogowej i przezroczystości powietrza...”¹⁹. Na podstawie tych rozważań można przyjąć, że pojęcie przezroczystości, choć używane przez Witelona wymiennie z pojęciem gęstości, jest jednak prawdopodobnie pojęciem szerszym. Należy zaznaczyć, że cytowane powyżej twierdzenie 14, choć sformułowane przez Witelona tylko jakościowo, przy niepełnej znajomości zjawiska odbicia i załamania światła, jest całkowicie poprawne w świetle dzisiejszego stanu wiedzy.

Po wyjaśnieniu problemów związanych z teorią widzenia Witelo omawia mechanizm powstawania obrazu w oku. Opiera się on na znany z codziennej obserwacji zjawisku powstawania obrazu oglądanego przedmiotu w wyniku odbicia światła od przedniej powierzchni rogówki, nazywanego obecnie I obrazem Purkiniego²⁰. W twierdzeniu 17 czyta-

¹⁷ *Vit. Persp.*, s. 82.

¹⁸ Np. twierdzenie 21, które Witelo formułuje: „Płyn szklisty musi mieć inną przezroczystość niż lodowy” (*Vit. Persp.*, s. 94); w twierdzeniu 22 czytamy: „A więc jak wynika z II, 45 i II, 47 jedno i drugie ciało jest bardziej przezroczyste od ciała kuli lodowej” (*Vit. Persp.*, s. 95).

¹⁹ *Vit. Persp.*, s. 92.

²⁰ Obrazkami Purkiniego (katoptrycznymi) nazywa się obrazy powstające w wyniku odbicia światła od ośrodków optycznych oka. I obrazek Purkiniego powstaje w wyniku odbicia światła od przedniej (wypukłej) powierzchni rogówki (jest to więc obraz w zwierciadle wypukłym). II obrazek powstaje wskutek odbicia światła od przedniej (wypukłej) powierzchni soczewki (jest to również obraz w zwierciadle wypukłym). III obrazek (trudny do zaobserwowania) powstaje w wyniku odbicia światła od tylnej (wkłęsłej) powierzchni soczewki (jest to obraz w zwierciadle wkłęsłym). Z optyki geometrycznej wynika, że I i II obrazek Purkiniego powstają za powierzchnią odbijającą i są to obrazy pozorne i pomniejszone, a III obrazek Purkiniego powstaje przed powierzchnią odbijającą i jest obrazem rzeczywistym, pomniejszonym i odwróconym. Najłatwiejszy do obserwacji jest I obrazek Purkiniego i niewątpliwie był on znany nie tylko Witelonowi ale i jego poprzednikom. Obserwacja II obrazka Purkiniego jest trudniejsza, gdyż obrazek ten jest widoczny znacznie słabiej. Zjawisko to zostało opisane przez J. E. Purkiniego

my, że „... każdy kształt widzialny układa się w ten sposób na powierzchni oka, jak jest ułożony na powierzchni rzeczy widzialnej...”²¹. Ten obraz jest następnie przenoszony na powierzchnię kuli lodowej²² (płynu lodowego). Warunkiem wyraźnego widzenia jest jednak, według autora *Perspektywy*, prostopadłe podanie promieni świetlnych na powierzchnię oka, jak o tym czytamy w tym samym twierdzeniu: „Wyraźne widzenie zachodzi tylko po liniach prostopadłych poprowadzonych od punktów rzeczy widzianej do powierzchni oka”²³. Uzasadnia to Witelo następująco. Na każdy punkt powierzchni widzenia działają, zgodnie z twierdzeniem 6, formy wszystkich punktów oglądanego przedmiotu. Jednak tylko jedna forma z jednego punktu oglądanego przedmiotu pada prostopadłe na dany punkt powierzchni widzenia. Formy z wszystkich pozostałych punktów oglądanego przedmiotu padają na ten punkt ukośnie. Ponieważ przednia powierzchnia kuli lodowej, odbierającej wrażenia zmysłowe, zgodnie z twierdzeniem 4 i 7, jest współśrodkowa z powierzchnią widzenia, a więc te same formy, które padają prostopadłe na powierzchnię widzenia, padają również prostopadłe na przednią powierzchnię kuli lodowej. Do danego punktu powierzchni kuli lodowej, oprócz formy padającej prostopadłe, mogą dochodzić również formy innych punktów oglądanego przedmiotu, które padają ukośnie. Gdyby kula lodowa odbierała wrażenia zmysłowe po liniach nieprostopadłych do jej powierzchni, to w danym punkcie pojawiłyby się formy i barwy pochodzące z różnych punktów oglądanego przedmiotu i nie mogłoby wówczas nastąpić rozróżnienie określonego punktu oglądanego przedmiotu. Jeżeli zaś kula lodowa będzie odbierała formy i barwy, rozprzestrzeniające się po liniach prostopadłych do swojej powierzchni, to każdemu jej punktowi będzie odpowiadał określony punkt powierzchni oglądanego przedmiotu. Kula lodowa musi zatem odbierać wyłącznie formy, rozprzestrzeniające się po liniach prostopadłych do jej powierzchni, ponieważ tylko te formy zapewniają wyraźne widzenie.

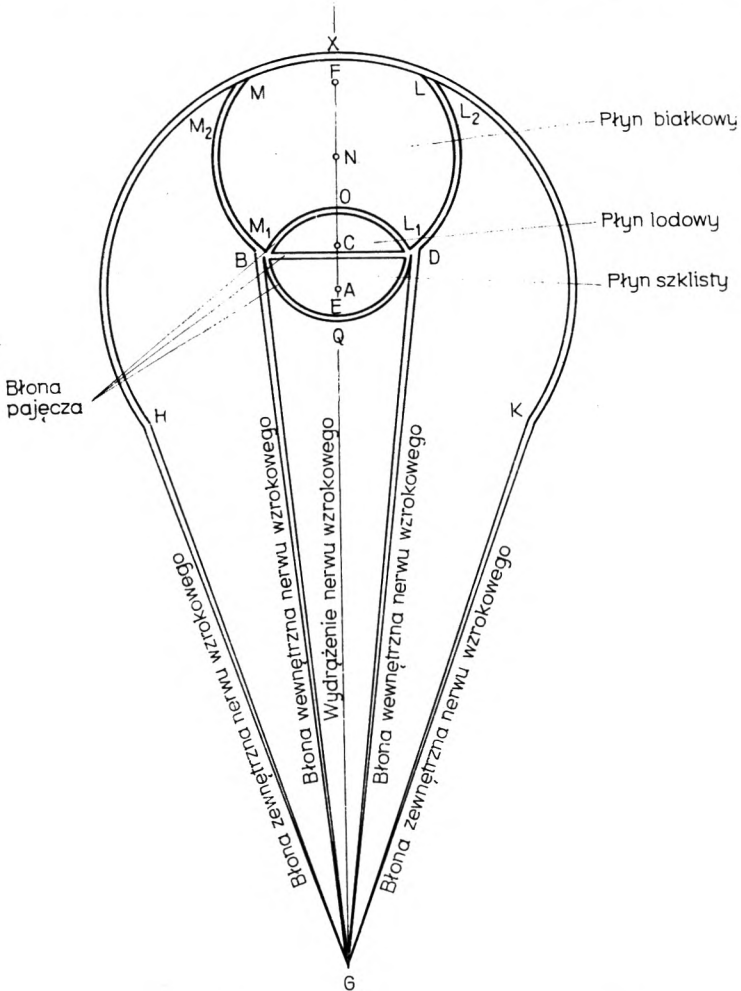
(1787—1869) w roku 1823 i Sansona (1790—1842) w roku 1837. Obserwatorowi *wy-daje się*, że obrazki Purkiniego powstają na powierzchniach odbijających, w rzeczywistości powstają one bardzo blisko tych powierzchni. O obrazkach Purkiniego patrz np. W. S. Duke-Elder: *Text Book of Ophthalmology*. London 1932 vol. 1 s. 724—727; I. Abramowicz: *Podręcznik okulistyki*. Warszawa 1950 s. 96; F. H. Adler: *Fizjologia oka*. Warszawa 1968 s. 289 i 290; H. Helmholtz: *Handbuch der Physiologischen Optik*. Leipzig 1867 s. 16, 105.

²¹ *Vit. Persp.*, s. 92. Wspomnianą w tekście powierzchnię oka należy utożsamiać z powierzchnią widzenia.

²² Jak wynika z twierdzenia 4 kula lodowa jest właściwym receptorem światła. Dlatego też Witelo zakłada, że na jej przedniej powierzchni musi również powstać obraz oglądanego przedmiotu. Wydaje się, że Witelo nie mógł znać II obrazka Purkiniego. Nie można więc identyfikować obrazu, o którym pisze Witelo z II obrazkiem Purkiniego.

²³ *Vit. Persp.*, s. 92.

Wszystkie linie, po których rozprzestrzeniają się formy, dające wyraźne widzenie, tworzą stożek, którego wierzchołkiem jest środek oka, a podstawą powierzchnia oglądanego przedmiotu. Linie tego stożka są prostopadłe do powierzchni widzenia (łuk MXL na rys. 2) i przedniej



Ryc. 2. Rekonstrukcja przekroju modelu oka. Oznaczenia literowe zgodne są z oznaczeniami na rys. 1; niektórych oznaczeń literowych, nie można było na tym rysunku zamieścić. Oznaczenia literowe ze wskaźnikami zostały wprowadzone przez nas. MM_1 i LL_1 — wewnętrzna powierzchnia błony winogronowej, mogąca wg. opisu Witelona odpowiadać tęczówce; M_2B i L_2D — zewnętrzna powierzchnia błony winogronowej; MXL — zewnętrzna powierzchnia rogówki, czyli powierzchnia widzenia

powierzchni kuli lodowej (łuk M_1OL_1 na rys. 2). Witelo nazywa te linie liniami promieniowymi, a ten stożek — stożkiem widzenia (tw. 27), natomiast jego oś — osią promieniową (tw. 18). Wewnątrz gałki ocznej

linie promieniowe pokrywają się z jej promieniami. Przedmiot, który znajduje się wewnątrz stożka widzenia, jest widzialny wyraźnie. W drugiej części twierdzenia 17 Witelo omawia przypadek widzenia, które nazywa niewyraźnym, i które zachodzi, np. gdy przedmiot znajduje się poza stożkiem widzenia. W wyniku dość niejasnych rozważań, które są próbą wyjaśnienia codziennych obserwacji, autor dochodzi do wniosku, że w pewnych przypadkach można widzieć przedmioty, których formy padają ukośnie na powierzchnię widzenia. Takie widzenie nazywa Witelo niewyraźnym, i jego zdaniem, odgrywa ono rolę pomocniczą w procesie widzenia.

Z istnienia stożka widzenia wyciąga w twierdzeniu 18 słuszny wniosek, że „... wszystko, co jest widziane, widać pod kątem”²⁴. Choć dzisiaj nie spotyka się określenia „stożek widzenia”, to jednak używany obecnie termin „kął widzenia”, jest z tamtym pojęciem prawie identyczny. W twierdzeniu 32 osie promieniowe, zdefiniowane w tw. 18, Witelo nazywa osiami stożków widzenia lub osiami widzenia (na rys. 5 jest to linia FCO).

W następnym twierdzeniu 19, Witelo zastanawia się, jakie muszą być rozmiary danego ciała w stosunku do powierzchni widzenia, aby można było je zobaczyć. Twierdzenie to przynosi szereg trafnych uwag dotyczących pojęcia zdolności rozdzielczej oka. Oczywiście brak jest danych ilościowych, lecz tok wywodu jest całkowicie poprawny.

W ujęciu Witelona forma rzeczy widzialnej, aby widzenie mogło być spełnione, musi dojść do nerwu wspólnego (tw. 20). Prawidłowe przechodzenie formy zapewniają jednak odpowiednia przezroczystość i kształt płynów i błon oka. Zdaniem Witelona, „płyn szklisty musi mieć inną przezroczystość niż lodowy”²⁵ (tw. 21). Dowodzi on, że gdyby ich przezroczystość (poprawnie: współczynnik załamania) była taka sama, to linie rozprzestrzeniania się form, dzięki którym zachodzi wyraźne widzenie, przecinałyby się w środku oka i nastąpiłoby odwrócenie obrazu, a więc do nerwu wspólnego dotarłby obraz odwrócony oglądanego przedmiotu. Witelo natomiast — podobnie jak i jego poprzednicy i następcy aż do Keplera i Kartezjusza²⁶ — sądził, że widzielibyśmy wówczas obraz odwrócony. A to byłoby sprzeczne z codzienną obserwacją i sformułowanym na jej podstawie postulatem 5, w którym stwierdza się, że „rzecz widzianą widać zgodnie z położeniem, kształtem i układem jej części”²⁷. Dla wyjaśnienia, dlaczego w oku nie zachodzi odwrócenie obrazu, Witelo przyjął, że na powierzchni rozgraniczającej płyn lodowy

²⁴ *Vit. Persp.*, s. 93.

²⁵ *Vit. Persp.*, s. 94.

²⁶ Obszerny przegląd tego zagadnienia znajdujemy w pracy: D. C. Lindberga; dz. cyt.

²⁷ *Vit. Persp.*, s. 84.

i szklisty musi zachodzić odpowiednie załamanie światła. O tym, jakie musi być to załamanie i jak jest położona powierzchnia, na której ono zachodzi, mówi autor w twierdzeniu 22: „Wspólna powierzchnia przecięcia kuli lodowej i szklistej znajduje się na przedzie w stosunku do środka oka; płyn szklisty i duch widzenia muszą być niemal tej samej przezroczystości, a jedno i drugie musi być bardziej przezroczyste od płynu lodowego”²⁸. Przeprowadzając dowód twierdzenia 22 Witelo pisze: „... załamanie musi odbywać się przed dojściem form do środka oka, ponieważ, gdyby załamanie zachodziło po przejściu przez środek, formy z konieczności byłyby odwrócone i wtedy, jak wynika z I, 91, nastąpiłaby zmiana położenia części formy”²⁹. Ponieważ, zgodnie z twierdzeniem 21 załamanie linii rozprzestrzeniania się form, dających wyraźne widzenie, może nastąpić tylko na powierzchni rozgraniczającej płyn lodowy i szklisty, powierzchnia ta musi być przesunięta ku przodowi oka względem jego środka. W dalszym ciągu dowodu twierdzenia 22 autor wyjaśnia, że płyn szklisty i duch widzenia dlatego muszą być niemal tej samej przezroczystości, gdyż w przeciwnym razie nastąpiłoby zniekształcenie form. Na podstawie powyższych rozważań Witelo formuluje końcowy wniosek twierdzenia 22: „... Ponieważ w tych obydwu ciałach formy przechodzą dalej poza środek oka, jest oczywiste, że załamanie dokonało się *od prostopadłej* (podkr. nasze) poprowadzonej przez punkt załamania do powierzchni [kuli] lodowej [tzn. powierzchni rozgraniczającej płyn lodowy i szklisty]. A więc, jak wynika z II, 45 i II, 47, jedno i drugie ciało [tzn. płyn szklisty i duch widzenia] jest *bardziej* (podkr. nasze) przezroczyste od ciała [kuli] lodowej”³⁰. Tymczasem, jak wykazemy poniżej, z praw załamania światła opisanych w twierdzeniach II, 42 — II, 47, a więc znanych Witelonowi, wynika, że przezroczystość płynu szklistego musi być *mniej* niż lodowego, a zatem w tym miejscu występuje sprzeczność z wcześniejszymi wywodami autora.

Rozpatrzmy załamanie na powierzchni rozgraniczającej płyn lodowy i szklisty. Linie, po których rozprzestrzeniają się formy, dzięki którym zachodzi wyraźne widzenie, są prostopadłe do powierzchni rogówki i przedniej powierzchni płynu lodowego oraz przechodzą przez środek geometryczny kuli oka, który jest również środkiem geometrycznym przedniej powierzchni płynu lodowego³¹. Ponieważ linie te są prostopadłe do powierzchni rogówki i przedniej powierzchni płynu lodowego, na powierzchniach tych nie zachodzi załamanie. Załamanie tych linii może nastąpić dopiero na powierzchni rozgraniczającej płyn lodowy i szklisty. Powierzchnia ta, zgodnie z twierdzeniem 23, jest albo płasz-

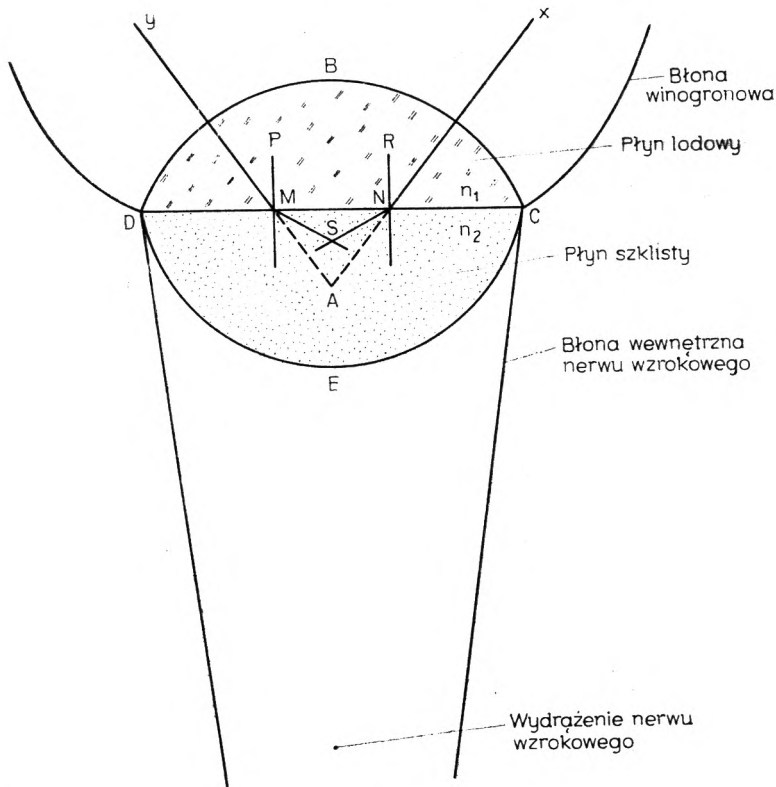
²⁸ *Vit. Persp.*, s. 94.

²⁹ *Vit. Persp.*, s. 94.

³⁰ *Vit. Persp.*, s. 95.

³¹ Na rys. 1 i 2 jest to punkt A. Uzasadnienie Witelo podaje w twierdzeniach 4 i 7.

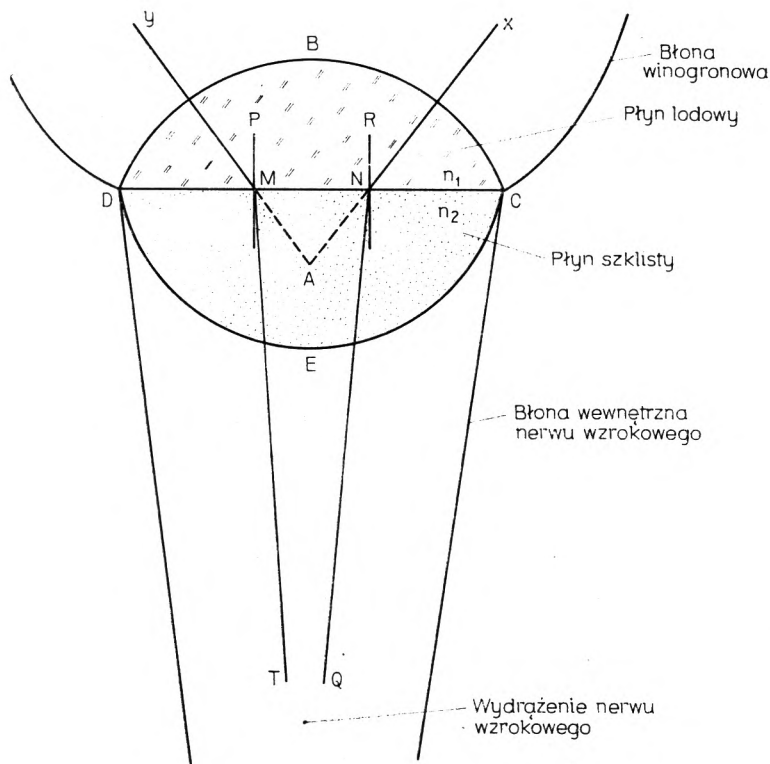
czyzną albo częścią kuli niewspółśrodkowej z kulą oka. Rozpatrzmy zjawisko załamania linii rozprzestrzeniania się form, dających wyraźne widzenie, na powierzchni rozgraniczającej płyn lodowy i szklisty przy założeniu, że powierzchnia ta jest płaszczyzną. Na rys. 3 przedstawiono



Ryc. 3. Przebieg zjawiska załamania linii rozprzestrzeniania się form dających wyraźne widzenie, gdy płyn szklisty jest bardziej przezroczysty od płynu lodowego ($n_1 > n_2$). A — środek krzywizny powierzchni przedniej kuli lodowej (łuk DBC) będący jednocześnie środkiem oka, DC — powierzchnia rozgraniczająca płyn lodowy i szklisty, DEC — powierzchnia tylna płynu szklistego, M i N punkty padania linii rozchodzenia się form XN i YM na powierzchnię rozgraniczenia płynów lodowego i szklistego (linie rozchodzenia się form są prostopadłe do łuku DBC), PM i RN — prostopadłe do powierzchni rozgraniczenia poprowadzone przez punkty padania M i N, — — — przedłużenia linii rozprzestrzeniania się form do punktu A, — — — linie rozprzestrzeniania się form, n_1 i n_2 współczynniki załamania odpowiednio płynu lodowego i szklistego, S — punkt przecięcia się linii rozprzestrzeniania się form po załamaniu

przebieg zjawiska załamania w przypadku, gdy płyn szklisty jest bardziej przezroczysty od płynu lodowego (poprawnie: płyn szklisty ma mniejszy współczynnik załamania niż lodowy). Załamanie, jak pokazano na rys. 3, zachodzi od *prostopadłej*, zgodnie z tym co mówi Witelo.

Wtedy jednak linie te przecinają się przed środkiem oka (punkt S na rys. 3), a to jest sprzeczne z innymi wywodami Witelona stwierdzającego, że linie, po których rozprzestrzeniają się formy dające wyraźne widzenie, nie mogą się przecinać (tw. 21). Na rys. 4 przedstawiono zała-



Ryc. 4. Przebieg zjawiska rozprzestrzenia się form, dających wyraźne widzenie, gdy płyn szklisty jest mniej przezroczysty od płynu lodowego ($n_1 < n_2$). MT i NQ — linie rozprzestrzenia się form po załamaniu, pozostałe oznaczenia jak na ryc. 3

manie linii rozprzestrzenia się form, dzięki którym zachodzi wyraźne widzenie, w przypadku gdy płyn szklisty jest mniej przezroczysty od płynu lodowego (poprawnie: płyn szklisty ma większy współczynnik załamania niż płyn lodowy). Załamanie, jak przedstawiono na rys. 4, zachodzi do *prostopadłej* i przebieg linii rozprzestrzenia się form po załamaniu będzie zupełnie inny. Przecięcie się ich nastąpi poza środkiem oka (ściślej rzecz biorąc odległość punktu przecięcia od środka oka będzie zależała od wartości współczynników załamania tych płynów i promieni krzywizny obu powierzchni płynu lodowego). Ten przypadek odpowiada więc mechanizmowi powstawania obrazu w oku opisanemu przez Witelona. Należy podkreślić, że zakładając za Witelonom prost-

padłość linii rozprzestrzeniania się form, dzięki którym zachodzi wyraźne widzenie, do przedniej powierzchni kuli lodowej, otrzymamy podobny przebieg tych linii po załamaniu, niezależnie od tego czy powierzchnia tylna płynu lodowego będzie płaska, wypukła czy wklęsła (pod warunkiem, że promień krzywizny powierzchni wklęsłej będzie większy niż promień krzywizny przedniej powierzchni kuli lodowej). Wobec tego, aby założenie Witelona o nieprzecinaniu się przed środkiem oka linii rozprzestrzeniania się form było spełnione, płyn lodowy musi być *bardziej przezroczysty* niż płyn szklisty, a więc załamanie na powierzchni rozgraniczającej płyn lodowy i szklisty *musi* zachodzić *do prostopadłej*. Jeżeli nasze rozumowanie jest słuszne, to zgodność analizowanego tekstu z powyżej przedstawionymi ustaleniami Witelona zachodziłaby tylko wtedy, gdyby w cytowanym powyżej fragmencie tekstu dowodu twierdzenia 22, w zdaniu: „Ponieważ ... załamanie dokonało się od prostopadłej...” przyimek „od” zastąpić przyimkiem „do”. Przy takiej zmianie wniosek następnego zdania „A więc jak wynika... ciało jest *bardziej* (podkr. nasze) przezroczyste” miałby brzmienie następujące: „... ciało jest *mniej* przezroczyste...”, co zgadzałoby się z pozostałymi wywodami Witelona. Jest to również zgodne z przyjętym przez autora *Perspektywy* założeniem o nieodwracaniu obrazu w oku.

Przedstawiona szczegółowo analiza tekstu *Perspektywy* pozwoliła ukazać istniejące niekonsekwencje w wywodach Witelona. Trudno przyjąć, iż autor popełnił tutaj błąd. Witelo jest logiczny i uważny w swoich wywodach. Ponadto rękopisy³² i wydanie Tanstettera-Apiana zgodnie z tekstem Risnera przekazują przyimek „ab” (od) z ablatiwem zamiast oczekiwanego „ad” (do) z akuzatiwem. Przekazaną i zachowaną wersję tekstu można jedynie wytłumaczyć w ten sposób, że Witelo przyjął, iż duch widzenia musi być najbardziej przezroczystym składnikiem oka. Ponieważ w twierdzeniu 22 mówi, że płyn szklisty i duch widzenia mają prawie taką samą przezroczystość, wobec tego płyn szklisty musi być bardziej przezroczysty od płynu lodowego. Załamanie zaś światła na powierzchni rozgraniczającej płyn lodowy i szklisty, zgodnie z twierdzeniem II, 47, nastąpi wtedy od prostopadłej.

Należy zaznaczyć, że Alhazen w swoim dziele także mówi o załamaniu tych linii, tłumacząc to podobnie przezroczystością. Nie wspomina jednak nic o tym, jakie to musi być załamanie, *cd* czy *do* prostopadłej³³. Podobnie, jak wynika z opracowania Lindberga³⁴, postępuje Roger Ba-

³² Sprawdziliśmy ten fragment tekstu z wydaniem Tanstettera-Apiana z roku 1535 oraz z rękopisami: Oxford, Bodleian Library MS Ashmolean 424; Bern Bürgerbibliothek, MS 61; Paris, Bibliothèque Nationale, MS Fonds Latin 7248; Paris, Bibliothèque Nationale, MS Fonds Latin 14739; Oxford, Merton College Library 308.

³³ Alh. Opt., tw. II, 5 i II, 6 s. 26 i 27.

³⁴ D. C. Lindberg: dz. cyt. s. 110.

con, który omawia przebieg linii rozchodzenia się form w oku, zgodny z przyjętym przez Alhazena i Witelona. Lindberg jednak nie mówi nic o tym, aby Roger Bacon z przebiegu linii rozprzestrzeniania się form wyciągał wnioski dotyczące przezroczystości (gęstości optycznej) płynu lodowego i szklatego. Dotychczasowe nasze rozważania należy traktować jako próbę wyjaśnienia wartości i poprawności wywodów Witelona, który stara się wytłumaczyć proces powstawania obrazu w oku na podstawie własności optycznych poszczególnych ośrodków anatomicznych oka.

Z lektury księgi III wynika, że formy po przejściu tylnej powierzchni płynu szklatego, przenoszone są dalej przez ducha widzenia znajdującego się w wydrążeniu nerwu wzrokowego. Jeżeli usuniemy omówioną powyżej sprzeczność w tekście *Perspektywy*, tzn. przyjmiemy, że płyn szklisty ma mniejszą przezroczystość niż lodowy, to powstawanie obrazu w oku zgodne z wywodami Witelona i prawem załamania światła przedstawia rysunek 5.

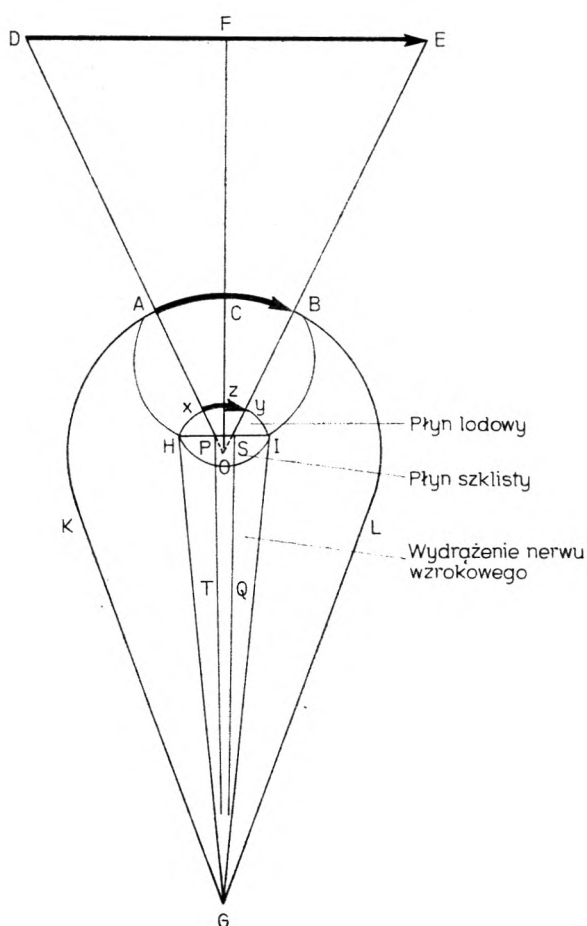
Można sądzić, że Witelo jak i jego poprzednicy nie znający prawidłowego położenia soczewki w oku i jej roli w procesie widzenia, również nie zdawali sobie sprawy z faktu, że I obrazek Purkinjego, będący obrazem w zwierciadle wypukłym, w rzeczywistości powstaje za przednią powierzchnią rogówki. Uczeń ci, aby wytłumaczyć powstawanie obrazu oglądanego przedmiotu na przedniej powierzchni rogówki, przyjmowali, że powstaje on w wyniku prostopadłego do powierzchni rogówki rozprzestrzeniania się form. Tak rozprzestrzeniające się formy Witelo nazywa formami dającymi wyraźne widzenie. Wydaje się, że niezajomość położenia soczewki w oku i jej roli w procesie widzenia, a także przyjęcie, że I obrazek Purkinjego powstaje na przedniej powierzchni rogówki było przyczyną sformułowania twierdzenia 17 i powstania opisanego mechanizmu powstawania obrazu w oku.

Podobny do witelońskiego mechanizm powstawania obrazu w oku był znany autorom arabskim (np. Alhazenowi) oraz uczonym łacińskim (np. Rogerowi Baconowi). Podobny mechanizm przyjmowało również wielu uczonych późniejszych³⁵. Badania anatomiczne spowodowały, że poznano prawidłowe położenie i rolę soczewki w oku, co umożliwiło Keplerowi i Kartezjuszowi poznanie prawidłowego mechanizmu powstawania obrazu w oku, tzn. powstawania obrazu odwróconego oglądanego przedmiotu na siatkówce i zwróciło uwagę na rolę siatkówki w procesie widzenia³⁶.

Trzecią grupę zagadnień, rozpatrywanych przez autora *Perspektywy* i omawianych w niniejszej pracy, tworzą zagadnienia związane z wi-

³⁵ Por. np. D. C. Lindberg: dz. cyt. passim; L. S. Polyak: *The Retina* Chicago 1941 passim.

³⁶ Por. np. D. C. Lindberg: dz. cyt. s. 200—201.



Ryc. 5. Powstawanie obrazu w oku wg. mechanizmu opisanego przez Witelona. DFE — oglądany przedmiot, ACB — jego obraz na powierzchni widzenia, XZY — odwzorowanie przedmiotu na przedniej powierzchni kuli lodowej. O — środek oka, DAXPT i EBYSQ — linie rozprzestrzeniania się form, dających wyraźne widzenie punktów D i E, HG i IG wewnętrzne błony nerwu wzrokowego, HI — powierzchnia rozgraniczająca płyn lodowy i szklisty, na tej powierzchni zachodzi załamanie linii rozprzestrzeniania się form, dających wyraźne widzenie, KG i LG — błony zewnętrzne nerwu wzrokowego, G — punkt środkowy nerwu wspólnego

dzeniem obuocznym. Obecnie pod tym terminem rozumiemy jednoczesną percepcję, fuzję czyli zlewanie się obrazów z obu oczu (zachodzące w korze mózgowej) i widzenie stereoskopowe³⁷. Witelo w twierdzeniach, zaliczonych przez nas do tej grupy zagadnień, stara się wyjaśnić, dlaczego mimo istnienia dwojga oczu widzimy jeden przedmiot. Omawia

³⁷ Por. np. M. Wilczek, K. Krzystkova: *Współczesne leczenie zezów*. Warszawa 1971 s. 19—25.

więc de facto zagadnienia związane z jednoczesną percepcją i fuzją. Pcmija zaś całkowicie widzenie stereoskopowe.

Przed przystąpieniem do omawiania widzenia obuocznego Witelo poświęca nieco uwagi ruchom gałek ocznych, ponieważ odgrywają one istotną rolę w jego późniejszych rozważaniach. Dowodzi, że oko może poruszać się tylko jako całość, tj. położenie jego części względem siebie nie ulega zmianie (tw. 25) i że ruch gałek ocznych jest identyczny. W twierdzeniu 26 czytamy, że „poruszywszy jednym okiem trzeba ruszyć drugim tak samo”³⁸. W innym miejscu na ten sam temat pisze: „Jeżeli jedno oko poruszy się, aby coś zobaczyć, natychmiast drugie oko poruszy się tym samym ruchem, aby zobaczyć to samo; a jeżeli jedno oko spoczywa, to i drugie będzie spoczywać. Niemożliwe jest, aby jedno oko poruszało się, a drugie spoczywało”³⁹. Witelo taki mechanizm tłumaczy tym, że podnieta dla ruchu gałek ocznych, wychodząc z jednego wspólnego źródła dla obu nerwów wzrokowych (Witelo nerwom wzrokowym przypisuje zdolność poruszania gałką oczną), z ich punktu wspólnego (punctum commune), musi być jednakowa i w rezultacie powoduje jednakowy ruch gałek ocznych.

Można sądzić, że dla Witelona przy rozważaniu zagadnień związanych z widzeniem obuocznym istotne jest założenie identyczności obu oczów (tw. 32, 37 i 38) oraz istnienia między nimi niewielkiej odległości (tw. 37). O widzeniu obuocznym mówi Witelo już w postulacie 7, gdzie czytamy: „jedną rzecz obydwoma oczami widać jednocześnie”⁴⁰. Ta część księgi III, która jest poświęcona widzeniu obuocznemu, stanowi rozwinięcie, uzasadnienie i próbę wyjaśnienia tego postulatu.

Treść tego postulatu powtarza Witelo w twierdzeniu 28. „Pomimo, że jest dwoje oczu, widać tylko jedną formę jednej rzeczy”⁴¹, i wyjaśnia, dlaczego widzimy jeden przedmiot. Zdaniem autora Perspektywy, formy „zlewają się i stają się jedną formą, a poprzez ich zjednoczenie element odbierający wrażenia zmysłowe odbiera formę rzeczy widzianej i w ten sposób widać tylko jedną formę jednej rzeczy”⁴². Proces widzenia obuocznego Witelo stara się uzasadnić geometrycznie, podobnie jak zrobił w przypadku budowy oka i mechanizmu widzenia. W tym celu udowadnia szereg właściwości stożków widzenia i zależności, jakie między nimi istnieją. Zależności te związane są z przyjętym modelem oka i mechanizmem powstawania obrazu w oku. Witelo zlewanie się form wyobrażał sobie jako nakładanie się figur geometrycznych, o czym pisze w twierdzeniu 37, gdzie czytamy, że „wszystkie formy punktów, równo oddalone od punktów, które trafiają na powierzchnię

³⁸ *Vit. Persp.*, s. 98.

³⁹ *Vit. Persp.*, tw. 32, s. 100.

⁴⁰ *Vit. Persp.*, s. 84.

⁴¹ *Vit. Persp.*, s. 98.

⁴² *Vit. Persp.*, s. 98.

oczu po osiach promieniowych, również dochodzą do punktów równo oddalonych od punktu środkowego nerwu wspólnego”⁴³.

W twierdzeniach 46 i 47 Witelo precyzuje warunki geometryczne, których spełnienie zapewnia, że dany przedmiot widzimy jako jeden. I tak Witelo dowodzi tam, że: „każdą rzecz widzianą, na której zbiegają się dwie osie oczne lub bliskie im promienie, widać zawsze jako pojedynczą”⁴⁴, oraz że „każdą rzecz widzialną, na której zbiegają się osi wspólna”⁴⁵ i jedna z osi ocznych, spostrzegana jest zawsze jako jedna”⁴⁶. Twierdzenia te są próbą geometrycznego uzasadnienia postulatu 7 i twierdzenia 28. Oprócz próby wyjaśnienia, dlaczego widzimy każdy przedmiot jako jeden, Witelo stara się również geometrycznie wyjaśnić, kiedy poszczególne punkty oglądanego przedmiotu widziane są najdokładniej.

Należy także zaznaczyć, iż Witelo jest świadomy ograniczeń, jakie towarzyszą procesowi widzenia. W twierdzeniu 48 podkreśla, że nie widzimy oglądanego przedmiotu całego równomiernie. Nie możemy również widzieć wielu przedmiotów równocześnie w sposób równomierny oraz uprzedza, że po umieszczeniu przedmiotów naprzeciw siebie zdarza się, iż „widzenie jakiejś części spośród rzeczy bardziej oddalonych doznaje przeszkody”⁴⁷. W ujęciu Witelona cały przedmiot widzimy dlatego, ponieważ po jego powierzchni w czasie oglądania stożki widzenia przemieszczają się w ten sposób, że na osi wspólnej znajdują się w kolejnych chwilach czasu kolejne punkty.

Przedstawiony powyżej, na podstawie księgi III *Perspektywy*, mechanizm powstawania obrazu w oku oraz proces widzenia obuocznego, tak jak widział to Witelo, stanowi konsekwencję nieznamomości roli soczewki (płynu lodowego) w procesie widzenia oraz braku informacji o roli siatkówki. Dziś wiemy, że oko jest układem optycznym osiowym, w którym najważniejszą rolę w powstawaniu obrazu odgrywa rogówka i soczewka. Promienie świetlne załamane przez te ośrodki powodują powstawanie na siatkówce obrazu rzeczywistego, odwróconego i pomniejszonego oglądanego przedmiotu. Pod wpływem tego obrazu, powstającego na siatkówce, dochodzi w jej elementach światłoczułych (czopki i pręciki) do powstawania zmian biochemicznych, które powodują wytwarzanie impulsów elektrycznych. Impulsy te poprzez struktury siatkówki przesyłane są następnie za pomocą nerwu wzrokowego i szlaków

⁴³ *Vit. Persp.*, s. 102.

⁴⁴ *Vit. Persp.*, s. 106.

⁴⁵ Osią wspólną nazywa Witelo linię poprowadzoną między punktem na powierzchni rzeczy widzialnej, w którym przecinają się osie stożków widzenia (punkt ten autor nazywa „punktem złączenia”), a punktem środkowym nerwu wspólnego.

⁴⁶ *Vit. Persp.*, s. 107.

⁴⁷ *Vit. Persp.*, s. 108.

wzrokowych aż do kory mózgowej, gdzie formuje się ostateczne wrażenie zmysłowe oglądanego przedmiotu⁴⁸. Należy także zaznaczyć, że mechanizm widzenia obuocznego w ujęciu Witelona jest w świetle dzisiejszego stanu wiedzy całkowicie błędny. Jednak niektóre z podanych twierdzeń, wcześniej cytowanych, jak np. twierdzenia 28, 46 i 50, są aktualne, chociaż podane przesłanki i przeprowadzone dowody są błędne.

Recenzenci: Witold J. Orłowski, Andrzej K. Wróblewski

A. Бельски, Л. Бегановски, В. Врублевски

МЕХАНИЗМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ГЛАЗУ И ОБУГЛАЗНОЕ ЗРЕНИЕ В КНИГЕ III „ПЕРСПЕКТИВЫ” ВИТЕЛОНА

Содержанием работы является механизм возникновения изображения в глазу и обуглазное зрение, описанное Вителоном в книге III „Перспективы”.

Механизм этот основан на наблюдении отражения видимого предмета на передней поверхности роговой оболочки (I изображение Пуркини). Это изображение должно переноситься по перпендикулярам к поверхности роговой оболочки (т. е. соединяющей предмет с центром глаза) на переднюю поверхность ледяного шара которую Вителон считал центром, ответственным за возникновение зрительных ощущений. Затем на поверхности, разделяющей льдообразную и стекловидную жидкости (т. е. на задней поверхности хрусталика) происходит такое преломление линии, по которой распространяется изображение, что проникает оно в углубление зрительного нерва в нормальном (не перевернутом) положении. Перенос изображения видимого предмета в мозг происходит посредством духа видения (*spiritus visibilis*). Изображения из одного и второго глаза накладываются одно на другое так, как геометрические фигуры. Механизм возникновения изображения в глазу Вителон базировал на предположении, что в глаза доходит свет и цвет. Это предположение соответствует теории Вителона о том, что изображение видимого предмета не может быть в глазу перевернуто. Способ возникновения изображения объясняет Вителон формой и оптическими свойствами глазных жидкостей и оболочек. Следует подчеркнуть, что механизм зрения и обуглазное зрение Вителон объясняет посредством геометрических методов. В статье обсуждаются также неточности при объяснении Вителоном преломления света на поверхности, отделяющей стекловидную и льдообразную поверхности.

A. Bielski, Z. Bieganowski, W. Wróblewski

THE FORMATION OF AN IMAGE IN THE EYE AND THE TWO-EYE VISION IN BOOK III OF WITELON'S "PERSPECTIVA"

The paper discusses the formation of an image in the eye and the two-eye vision as it has been described in Book III of Witelo's "Perspectiva". In it the whole mechanism has been derived from the observation of an object's reflection on the surface of the cornea (image I of Purkyně). The image was then supposed

⁴⁸ Por. np. F. H. Adler: dz. cyt. s. 593—612 i 661—713.

to be transferred along perpendicular lines to the cornea (i.e. the lines linking the object with the centre of the eye) on the front surface of the crystalline lens which Witelo considered the medium responsible for the formation of visual sensations. Then, on the surface delimiting the crystalline lens from the vitreous humor (i.e. the back surface of the lens), there occurs such a deflection of the lines, along which travels the image, that it gets into the cavity of the optic nerve without being inverted. The image of an object gets into the brain through the spirit of vision (*spiritus visibilis*). The images coming from both eyes, overlap like geometrical figures. Witelo based this mechanism on the assumption that the eye gets both light and colour. This theory accords with Witelo's statement that the image of an object cannot be inverted in the eye. The way an image is forming depends, according to Witelo, on the shape and properties of the eye's optic humors and films. It must be stressed that Witelo explains the mechanism of seeing and the two-eye vision by using geometrical figures. The paper also discusses the inconsistency in Witelo's argumentation when he describes the refraction of light on the surface delimiting the crystalline lens from vitreous humor one.

