

JAROSŁAW JANOWSKI¹

Instytut Sztuk Pięknych

Wydział Artystyczny, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie

ORCID 0000-0001-5719-1168

KOLOR SPOSTRZEŻONY I KOLOR NAZWANY**Colour Perceived and Colour Named
Abstract**

In the history of thought, various theories of colour vision have been developed since antiquity. They were influenced by commonly accepted conceptualisations of colour. Someone taught people to name colours based on their similarity to specific objects. This is where arguments about the colours of things come from, e.g., whether something is orange or salmon. This example may raise a trivial question: Is it nature or culture that determines our perception of colours? There is, of course, no clear answer to this question. It was only with the development of the scientific method that an “objective” physical basis for colour theory was accepted. They do not fully explain all the conditions related to seeing and the effect of colour on humans. As a discipline that breaks through cultural limitations, art touches the essence of colour much more fully than philosophical and scientific theories.

Keywords: perception, colour theories, chromaticism, subtractive mixing, colour relativity**Abstrakt**

W historii myśli od starożytności tworzono różne teorie widzenia barwy. Czynili to na początku filozofowie, później artyści, następnie fizycy i psycholodzy. Wpływ na ich koncepcje miały powszechnie przyjęte konceptualizacje barwy. Np. dla starożytnych Greków biel była bardzo jasnym żółtym, a czerń ciemnym niebieskim. Kolorów nie można zdefiniować językowo, a jedynie ostensywnie. Ktoś nauczył ludzi nazywać kolory poprzez podobieństwo do konkretnych obiektów. Stąd biorą się spory o kolory rzeczy, np. czy coś jest pomarańczowe, czy łososiowe. Ten przykład może rodzić pytanie brzmiące w trywialnej wersji: Natura czy kultura warunkuje nasze spostrzeganie barw? Nie ma na nie oczywiście jednoznacznej odpowiedzi. Różne teorie widzenia barw wynikają również z kulturowych i środowiskowych czynników. Dopiero wraz z rozwojem metody naukowej przyjęto „obiektywne” fizyczne

¹ Jarosław Janowski, absolwent Wzornictwa Przemysłowego na ASP w Warszawie. W 2007 r. obronił pracę doktorską z filozofii pt.: *Fenomen perspektywy jako sposób przedstawiania świata. Filozoficzne źródła i konsekwencje*. Pracuje jako adiunkt na Wydziale Artystycznym UMCS. Od 2019 r. wykłada w Zhengzhou University of Aeronautics w Chinach na kierunkach: Product Design i Environmental Design. Zajmuje się sztuką w kontekście ludzkich mechanizmów poznawczych oraz historią i teorią designu. E-mail: jan3728@umcs.pl.

podstawy teorii barwy. Nie tłumaczą one do końca wszystkich uwarunkowań związanych z widzeniem i działaniem barwy na człowieka. Sztuka jako dziedzina przełamująca kulturowe ograniczenia dotyka o wiele pełniej istoty barwy niż filozoficzne i naukowe teorie.

Słowa kluczowe: barwa, kolor, percepcja, teorie barw, język, Thomas Young, Teofrast, spektrum, chromatyzm, mieszanie subtraktywne, relatywizm barwny, determinizm kulturowy, determinizm językowy

Czy wszyscy ludzie widzą barwy tak samo? Kolory to cecha umysłowej reprezentacji świata. Odbiera się je jako obiektywne własności opisujące rzeczy. Mówi się np.: „ta niebieska sukienka”, choć każdy po podstawowym kursie filozofii czy psychologii percepcji wie, że kolor powstaje w umyśle, a nie jest cechą rzeczy. Ale czy „moje” niebieskie przedmioty są w taki sam sposób niebieskie w oczach i umyśle innego człowieka? Może on widzi je na czerwono, tylko nazywa ten kolor niebieskim? Prawdopodobnie każdy zadawał sobie takie albo podobne pytania. Ludzie spierają się między sobą np. czy to „coś” jest niebieskie, czy może trochę fioletowe albo zielonkawe. Dlatego też w dziejach filozofii pierwsze koncepcje postulujące subiektywność postrzeżeń odnosiły się do barwy. W późniejszym czasie poglądy te rozszerzono na inne doznania. Dla niektórych filozofów całe ludzkie doświadczenie stało się subiektywne. Prekursorem tych idei był Demokryt, który podjął rozważania nad percepcją koloru. Teofrast przytoczył jego rozważania o naturze spostrzeżeń zmysłowych:

Twierdzi zaś, że spośród wszystkich innych rzeczy podpadających pod zmysły, żadna nie ma rzeczywistości, ale że wszystkie są doznaniem naszej zdolności postrzegania, ulegającej pewnym zmianom; ta zdolność jest źródłem naszych wyobrażeń².

Barwa związana jest ze zmysłem wzroku – fundamentalnym dla kształtowania wiedzy i funkcjonowania człowieka w świecie. Dlatego doświadczenie kolorów wymaga jakiejś konceptualizacji. W świecie zachodnim powstały mniej lub bardziej wyrafinowane teorie barwy: tworzyli je filozofowie, później artyści na podstawie własnej praktyki, a w czasach nowożytnych badacze posługujący się metodą naukową. Wiele teorii barw, powstających nieomal w tym samym czasie, przeczyło sobie i rozdziło spory. Cytowany wcześniej Teofrast relacjonował rozbieżności poglądów Demokryta i Platona w podejściu do spostrzeżeń zmysłowych, a zwłaszcza do barwy.

Spektrum

Nawet w czasach stosowania metody naukowej, mimo oparcia jej na danych empirycznych, subiektywność doświadczenia barwy była przyczyną wielu rozbieżności w sposobie wyjaśniania natury spostrzeżeń wzrokowych. Przykładem mogą być koncepcje Geорга Palmera i Thomasa Younga. Obaj działali po odkryciach Isaaka Newtona, związanych z rozczepieniem białego światła i uzyskaniem spektrum barw. Wtedy to uświadomiono sobie, że barwa nie jest własnością rzeczy czy powierzchni, a odbitego albo emitowanego przez nie światła. Może być ono fragmentem widma, bądź całym spektrum w przypadku białych

² Teofrast, *Pisma filozoficzne i wybrane pisma przyrodnicze*, tłum. i oprac. D. Gromska, J. Schnayder, Warszawa 1963, s. 54.

obiektów. Na przykład chlorofil zawarty w zielonych liściach pochłania w procesie fotosyntezy czerwoną część widma, a odbija pozostałą, co skutkuje wrażeniem zieleni. Barwniki mają zatem moc selektywnego pochłaniania określonych fragmentów widma. Idąc za tą własnością kolorowych obiektów Palmer postulował istnienie w siatkówce ludzkiego oka trzech rodzajów cząsteczek barwnikowych (*colourig particles*). W zależności od zawartego barwnika – żółtego, czerwonego, bądź niebieskiego, dana cząsteczka odpowiadać ma – jego zdaniem – za widzenie określonej barwy. Widzenie pozostałych barw natomiast to wynik mieszania się w oku tych trzech cząsteczek barwnikowych w różnych proporcjach. Palmer był chemikiem, więc myślał o kolorach jako o pigmentach.

Przypuszczam, że dzisiaj w trakcie mieszania kolorowych farb jedynie fizycy myślą o nich jako „pochłaniaczach” widma. Mieszanie różnych substancji o właściwości nazywanej „kolorem” było w dzieciństwie dla wielu ludzi pierwszym artystycznym doświadczeniem. Choć mało kto jest chemikiem, to na podstawie codziennej praktyki wie, jakie barwy uzyskują pewne mieszaniny konkretnych kolorowych substancji. Na tego rodzaju doświadczeniu oparł się Palmer, tworząc swoją fizjologiczną teorię barwy, mimo że jego intencją było wyjaśnienie mechanizmu powstawania wrażeń barwnych poprzez uwzględnienie odkrycia spectrum przez Newtona³.

Przełamania tego swoistego paradygmatu, polegającego na odwoływaniu się do analogii z mieszaniem barw w fizjologii percepcji, dokonał Thomas Young. Sformułował teorię, zgodnie z którą to suma reakcji receptorów pobudzonych falą świetlną o różnej długości skutkuje wrażeniem konkretnej barwy. Zaproponował istnienie trzech rodzajów receptorów i odpowiadające im trzy barwy podstawowe – czerwoną, zieloną i niebieską. Później rodzaje receptorów barwy oznaczono od angielskich nazw kolorów literami: R, G, B. Maksymalne pobudzenie wszystkich rodzajów receptorów skutkuje wrażeniem bieli. Suma sił reakcji receptorów w różnych kombinacjach wywołuje wrażenie wszelkich możliwych barw z zakresu widzialnego spektrum. Young był przekonany o falowej naturze światła, polegającej na drganiach eteru. Na podstawie wyników pomiarów Newtona obliczył długości fal światła widzialnego. Young sformułował cztery postulaty dotyczące falowej natury światła. W trzecim z nich twierdzi: „Wrażenie różnych barw wynika z różnej częstości drgań wywołanych przez światło na siatkówce”⁴. Dopiero w połowie XX wieku potwierdzono empirycznie istnienie trzech rodzajów komórek światłoczułych w siatkówce, wrażliwych selektywnie na różne fragmenty widma. Young w swoich czasach spotkał się z ostrym sprzeciwem, zniechęcającym go ostatecznie do kontynuowania badań nad barwą. Warto zwrócić uwagę, że Young nie był chemikiem jak Palmer, ale lekarzem, co pozwoliło mu mieć lepszą wiedzę i intuicję dotyczącą działania ludzkiego układu nerwowego⁵.

Na tworzone teorie w różnych dziedzinach wpływ może mieć indywidualne doświadczenie, np. zawodowe. Wracając do pytań postawionych na początku artykułu, można się zastanawiać, co wpływa na indywidualną wrażliwość na barwy? Czy jest różna u różnych ludzi? Czy owa wrażliwość wynikać może ze zbiorowego kulturowego doświadczenia? Ktoś kiedyś przecież pokazał mi kolor łososiowy i pomarańczowy, i dlatego wiem, że się nieznacznie

³ P. Francuz, *Imagia. W kierunku neurokognitywnej teorii obrazu*, Lublin 2013, <https://afterimagia.pl/barwa> (dość 28.05.2021).

⁴ Cyt. za: A.K. Wróblewski, *Historia fizyki od czasów najdawniejszych do współczesności*, Warszawa 2015, s. 317.

⁵ P. Francuz, *Imagia...*, dz. cyt.

różnią i potrafię się porozumieć w kwestii tych barw z innymi ludźmi z mojego otoczenia. Czasem mogę się jednak z kimś posprzeczać, czy losoś ma jednak kolor pomarańczowy. Czy jest to dowód na to, że mam trochę inną wrodzoną wrażliwość na barwy? A może całe populacje w wyniku określonych warunków środowiskowych albo uwarunkowań genetycznych inaczej odbierają kolory? Na wszystkie te pytania należy odpowiedzieć twierdząco. Co więcej, wszystkie te czynniki miały wpływ na różne teorie i konceptualizacje barwy. W dalszej części artykułu postaram się przytoczyć przykłady na poparcie tej tezy.

Kolory zgodnie ze współczesną wiedzą mają takie cechy jak: jakość barwna (*hue*) nasycenie (*saturation*) i jasność (*brightness*). Przy użyciu tych trzech cech wyrażonych liczbowo opisuje barwę model HSB. Jakość barwna, albo odcień, związana jest z długościami fal świetlnych emitowanych albo odbitych przez obiekt. Jasność można utożsamić z ilością fotonów emitowanych przez źródło światła. To jakby umieścić jakiś kolor na skali pomiędzy czernią a np. czerwinią. Czerwień może być ciemniejsza albo jaśniejsza przy tej samej długości fali świetlnej, czyli jakości barwnej. Podobnie interpretuje się szarości jako różne jasności pomiędzy czernią i bielą. Można również poruszać się na skali nasycenia od bieli poprzez różowe pastelowe odcienie, aż do czystej czerwieni. Innymi słowy, nasycenie zależy od tego, ile czystej barwy jest w barwie, a ile jakby szumu. Barwy achromatyczne, czyli odcienie szarości, biała i czarna nie są nasycone. Nasycenie można więc interpretować również jako komponent chromatyczności w barwie.

Z punktu widzenia fizyki owo *hue*, czyli jakość barwna, leży na skali długości fali świetlnej (w przybliżeniu i z pewnymi indywidualnymi osobniczymi różnicami w zakresie pomiędzy 380-750 nm). Mimo to nie odczuwa się barw i nie myśli o nich jako uszeregowanych i płynnie przechodzących w coraz wyższe tony jak w przypadku częstotliwości dźwięku. Wiele doznań zmysłowych ujmuje się ilościowo na liniowej skali, nie dotyczy to jednak jakości barwnej, mimo że z punktu widzenia fizyka ma ona właśnie taką ilościową liniową strukturę. Doświadczenie koloru ma zupełnie inny charakter niż wiele innych doznań. Inaczej jest z dźwiękiem – może być cicho i głośno z pewnymi stanami pośrednimi, na które nie ma szczegółowych określeń w języku potocznym.

Wystarczy włożyć jedną rękę do wody zimnej, a drugą do ciepłej, a następnie umieścić obie w tym samym naczyniu, żeby uświadomić sobie jak ulegają, mówiąc słowami Teofrasta, „pewnym zmianom nasze indywidualne zdolności postrzegania”, a nawet więcej, jak każda z rąk jest „indywidualna w zdolności postrzegania”. Mimo to myślimy, że odczuwamy to samo ciepło postrzegane jako większe na ilościowej skali, która została nieco rozregulowana dla każdej z rąk. Mówi się, że woda jest np.: letnia, ciepła, gorąca, mając na myśli płynne ilościowe granice między tymi stanami. Dla jednej osoby (zwykle dla kobiety) może być za chłodno, a dla drugiej w sam raz. W takiej sytuacji nie myśli się: „temperatura dla mnie jest inna niż dla niej”. Tymczasem kontrowersję, czy coś jest fioletowe, czy niebieskie traktuje się jako spór o jakość, coś jest albo fioletowe, albo niebieskie. Dlatego doświadczenie koloru doprowadziło do powstania konceptualizacji o większym stopniu skomplikowania, nie wystarczy tu bowiem prosta skala, jak np. na termometrze. Nawet częstotliwość dźwięku związana z wiedzą o harmonice daje się w prosty sposób uszeregować. Barw nie da się ująć w tak liniowy sposób, choć można odnaleźć analogie do dźwięku – teorii barw, podobnie jak koncepcje harmoniki, często miały wręcz metafizyczny charakter i nie rozpatrywały tylko natury spostrzeżeń czy praktyki wytwarzania kolorów. Nie istniały one jednak w oderwaniu od powszechnie przyjętej terminologii, codziennych potrzeb i ludzkich zdolności związanych

z kolorami. Dlatego warto przyjrzeć się różnicom poszczególnych populacji w tym zakresie, przedstawicielom różnych profesji i indywidualnym osobom. Wówczas łatwiej będzie zrozumieć genezę teorii barw, które w sposób istotny odcisnęły piętno w naszej kulturze.

Płeć

W relacjach damsko-męskich spory o to „jaki to jest kolor” mają wręcz anegdotyczny charakter. Początkowe pytanie o identyczność wrażeń barwnych u różnych ludzi zawęza się teraz do kwestii, czy kobiety widzą kolory inaczej niż mężczyźni? Nie można niestety zajrzeć do umysłów różnych ludzi i porównać „ich” kolorów. Wykonalna może być jedynie próba porównania stopnia pobudzenia komórek nerwowych w mózgu w reakcji na określone barwy. Nie przyniesie to w istocie zadowalającej odpowiedzi dotyczącej umysłowej reprezentacji koloru. Praktycznie nie ma dostępu do świata wewnętrznych przeżyć drugiego człowieka.

Przy użyciu metod psychofizycznych można odpowiedzieć jedynie na pytania typu: czy kobieta rozróżnia więcej odcieni pomarańczowego koloru niż mężczyzna? Odpowiedź jest twierdząca. Wśród kobiet jest wiele takich, które mają szczególną zdolność rozróżniania odcieni w zakresie barwy żółtej, pomarańczowej i czerwonej. Wśród mężczyzn również są, choć znacznie rzadziej, tacy, którzy posiadają tę szczególną cechę. Związane jest to ze zjawiskiem tetrachromatyzmu – obecnością u niektórych ludzi dodatkowego rodzaju receptorów wrażliwych na kolor pomarańczowy. Zdolność ta jest dziedziczna i dotyczy znacznie częściej kobiet. Niezależnie od tej szczególnej cechy, wszystkie kobiety na ogół lepiej od mężczyzn odróżniają odcienie zieleni, żółci i błękitów. Nie mają też problemu z rozróżnianiem słabo nasyconych czerwieni i fioletów, co bywa trudne dla mężczyzn⁶. Mężczyźni są również o wiele częściej obarczeni genetycznie uwarunkowaną ślepotą barw. Najczęściej polega ona na zaburzeniu działania czopków – jednego, dwóch bądź wszystkich ich rodzajów⁷.

Widzenie barwnego świata możliwe jest jedynie w dobrych warunkach oświetleniowych, związanych z aktywnością czopków umieszczonych na siatkówkach gałek ocznych. W słabych warunkach, np. nocą, aktywne jest jedynie tak zwane widzenie skotopowe, wymagające działania pręcików. To drugi typ fotoreceptorów, stanowiący wyposażenie ludzkiej siatkówki. Pręciki dezaktywują się w dobrym oświetleniu – czyli w zakresie widzenia fotopowego, gdy aktywne są czopki. Pręciki o wiele silniej reagują nawet na bardzo słabe światło. Nie są one jednak zróżnicowane pod względem wrażliwości na długość fali elektromagnetycznej tak jak czopki. W przeciwieństwie do większości organizmów człowiek został wyjątkowo wyposażony przez ewolucję w dwa systemy detekcji światła. Zdolność widzenia barw jest ewolucyjnie młodsza, dlatego też jest słabiej genetycznie ugruntowana i zabezpieczona przez mechanizmy dziedziczenia⁸. Wynikają z tego różnice osobnicze w zdolności rozpoznawania kolorów, szczególnie zaznaczające się w przewadze kobiet. Przyczyną tych różnic mógł być podział zadań w społecznościach naszych przodków. Samce, a może już mężczyźni, polowali nocą, wykorzystując widzenie skotopowe, natomiast kobiety zajmowały się zbieractwem w fotopowym zakresie jasności. Wypatrzenie grzybów i owoców, odróżnienie tego, co dojrzałe, od niejadalnego i trującego, wymaga dostrzegania subtelnych różnic związanych

⁶ J-G. Causse, *Niesamowita moc kolorów*, tłum. M. Chojnacki, Katowice 2015, s. 24, 37.

⁷ J. Młodkowski, *Aktywność wizualna człowieka*, Warszawa-Lódź 1998, s. 226.

⁸ Tamże, s. 225.

z wartościami chromatycznymi widzianego światła. W ten sposób zdolność rozróżniania barw warunkowała przetrwanie zbieraczek i przekazanie ich genów. Nie było to tak istotne w przypadku mężczyzn, co zaowocowało słabszymi zdolnościami w tym zakresie i częstszymi genetycznymi wadami widzenia barw.

Czy kobiety odegrały jakąś szczególną rolę w kształtowaniu praktyk kulturowych i teorii barw? Problem ten nie jest wystarczająco opisany i pozostaje trudny do zbadania, ale smak kolorów w ciągu wieków z pewnością był kobiecą domeną. Mężczyźni, tak jak i dziś, zdawali się zwykle na kobiety we wszelkich ocenach i decyzjach w kwestii doboru harmonii barw, choć rzadko się do tego przyznawali. John Gage, pisząc o związku koloru z płcią, zwrócił uwagę, że w historii sztuki najważniejsza z dziedzin badań nad barwą, czyli historia ubioru, została zdominowana przez kobiety⁹.

Działalność angielskiej malarki Winifred Nicholson (1893-1981) jest historycznie odnotowanym wyjątkiem jako kobiecy wkład w teorię koloru. W latach czterdziestych XX wieku opracowała skalę barw i ich odcieni odniesioną do obiektów i naturalnych substancji¹⁰. Skala ta bazuje na tym, że barwa, jaką człowiek spostrzega, to nie tylko jakość barwna, jasność i nasycenie, ale również cecha powierzchni – jej gładkość, matowość, chropawość itp. System barw stworzony przez Nicholson pokazuje, że niezależnie od całej wiedzy o fizyce barwy i psychofizjologii widzenia człowiek kolory zapamiętuje, rozumie i nazywa poprzez odniesienie do powierzchni pewnych obiektów.

Język

Wydaje się, że pytanie, czy istnieją różnice w postrzeganiu kolorów pomiędzy grupami etnicznymi, jest o wiele ciekawsze od rozważań o osobniczych uwarunkowaniach widzenia kolorów. Można próbować szukać na nie odpowiedzi, przeprowadzając analizę języków naturalnych. Jeśli kolory w jakimś języku nie mają nazwy, albo tak jak w Japonii istnieje jedna nazwa na niebieski i zielony, mogłoby to oznaczać, że kolory te są nierozróżnialne. Istotnie studenci japońscy mieli problemy w rozróżnianiu kolorowych karteczek podczas eksperymentu przeprowadzonego przez Rogera W. Browna i Erica H. Lenneberga. Tymczasem ich niemieccy koledzy bez większych problemów rozróżniali zielony i niebieski. Miało to być dowodem, że kategoryzacje pojęciowe wpływają na zdolności postrzeniowe¹¹. Dla językoznawców wydaje się być kusząca hipoteza determinizmu językowego, wg której struktury leksykalne i gramatyka powodują różnice w percepcji świata. Być może jest ona słuszna. Problem w tym, że przytoczony eksperyment nie jest dowodem na nierozróżnianie zielonego i niebieskiego przez Japończyków, ale na brak dwóch różnicujących słów w języku japońskim. Psychofizyczne badania laboratoryjne potwierdzają, że w zakresie widzialnego spektrum próg różnicy jest przekraczany 180-200 razy. Te liczby dotyczą jedynie chromatyczności, ale barwa to także inne cechy. Badacze szacują możliwości rozróżniania poprzez ludzki aparat percepcyjny około 7,5-8 milionów barw¹². To nie język daje tę zdolność, ale

⁹ J. Gage, *Kolor i znaczenie. Sztuka, nauka i symbolika*, tłum. J. Holzman, A. Żakiewicz, Kraków 2010, s. 36.

¹⁰ Tamże, s. 27-28.

¹¹ D. Gonigroszek, *Językowy obraz świata barw i kolorów jako przykład kulturowych różnic w językach*, „Językoznawstwo: Współczesne Badania, Problemy i Analizy Językoznawcze”, 2008, nr 1 (2), s. 91-99.

¹² J. Młodkowski, dz. cyt., s. 214.

psychofizjologiczne własności ludzkiego ciała, mniej więcej porównywalne na całym świecie (choć z pewnymi zastrzeżeniami).

Definicja konkretnych kolorów może być jedynie ostensywna – ludzie uczą się je nazywać poprzez wskazanie na pewne kategorie obiektów o określonej barwie w najbliższym otoczeniu. Zieloną jest trawa i liście. Ktoś w dzieciństwie wskazał nam te obiekty, mówiąc, że są zielone. Oczywiście widać, że rośliny mogą być w różny sposób zielone, ale w potocznym języku i codziennej praktyce nie ma potrzeby rozróżniania takich subtelności. Dlatego też nie wszystkie możliwe do rozróżnienia barwy mają nazwy. Nawet gdyby miały, nikt by ich nie zapamiętał. Jako projektant wiem, że praktyka i wiedza profesjonalistów umożliwiają porozumiewanie się w kwestii wielkiej różnorodności kolorów. Ktoś mówi np.: „Ten zielony powinien iść bardziej w kierunku żółtego i być trochę bledszy”. Potem szukam takiego koloru we wzorniku PANTONE i pytam: „o to ci chodziło? To będzie 395”. W ten „ostensywny sposób” prawie wszystkie barwy mają nazwy we wzornikach używanych przez dekoratorów i designerów. Jednak zarówno w Japonii, jak i w Europie profesjonalni „użytkownicy barw” często narzekają, że systemy te są zbyt ubogie i nie oddają subtelności, które są im potrzebne w projektowaniu.

Nazwy kolorów istnieją w intersubiektywnym świecie kultury. Jej zaistnienie, jak twierdzi Tomasello, wynika z biologicznie uwarunkowanej zdolności rozumienia innych ludzi jako istot intencjonalnych, myślących w sposób „taki jak ja”. Tylko taka perspektywa zapewniła możliwość kulturowego uczenia się transmisji, a więc i powstanie języka¹³. Na tych uwarunkowaniach oparte jest posługiwanie się tym skonwencjonalizowanym zestawem językowych symboli barw w danej grupie społecznej. Język niejako uśrednia niewielkie różnice w możliwościach percepcyjnych. Choć oczywiście czasem przychodzi refleksja, czy inni widzą i nazywają kolory tak samo.

O ile człowiek jest w stanie widzieć miliony kolorów bezpośrednio, porównując je, to trudno mu je zapamiętać, a tym bardziej nazwać. Jeśli patrzy naraz na kilka kart o różnym nasyceniu, jasności i nieznacznie różniące się chromatyczności, potrafi je odróżnić. Gdy jednak po chwili popatrzy na kartę o podobnym kolorze, bardzo trudno będzie określić, czy jest to nowa karta, czy któraś z zestawu poprzednich¹⁴. Pewien trening pozwala utrzymać w pamięci nawet niewielkie kolorystyczne różnice. Malarze posługują się tradycyjnymi nazwami typu umbra palona i sienna naturalna na określenie brązów i tylko oni wiedzą, czym różni się od nich np. ugier palony. Jako grupa społeczna wytworzyli potrzebne im nazwy odnoszące się do wrażeń zmysłowych. Hodowcy mają nawet sześćdziesiąt określeń maści koni, a Eskimosi dwadzieścia pięć rodzajów bieli. Ma to stanowić niezbity dowód lingwistycznych relatywistów. Ale to środowisko bytowania Eskimosów wymusiło umiejętność porozumiewania się w kwestii kolorów śniegu w obrębie ich wspólnoty. Dlatego wytworzyli słowne określenia dla tych szczególnych odcieni bieli. Dla nas śnieg stał się tylko białą przeszkodą, którą trzeba usunąć, aby drogi były czarne.

¹³ M. Tomasello, *Kulturowe źródła ludzkiego poznania*, tłum. J. Rączaszek, Warszawa 2002, s. 78 nn.

¹⁴ J-G. Causse, dz. cyt., s. 34.

Środowisko

„Możesz otrzymać samochód w każdym kolorze, pod warunkiem, że będzie to kolor czarny” – tę dewizę wypowiedział Henry Ford w roku 1914 odnośnie modelu samochodu, który udało mu się sprzedać w rekordowych 15 milionach egzemplarzy. Współczesna cywilizacja jest o wiele bardziej kolorowa. Ford przy swoim achromatycznym podejściu do designu nie odniósłby dzisiaj sukcesu marketingowego przy sprzedaży popularnego samochodu. Mimo to czarny jest cały czas kolorem luksusowych limuzyn. Jeszcze kilka pokoleń wstecz można było szczęśliwie żyć, nie zdając sobie sprawy ze swojej ślepoty barw (np. daltonizmu).

Malarstwo impresjonistyczne i postimpresjonistyczne zapoczątkowało kolorowy przełom. W tym samym czasie psychologia eksperymentalna zainteresowała się barwą i zjawiskami związanymi z kontrastami silnych nasyconych kolorów. Dzisiaj dodatkowo istnieją technologie odtwarzania i kreowania barwnej rzeczywistości. Wytwarza się intensywne pigmenty i barwniki nadające kolor ubiorom i przedmiotom. W ten sposób osiągnięcia postimpresjonistycznej rewolucji upowszechniły się – silnie kontrastujące kolory stały się ważne dla wizualnej ekspresji XX wieku w wielu sferach życia.

Czy zawsze i wszędzie na świecie kolor miał takie znaczenie? John Gage przytoczył anegdotę, w której antropolog prowadzący badania terenowe nad nazwami kolorów, wyposażeni w stosowne tablice barwne, przybywają na polinezyjską wyspę. Jedyne co usłyszeli na miejscu, to: „Nie rozmawiamy tutaj dużo o kolorach”. Europa też nie zawsze była kolorowa. Barokowe malarstwo olejne często jest wręcz monochromatyczne, ogranicza się nieomal jedynie do gamy brązów. Rzeźba od czasów renesansu już nie miała kolorowych polichromii. Podobnie stało się z ubiorem – zamiłowanie do czarnych strojów miało cechować ludzi zamożnych i o wyrafinowanych w gustach¹⁵. Ale architektura, malarstwo i ubiór – w starożytnym Egipcie, Grecji, Rzymie oraz w średniowieczu i renesansie w europejskich miastach były bardzo kolorowe.

Jeśli język jest świadectwem zainteresowania jego użytkowników barwami, to warto przyjrzeć się nazewnictwu kolorów w różnych kulturach. W 1969 roku Bernt Berlin i Paul Kay przedstawili wyniki badań prowadzone na kilkudziesięciu różnych językach. Analizowali słowne określenia „podstawowych” kolorów w danym języku¹⁶. Badane osoby miały wskazać nazywany kolor na tablicy barwnej. Niejako uczyły one eksperymentatorów, co oznacza dane słowo w ich języku. W wyniku tych badań dokonano podziału języków na siedem grup przedstawiających hipotetyczne etapy ich ewolucji. Wyżej rozwinięty język miał posiadać, według Berlina i Kaya, więcej słów oznaczających kolory. Grupa pierwsza – hipotetycznie najstarsza, to języki posiadające określenie na kolor czarny i biały, a barwy mogą być jedynie jaśniejsze i ciemniejsze. Grupa druga, to języki posiadające określenie na czarny, biały, czerwony. Grupa trzecia posiadała nazwy na: czarny, biały i zielony lub żółty. Grupa czwarta na: czarny, biały, zielony i żółty. Grupa piąta dodatkowo nazwała kolor niebieski. W kolejnych grupach dołączyły jeszcze brązowy, fioletowy, różowy i szary, które trudno uznać za podstawowe, ale badacze przyjęły takie założenie¹⁷. Stało się to powodem

¹⁵ J. Gage, dz. cyt., s. 30-31.

¹⁶ D. Roberson, J. Davidoff, I. R.L. Davies, L.R. Shapiro, *Colour Categories and Category Acquisition in Himba and English*, w: *Progress in Colour Studies*, t. 2: *Psychological aspects*, red. N. Pitchford, C.P. Biggam, Amsterdam 2006, s. 159-172.

¹⁷ D. Goniądzek, dz. cyt., s. 91-99.

krytykowania tych badań przez przedstawicieli determinizmu językowego (albo szerzej determinizmu kulturowego). Ustalenia Berlina i Kaya mają bowiem świadczyć o tym, że język nie wpływa na percepcję barwy, która jest zjawiskiem jedynie biologicznym¹⁸. Nowe nazwy barw pojawiają się w języku w wyniku zmieniających się potrzeb umysłowych, psychicznych i estetycznych, czyli przemian środowiska w sensie kulturowym¹⁹. Współczesny rozwój technologii przetwarzania obrazów, barwienia i malowania, wymógł stosowanie cyfrowych systemów opisu barw.

W niektórych językach afrykańskich nie występują słowa na określenie koloru niebieskiego. Przedmioty dla Europejczyków granatowe określane są jako czarne. Wynika to z faktu, że mieszkańcy tropików są stale wystawieni na silne promieniowanie ultrafioletowe, skutkujące zmętnieniem soczewki zażółcającym obraz. Powoduje to ślepotę na krótkie fale świetlne. Być może skłonność do mętnienia soczewki jest ewolucyjną adaptacją pewnych populacji, służącą ochronie oczu. Jest to sytuacja środowiskowo uwarunkowanej ślepoty na niebieską barwę – kolor ten nie będzie więc miał językowego określenia²⁰. Dlatego hipotetyczne grupy językowe nieposiadające słowa „niebieski” nie muszą być wcale bardziej pierwotne czy mniej rozwinięte.

Teorie

Użycie alfabetu fonetycznego przez starożytnych Fenicjan przeniosło ludzi do cywilizacji, kładącej do dzisiaj nacisk na racjonalność myśli, którą można utrwalić pismem. Jesteśmy dziećmi tej rewolucji, choć poniekąd nie zdajemy sobie sprawy z tego, jak zmieniło to nasze doznawanie zjawiskowości świata w najbardziej podstawowym sensie. Pismo zredukowało doznawanie wielu wymiarów zmysłowych do jednego – wizualnego. Ta koncentracja na wzroku, a zwłaszcza precyzja oraz związana z nią sekwencyjność i powtarzalność, wynikała z dyscypliny myśli wymuszonej przez pismo²¹. Zaowocowała ona powstawaniem teorii barwy i nadała im pewną strukturę.

Czas wrócić do przedstawionych wcześniej badań Berlina i Kaya. Ich hipoteza o historycznym rozwoju terminologii barw pokrywa się w pewnym stopniu z kolejnymi teoriami barw sformułowanymi przez starożytnych filozofów. Pierwsze znane rozważania o powstawaniu kolorów sformułował Empedokles przy okazji swojej koncepcji metafizycznej: barwy powstają z mieszania żywiołów. Przy czym pierwotnie w jego myśli nie było analogii do mieszania pigmentów. Tylko ogień jest biały, a woda czarna, natomiast pozostałe dwa elementy, ziemia i powietrze nie mają określonego koloru. Można to odnieść do pierwszej grupy języków według badań Berlina i Kaya. Barwa powstaje z odpowiednich proporcji poszczególnych elementów i tak np. krew zawdzięcza swój kolor równym częściom wszystkich czterech żywiołów, które w sobie zawiera. Przy czym nie miał być to przepis na uzyskanie koloru krwistego, a wyjaśnienie, jak powstaje substancja, którą jest krew, posiadająca przy okazji pewien kolor. Późniejsi interpretatorzy Empedoklesa dodali czerwony i żółty jako właściwość pozostałych elementów pierwotnie pozbawianych konkretnej barwy. Widać tu

¹⁸ J. Gage, dz. cyt., s. 29.

¹⁹ Por. M. Rzepińska, *Historia koloru w dziejach malarstwa europejskiego*, Kraków 1983, s. 80-81.

²⁰ J-G. Causse, dz. cyt., s. 47nn.

²¹ M. McLuhan, *Galaktyka Gutenberga*, tłum. E. Różalska, w: M. McLuhan, *Wybór tekstów*, red. E. McLuhan, F. Zingrone, tłum. E. Różalska, J.M. Stokłosa, Poznań 2001, s. 165-171.

analogię do trzeciej grupy języków według badań Berlina i Kaya. Demokryt stworzył rozwiniętą teorię spostrzegania kolorów. Źródła pośrednie mówią, że również wyróżniał cztery barwy podstawowe: czerń, biel, czerwień i żółć, co związane było oczywiście z kształtem, wielkością i ułożeniem atomów. Z kolei Platon najpełniej przedstawia swoje poglądy na temat koloru w *Timajosie*. Pisał tam o płomieniach wypływających z każdego ciała. Kolory podstawowe to znów biały i czarny, ale przy powstawaniu innych barw biorą udział jeszcze dodatkowe rodzaje ognia: blask i lśnienie, jakby refleksy czy migotania. Pierwszy kolor pochodny dla Platona to kolor krwisty. Dalej przedstawił zawiłe dociekania, jak uzyskać różne barwy poprzez mieszanie ich ze sobą. Arystoteles również przyjął za barwy podstawowe czarną i białą, które wchodzi w skład wszystkich pozostałych barw. Klasyczni filozofowie greccy widzą różnorodność kolorów, jednak, dociekając istoty rzeczy, tworzą uogólnienie, które jakby cofa się do prymitywnej konceptualizacji – barwy są ułożone na osi od najciemniejszej do najjaśniejszej. Obserwując prace malarzy, próbują, poprzez pewną analogię do tego procesu, tworzyć uzupełnienie swych metafizycznych koncepcji. Opisy te są mętne, zupełnie nieprzydatne w wytwarzaniu barw i pracy artystów²².

Chronologiczne zestawienie starożytnych teorii barw z historycznymi grupami języków przyjętymi przez Berlina i Kaya może stanowić dowód na koncepcję relatywistów językowych – język determinuje myśli i spostrzeżenia. Celem starożytnych filozofów nie było stworzenie teorii barw we współczesnym sensie, czyli takiej, którą można opisać mechanizm widzenia i sposoby generowania barwy. Barwa dla starożytnych Greków to też jakby cecha powierzchni, na którą składa się nie tylko chromatyczność, ale i np. gładkość albo chropawość. Współcześnie być może za sprawą technologii i odkryć w fizyce światła myśli się o kolorach jako o fragmentach widma. Dlatego szukamy np. w *Timajosie* szczegółów powstawania konkretnego koloru jako chromatyczności. Jednak opisy te są jedynie wyrazem dążności do ujęcia ilościowego wszelkich zjawisk przyrodniczych. Tak więc odkrycie opisywalnych matematycznie praw dotyczących natury falowej światła jest kontynuacją dzieła Platona. Podobnie czyni dwudziestowieczna neuropsychologia, opisując np. sposób kodowania informacji o barwie przesyłanej do kory wzrokowej przez komórki zwojowe.

Teoretycy i teologowie średniowiecza interesowali się barwą w sensie mistycznym i symbolicznym. Nie podejmowali problemów związanych z percepcją i teorią wyjaśniającą własności barwy w sensie fizycznym. Wspaniałość zjawisk barwnych dawała ludziom średniowiecza kontakt z tym, co nadprzyrodzone.

Dopiero w renesansie malarze poddają krytyce filozoficzne teorie barwy. Dysponują doświadczeniem i obserwacjami, dlatego ich poglądy nie są częścią filozoficzną spekulacją, o której pisał Leone Battista Alberti: „Na cóż bowiem przyda się malarzowi gdy wie, w jaki sposób powstaje dana barwa z połączenia ciała rzadkiego z gęstym czy gorącego z suchym, czy zimnego z wilgotnym?”²³. Alberti podał w wątpliwość teorię Arystotelesa, jakoby barwy podstawowe były dwie, czarna i biała, a pozostałe powstają z ich mieszania. Przyjmuje trzy barwy chromatyczne za podstawowe: zielony, czerwony i niebieski i jako czwarty dodaje kolor popiołu. Zaskakujące jest, że Alberti wymienia trzy barwy chromatyczne, podstawowe

²² Zob. A. Pacewicz, *Przedarystotelesowskie rozważania nad kolorem*, w: *Percepcja. Między estetyką a epistemologią*, red. R. Konik, D. Leszczyński, Wrocław 2010, s. 15-30.

²³ L.B. Alberti, *O malarstwie*, tłum. M. Komorowski, w: *Myśliciele, kronikarze i artyści o sztuce. Od starożytności do 1500 roku*, wybrał i oprac. J. Białostocki, Gdańsk 2001, s. 276.

w teorii Younga-Helmoltza. Dodaje jedynie achromatyczną szarość popiołu, aby być w zgodzie z tradycją czterech żywiołów. W dalszej części *Della pittura* można przeczytać: „że biały i czarny nie są kolorami, lecz że tak powiem wpływają na zmianę innych kolorów”²⁴. Podobnie Leonardo da Vinci czasem nie może uwolnić się od teorii żywiołów przypisanych kolorom. Oprócz białego i czarnego wymienia kolejne odpowiednie dla czterech elementów: żółty, zielony, błękitny, czerwony. Jest to najmniej nowatorska część teorii barw Leonarda. Wnikliwe obserwacje, a także eksperymenty oparte o ilościowe pomiary odmierzanych barwników – wszystko to wykracza poza ówczesną wiedzę i praktykę badawczą. Jego opisy świadczą o świadomości złożonego wpływu intensywności światła na recepcję barw oraz o wiedzy na temat wzajemnego wpływu sąsiednich barw na ich – jak pisał – „piękność”. Znał więc prawa względności koloru związane ze zjawiskiem kontrastu równoczesnego, systematycznie opisane w XIX wieku przez Michela Eugène’a Chevreula²⁵.

Po dziś dzień teoria koloru to modele ujmujące spektrum w różne geometryczne kształty, tworzące dowody na prawidłowe zasady mieszania i zestawiania barw. Współczesne cyfrowe metody opisu barw, według których projektanci kreują otoczenie, nie wychodzą poza ten sposób myślenia. Dlatego zaskakujące mogą wydać się stwierdzenia Ludwiga Wittgensteina sformułowane na początku lat pięćdziesiątych. Wprawdzie nie pisał on o modelach typu CMYK i cyfrowych przestrzeniach barwnych, ale odniósł się do wyrosłej z tego samego ducha *Teorii kolorów* Johanna Wolfganga Goethego. Wittgenstein pisał:

Koncepcja Goethego powstawania barw widma nie jest teorią, która okazała się niezadowolająca lecz w ogóle nie jest żadną teorią. Nie pozwala na przewidywania. Jest raczej niejasnym schematem myślowym w rodzaju występujących w psychologii Jamesa. Nie ma też *experimentum crucis*, które rozstrzygnęłoby na korzyść lub niekorzyść tej koncepcji²⁶.

Goethe był pierwszym myślicielem, który przyjął perspektywę badania procesów postrzegania barwy. Tworzył swą teorię w opozycji do Isaaca Newtona, wykraczając poza fizykę i opierając się na doświadczeniu mieszania pigmentów, nie rozumiejąc jeszcze zasad syntezy addytywnej. Mimo to przejął od Newtona kolorystyczny diagram koła jako pewien schemat pojęciowy, a jego spekulacje na temat barwy odrywają się od opisu rzeczywistości w sensie fizycznym i fizjologicznym. Dlatego myśl Goethego jest pełna ezoteryki:

Wreszcie kolor może mieć mistyczną aluzję, można łatwo przypuszczać, ponieważ skoro każdy diagram, na którym można przedstawić różnorodność kolorów, wskazuje na te pierwotne relacje, które należą zarówno do natury, jak i do narządu wzroku [...]. Matematyk chwali wartość i zastosowanie trójkąta; trójkąt jest czczony przez mistyka; wielu przyznaje się do wyrażenia nim za pomocą diagramów między innymi, prawa zjawisk kolorów; w tym przypadku rzeczywiście dochodzimy do starożytnego tajemniczego sześciokąta²⁷.

²⁴ Tamże, s. 277.

²⁵ M. Rzepińska, dz. cyt., s. 246-250.

²⁶ L. Wittgenstein, *Uwagi o barwach*, Warszawa 2014, s. 26.

²⁷ J.W. von Goethe, *Goethe's Theory of Colours*, tłum. Ch. Lock Eastlake, London 1840, s. 529.

Tak wyrażała się naiwna wiara Goethego, że – wpisując trójkąt albo sześciokąt w koło barw – można rozpoznać naturę koloru. Adresował tę swoją teorię do praktyków barwy – malarzy. Jest dość znamienne, że jego koncepcje nie znalazły odbicia w zainteresowaniach artystów, niejako odkrywających kolor dla malarstwa w XIX wieku. Seurat, Gauguin czy Van Gogh pozostawali raczej pod wpływem dokonań Cheuvreula. Nie był on poetą jak Goethe, a „teoretykiem koloru” stał się jako chemik pracujący przy wytwarzaniu barwników dla wytwórni gobelinów. Znaczenie dla malarstwa zyskał jako odkrywca zjawiska kontrastu równoczesnego, dotyczącego percepcji barwy.

Kolor interesował filozofów głównie jako fragment teorii bytu i wiedzy o przyrodzie. Stał się też dobrym przykładem własności subiektywnych w rozważaniach teoriopoznawczych. Problemy takie jak: wpływ koloru na emocje i psychikę, podstawowe własności percepcyjne, praktyczne preferencje w wyborze barwy, są nieomal pomijane w filozofii do czasów Goethego.

Gry językowe i sztuka

Wiele praw związanych z ludzką percepcją, emocjami, a nawet neurofizjologią widzenia było użytych przez genialnych artystów, zanim nauka posiadała narzędzia do ich opisu. Sztuka bada w pewnym sensie to, czego nie można opisać. W ten sposób artyści dotykają ukrytych prawd. Później nauka niektóre z nich odkrywa. Bogactwo złożonego zjawiska barwy jest niezmierne. Opis wrażeń przy użyciu nazw kolorów wyjmuje te doświadczenia percepcyjne z kontekstu, upraszcza i sprowadza je, jak to nazywał Wittgenstein, do gier językowych. Dzisiaj są to również gry numeryczne na przestrzeniach barwnych. Narzucają one myślenie o barwie, dlatego tak zaskakujące mogą wydać się ustalenia językoznawców na temat odległych kultur. Badania te dokonywane są przy użyciu barwnych tablic. Ich układ odzwierciedla europejskie schematy pojęciowe wpływające na język, którym posługują się Europejczycy. Te pułapki sposobu myślenia o barwach ukazał Wittgenstein:

Gdyby zieleń nie była barwą pośrednią między barwą żółtą a barwą niebieską, to czy nie mogliby mimo to być ludzie, dla których istniałaby niebieskawa żółć, czerwonawa zieleń?²⁸

Pojęcie barw dopełniających wydaje się bardzo wygodne w projektowaniu komunikacji wizualnej i daje proste schematy używania farb dla malarzy. Zawęża ono zakres obserwacji i poszukiwań, co dla artysty może być ograniczające. Ten problem Wittgenstein uzmysłowił słowami:

Ktoś obznajomiony z czerwoną zielenią powinien być zdolny do utworzenia ciągu barw, który zaczynałby się od czerwieni, kończył zielenią i, przynajmniej dla nas, stanowił ciągle przejście między nimi. Mogłoby się jednak okazać później, że tam gdzie my zawsze widzimy ten sam odcień, np. brązu, on widzi raz brąz, innym razem czerwonawą zieleń. Że na przykład dwie substancje chemiczne dla nas tej samej barwy, potrafi rozróżnić kolorystycznie i jedną nazwie brązową a drugą czerwonawo zielenią²⁹.

²⁸ L. Wittgenstein, dz. cyt., s. 9.

²⁹ Tamże, s. 10.

Poszukiwania takie prowadzone były już wcześniej w Bauhausie. W roku 1921 Paul Klee w ćwiczeniach *Gradacja kryształu* próbował tworzyć skalę, w której pojawia się właśnie „czerwonawa zieleń”³⁰. Niezależnie od tego, czy Wittgenstein wiedział o tych malarskich eksperymentach, czy nie, przykład ten uzmysławia, jak sztuka może przekraczać teorię i pozwala ukazywać to, co niewypowiadalne w poszukiwaniach samoświadomej istoty, jaką jest człowiek.

Zmysłowe mechanizmy percepcyjne wraz z kolorem znalazły się jakby na marginesie dzisiejszych dociekań artystów. Może sztuka tylko używa języka spostrzeżeń, a jej istota dotyczy ujmowania świata w wymiarze duchowym i egzystencjalnym? Nie zmienia to faktu, że filozofia i nauka stosują dowodową argumentację i kryterium prawdy jedynie na poziomie wyrażanych językowo pojęć. Sztuka jest wolna od tych ograniczeń.

Bibliografia

- Alberti L. B., *O malarstwie*, tłum. M. Komorowski, w: *Myśliciele, kronikarze i artyści o sztuce. Od starożytności do 1500 roku*, wybrał i oprac. J. Białostocki, Gdańsk 2001, s. 276.
- Causse J-G., *Niesamowita moc kolorów*, tłum. M. Chojnacki, Katowice 2015.
- Francuz P., *Imagia. W kierunku neurokognitywnej teorii obrazu*, Lublin 2013, <https://afterimagia.pl/barwa/> (dostęp 28.05.2021).
- Gage J., *Kolor i znaczenie. Sztuka, nauka i symbolika*, tłum. J. Holzman, A. Żakiewicz, Kraków 2010.
- Goethe J.W. von, *Goethe's Theory of Colours*, tłum. Ch. Lock Eastlake, London 1840.
- Gonigroszek D., „Językowy obraz świata barw i kolorów jako przykład kulturowych różnic w językach, „Językoznawstwo: Współczesne Badania, Problemy i Analizy Językoznawcze”, 2008, nr 1 (2), s. 91-99.
- McLuhan M., *Wybór tekstów*, red. E. McLuhan, F. Zingrone, tłum. E. Różalska, J.M. Stokłosa, Poznań 2001.
- Młodkowski J., *Aktywność wizualna człowieka*, Warszawa-Łódź 1998.
- Pacewicz A., *Przedarystotelesowskie rozważania nad kolorem*, w: *Percepcja. Między estetyką a epistemologią*, red. R. Konik, D. Leszczyński, Wrocław 2010, s. 11-31.
- Roberson D., Davidoff J., Davies I.R. L., Shapiro L. R., *Colour Categories and Category Acquisition in Himba and English*, w: *Progress in Colour Studies*, t. 2: *Psychological aspects*, red. N. Pitchford, C.P. Biggam, Amsterdam 2006, s. 159-172.
- Rzepińska M., *Historia koloru w dziejach malarstwa europejskiego*, Kraków 1983.
- Teofrast, *Pisma filozoficzne i wybrane pisma przyrodnicze*, tłum. i oprac. D. Gromska, J. Schnayder, Warszawa 1963.
- Tomasello M., *Kulturowe źródła ludzkiego poznania*, tłum. J. Rączaszek, Warszawa 2002.
- Wittgenstein L., *Uwagi o barwach*, Warszawa 2014.
- Wróblewski A. K., *Historia fizyki od czasów najdawniejszych do współczesności*, Warszawa 2015.

³⁰ J. Gage, dz. cyt., s. 30 i 58.