

Bibliografia

1. Malinowska M., Tokarz-Deptuła B., Deptuła W., (2017). Mikrobiom człowieka. 56, 33–42.
2. Cryan JF., O’Riordan KJ., Cowan CSM., Sandhu KV., Bastiaanssen TFS., i wsp., (2019). The Microbiota-Gut-Brain Axis. *Physiol Rev.* 99, 1877–2013.
3. Sirisinha S., (2016). The potential impact of gut microbiota on your health: Current status and future challenges. *APJAI* 34, 249–264.
4. Kunicki-Goldfinger W., Frejlik S., (1977). Podstawy mikrobiologii i immunologii. Warszawa 1977, PWN.
5. Li B., He Y., Ma J., Huang P., Du J., Cao L., Wang Y., Xiao Q., Tang H., Chen S., (2019). Mild cognitive impairment has similar alterations as Alzheimer’s disease in gut microbiota. *Theoretical Article. Alzheimer and Dementia* 15, 1357–1366.
6. Innis SM., (2007). Dietary (n-3) Fatty Acids and Brain Development. *American Society for Nutrition. J. Nutr.* 137, 855–859.

Źródła internetowe:

7. <http://wikipedia.org>; <http://en.wikipedia.org>
8. <http://forumpediatrii.pl/artukul/fakty-i-mity-probiotyki-mikrobiota-a-mikrobiom>. W. Cichy 17, 2017
9. <http://zdrowejelita.edu.pl/dysbioza>
10. <http://lifescience.pl/blog/mikrobiota-i-jej-wplyw-na-organizm-czlowieka>
11. <http://www.mp.pl/pacjent/choroby-zakazne>

Katarzyna Stachowicz. Zakład Neurobiologii, Instytut Farmakologii imienia Jerzego Maja Polskiej Akademii Nauk, Kraków.
E-mail: stachow@if-pan.krakow.pl, ORCID 0000-0003-4330-7128

KOLORY CZYLI „FIZYCZNA EGZYSTENCJA”

Jerzy Kuczyński (Katowice)

Streszczenie

Na prostym przykładzie mieszania barw pokazuje się, że w jego wyniku można uzyskać barwy nieistniejące w rzeczywistości fizycznej. Stąd sugeruje się pewną ostrożność w interpretacji pomiarów.

Abstract

Consideration of a simple case of mixing of colours shows that one can obtain in this case colours not existing in physics. Therefore, some caution is recommended.

Doświadczalne podejście do rzeczywistości

Pewne rzeczy wydają się oczywiste i nie zdają się podlegać dyskusji. W szczególności wydaje się, że dla każdego jest jasne, co oznacza istnienie w sensie fizycznym. Decydującym argumentem wydaje się doświadczenie. Istnieje to, co można zmierzyć, zważyć, zarejestrować. Jeszcze ogólniej, jeżeli można z „tym” coś zrobić, to to coś istnieje. A jednak to nieprawda. Nie jest trudno przedstawić wiele przy-

kładów pokazujących, że takie rozumowanie jest po prostu fałszywe. Klasycznym tego przykładem są czarownice. Oczywiście, że istnieją, bo przecież są niepodważalne historyczne dowody, że kilkadziesiąt tysięcy czarownic spalono. Dla niektórych poprzednie zdanie jest dowcipem, jednak chwila refleksji przekonuje, że ten dowcip niesie głęboką prawdę⁽¹⁾, tę mianowicie, że pomiar nie jest dowodem istnienia. Jeżeli uważamy, że mamy coś (tu akurat kogoś, ale w tym przypadku to bez znaczenia) i uważamy, że

to coś ma jakieś własności, to najczęściej własności te daje się zmierzyć. Czarownice miały mieć pewne cechy charakterystyczne, np. miały być nienaturalnie lekkie czy posiadać na ciele punkt nieczuły na ból. Dlatego te własności można było zmierzyć, np. pływając je czy nakłuwając je igłą i w ten sposób całkowicie eksperymentalnie „udowodnić” bycie czarownicą [5]. Już choćby nawet z powodu pojawiających się tu możliwości nadużyć, które w przeszłości wielokrotnie zdarzały się (np. wspomniane czarownice!) a współcześnie nie są wcale wykluczone, warto problem przemyśleć. Wydaje się, że można to zrobić najskuteczniej w przypadku jakiegoś neutralnego i dobrze znanego problemu – neutralnego, by nie wzbudzać zbędnych emocji, a dobrze znanego, by „nie łowić ryb w mętnej wodzie”.

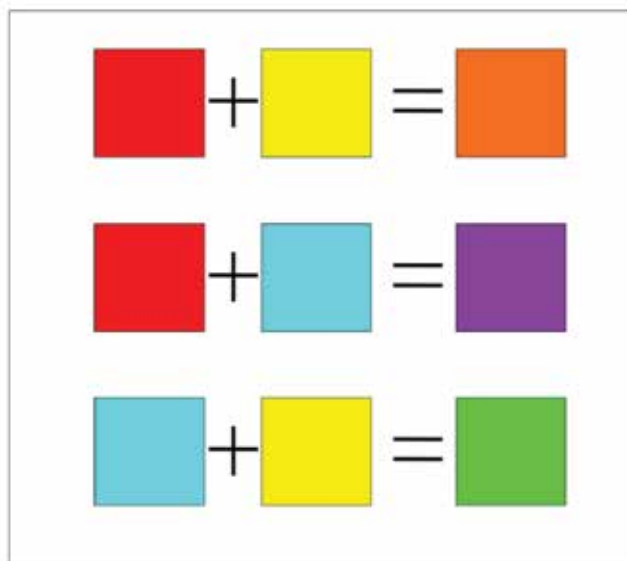
Fizyczne istnienie

Na wstępie trzeba jasno powiedzieć, że rozważamy problem, czy coś istnieje w sensie fizycznym, a nie w żadnym innym. Np. krasnoludki niewątpliwie istnieją w bajkach, ale nie ma to żadnego związku z fizycznym istnieniem. Tu chodzi o coś (lub kogoś), co miałoby istnieć w naszej rzeczywistości, miało określone własności i własności te można by poprawnie i bez dwuznaczności mierzyć. Pytanie, które tu stawiamy, to czy z tych pomiarów można wyciągnąć wniosek o fizycznym istnieniu. W ogólnym przypadku jest dość trudno określić, kiedy pomiar dowodzi istnienia. Dlatego warto przyjrzeć się jakiemuś przykładowi.

a)



b)



Ryc. 1. Dodawanie barw. a) Dodawanie barw realizowane przez nakładanie kolorów. b) Symboliczny zapis tego samego zjawiska.

Kolory

Takim bardzo prostym i – co ważne – znanym każdemu, a dobrze zbadanym od strony naukowej przykładem zjawiska rejestracji czegoś, co w rzeczywistości fizycznie nie istnieje, jest kolor. Bardzo często twierdzi się, że kolor i długość fali to to samo [7]. Odpowiada to popularnemu określeniu „wszystkie kolory tęczy”. Bo tęcza to oczywiście fizyka i kolory tęczy fizycznie istnieją. Są po prostu falami elektromagnetycznymi o dobrze określonych własnościach fizycznych. Nietrudno zauważyć, że jeżeli kolory tęczy i wrażenie barwny są tożsame, to „dodawanie” kolorów powinno odpowiadać pewnym własnościom „dodawania” charakteryzujących ich wielkości fizycznych. Jednak łatwo zauważyć, że tak nie jest. Np. dodając do koloru czerwonego (fala w tęczy dość długa) kolor niebieski (fala dość krótka) dostajemy fiolet odpowiadający fali bardzo krótkiej (Ryc. 1). Mało tego, nietrudno zauważyć, że barw możliwych do zidentyfikowania okiem ludzkim jest więcej niż kolorów tęczy – odcieni purpury nie ma w tęczy, na dodatek purpury sąsiadują zarówno z falami długimi, jak i z tymi najkrótszymi (Ryc. 2). Barwy w sensie wrażenia koloru stanowią coś w rodzaju wektora. Tworząc kolorowy obraz na ekranie telewizora dodajemy do siebie trzy różne barwy



Ryc. 2. Barwy przechodzą jedna w drugą w ciągły sposób zamykając się w koło. Najkrótsze i najdłuższe fale występujące w tęczy łączą nieistniejące w niej odcienie purpury.

– telewizor kolorowy to jakby trzy telewizory wyświetlające jednocześnie trzy jednobarwne obrazy. W każdym punkcie ekranu mamy trzy kolory o różnej jasności, które w oku ludzkim dają wrażenie pożądanej barwy. Można dodać, że barwa uzyskana w wyniku mieszania kolorów jest nieodróżnialna od „tej samej” barwy uzyskanej w wyniku pomieszania innych

kolorów. Jak widać z codziennego „telewizyjnego” doświadczenia, rzecz działa znakomicie – obraz nie tylko, że jest dobrej jakości, to jeszcze nie psuje się mimo nieraz gwałtownego ruchu postaci na ekranie. Wniosek jest oczywisty – mamy prawie perfekcyjną władzę nad kolorami.

Oko jako odbiornik barwy

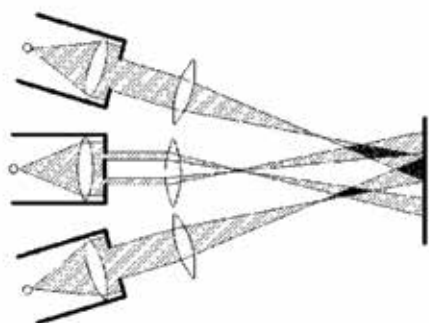
Nietrudno też wyjaśnić, jak to działa z punktu widzenia oka. Tu jest podobnie jak w telewizorze – jednocześnie nakładają się trzy obrazy. Powiedzmy czerwony, zielony i niebieski⁽²⁾. Jedyna różnica to ta, że w danym punkcie ekranu telewizyjnego mamy emisję trzech kolorów, a w oku mamy ich odbiór. Jednoczesne nałożenie się w danym punkcie oka tych kolorów tworzy odpowiednią barwę. W przypadku oka światło odbierają trzy rodzaje organów zwanych czopkami, reagujących na te trzy barwy. Aby było nieco „taniej” czopków jest stosunkowo niewiele. Ostry obraz tworzą w oku pręciki, których jest dużo, ale nie reagują na długości fal. Na ten ostry obraz czopki „nakładają” barwę. Wystarczy, że dość spore obszary obrazu zostają zabarwione, by w mózgu powstał kolorowy obraz tego, na co patrzymy. Chwila zastanowienia i zauważymy, że możemy mieć pięć rodzajów upośledzenia widzenia. I rzeczywiście – tyle medycznie jest rejestrowane. Po pierwsze możemy nie mieć któregoś rodzaju czopków. Ludzi o takim upośledzeniu nazywamy dichromatami (widzącymi dwa kolory). Są trzy takie możliwości. Protanopia nie mają czopków odpowiedzialnych za rozpoznawanie fal dłuższych, czyli czerwieni. Deuteranopia⁽³⁾ nie widzą zieleni (mylą ją z czerwienią). Najrzadsze z tych schorzeń to tritanopia, czyli nie rozpoznawanie fal krótkich. I to są trzy wady. Możliwe są jeszcze dwie. Ludzi dotkniętych tą wadą nazywamy achromatami. Achromaci pręcikowi widzą jak w czarno-białym telewizorze, czyli ostro, ale bez kolorów. Ich oczy pozbawione są czopków. Achromaci czopkowi to tacy, którzy nie mają pręcików, a tylko czopki jednego rodzaju. Ludzie ci nie tylko nie widzą barwnie, ale również, ze względu na to, że czopków jest niewiele, widzą obraz rozmyty.

Związek fizyki z fizjologią, czyli trochę matematyki

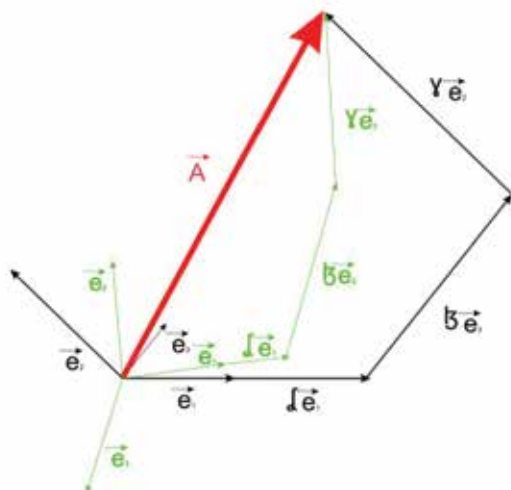
Jak widać, mamy dość jasny obraz, skąd biorą się barwy i jaki jest ich związek z tęczą. Powiedzmy sobie szczerze – niewielki. Tęcza to fizyka, a widzenie barwne to fizjologia i psychologia – oko rejestrując wielkość fizyczną (długość fali) „przerabia” ją za pomocą czopków na wielkość trójskładnikową – tyle

czerwieni, tyle zieleni i tyle niebieskiego⁽⁴⁾. Daje to dość nieoczekiwane efekty. Z jednej strony udaje się uzyskać daną barwę na wiele sposobów w wyniku mieszania różnych kolorów (Ryc. 3). Jeśli wyobrazimy sobie, że dany kolor jest pewnym stanem – punktem w trójwymiarowej przestrzeni (oczywiście ta przestrzeń istnieje tylko w sensie abstrakcji), to osiągnięcie tego punktu (stanu) jest możliwe różnymi drogami. Odpowiada to z grubsza temu, że można dany wektor uzyskać przez dodawanie kombinacji liniowej „wektorów bazowych” (rys. 2). Można by to

a)



b2)



Ryc. 3. a) Oświetlając ekran przez trzy „monochromatyczne” reflektory i zmieniając intensywność światła każdego z nich możemy uzyskać dowolny kolor.

b1) Mając trzy niezależne wektory (e_1, e_2, e_3), zwane wektorami bazowymi, przez wydłużanie ich, czyli mnożenie (tu przez liczby α, β, γ) oraz dodawanie zgodnie z regułą dodawania wektorów możemy uzyskać dowolny wektor. Mnożenie odpowiada zmniejszaniu i zwiększaniu jasności świecenia reflektorów z rysunku „a”.

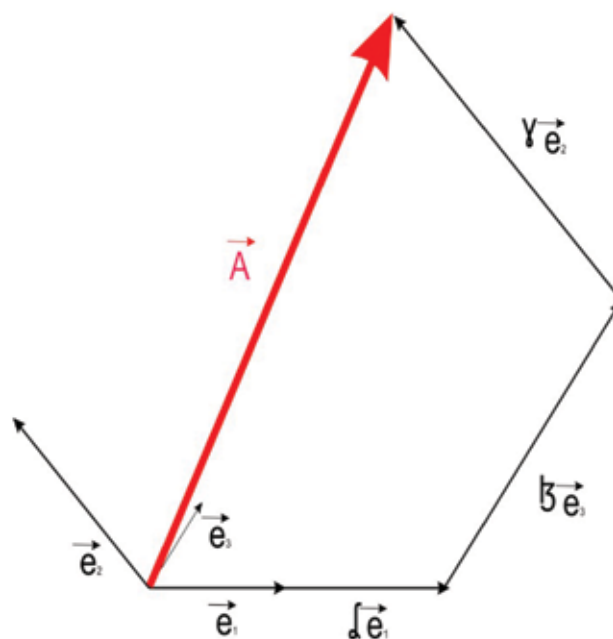
b2) To samo możemy uzyskać biorąc inny zestaw wektorów bazowych (tu odróżnionych kolorami, niebieskim i zielonym). W przypadku „a” innemu zestawowi wektorów bazowych odpowiada inny zestaw kolorów emitowanych przez reflektory. W przypadku dodawania barw liczby „mnożące” wektory bazowe α, β, γ należą do określonych przedziałów zależnych od wyboru barw, a te ostatnie można wybrać tak, by współczynniki były zawsze dodatnie. Na rysunku „b2” ze względu na czytelność niektóre barwy są mnożone przez ujemne współczynniki.

opisać wzorem:

$$A = e_1\alpha + e_2\beta + e_3\gamma \quad (*)$$

który czytamy: barwę A uzyskujemy pobudzając czopek typu „1” ilością światła α , czopek typu „2” ilością β , a czopek typu „3” ilością γ . Oczywiście to samo można powiedzieć w formie „doświadczalnej” – aby uzyskać kolor A mieszamy w stosunkach α, β

b1)



i γ , światła rodzaju „1”, „2”, „3”. Jednak nietrudno zauważyć, że wybór „kolorów podstawowych” jest dość dowolny. Czyli daną barwę można uzyskać na wiele sposobów. Odpowiada to dowolności wyboru „wektorów bazowych” (Ryc. 3.) – w geometrii można jako wektory bazowe wybrać dowolne nierównoległe wektory zaczepione w jednym punkcie (początku układu współrzędnych). To ostatnie jest oczywiste – dwa równoległe wektory (zaczepione w tym samym punkcie) można wzajemnie w siebie przekształcić w wyniku mnożenia przez jedną liczbę, czyli geometrycznie przez wydłużanie lub skracanie, a „barwnie” przez wzmacnianie lub osłabianie. Tym samym takie dwa „wektory kolorowe” z tego punktu widzenia są tym samym kolorem. Wracając do kolorów, okazuje się nawet, że czasem można „dodawać” ujemną wartość koloru – niektórych kolorów nie da się uzyskać mieszając podstawowe kolory. Możliwe jednak w wyniku mieszania dwóch kolorów uzyskanie koloru, który wynika z domieszania dożądanego koloru trzeciego koloru bazowego. Rachunkowo wygląda to tak:

$$B + \gamma e_3 = e_1\alpha + e_2\beta \quad (**)$$

czyli „stosując matematykę”

$$B = e_1\alpha + e_2\beta - e_3\gamma$$

Z naszego punktu widzenia znacznie istotniejsze jest, że można również uzyskać kolory, którym nie odpowiada żadna długość fali w tęczy. Te kolory to odcienie purpury (Ryc. 2). Ogólnie rzecz biorąc kolory można ustawić w kółko. Zaczynając czerwieni, poprzez żółć i zielen do niebieskiego oraz fioletowego (czyli tak jak w tęczy), by przez purpurę... wrócić do czerwieni. I w tym momencie pojawia się problem, jakim jest zakres współczynników α , β i γ we wzorach (*) i (**). Oczywiście zależy to od przyjętych „wektorów bazowych” e_i , czyli od wyboru kolorów podstawowych. Znowu, nie wchodząc w szczegóły zakresy tych współczynników są ograniczone i można wybrać takie e_i , by wszystkie współczynniki we wzorze (*) były dodatnie, a wszystkie znane barwy dało się uzyskać wyniku mieszania trzech kolorów odpowiadającym takiemu wyborowi e_i . Wtedy oczywiście sytuacja opisana wzorem (**) nie występuje. W praktyce technicznej właśnie tak się postępuje.

Jakie jeszcze kolory mogą istnieć

Problem z dichromatami sugeruje jednak jeszcze jedną możliwość. A co by było, gdyby czopków były cztery rodzaje? Okazuje się, że taka sytuacja realizuje się w przyrodzie, choć jak na razie nie udało się opisać wrażeń barwnych takiej osoby. Po prostu u ludzi nie opisano takiego jednoznacznego, dobrze opisanego przypadku, a przynajmniej autor takiego przypadku nie zna. Wiadomo jednak, gdzie należy szukać. Otóż trzeba szukać wśród kobiet. Jak wiadomo, kobiety lepiej niż mężczyźni rozróżniają kolory, może więc wśród nich da się znaleźć przypadki tetrachromatów, czyli osób widzących „czterokolorowo”. Rzeczywiście – jest trochę takich doniesień. Spotyka się twierdzenie, że nawet kilka procent kobiet ma dodatkowy rodzaj czopka o czułości gdzieś między czerwienią a zielenią [2]. Niestety – autorowi nie udało się doczytać, jakie wrażenia barwnie miałyby tak wyposażone kobiety odczuwać. Przypomina to trochę sytuację Daltona – człowiek widzący barwy w jakiś sposób nie zauważa tego, że kto inny widzi świat inaczej i orientuje się w sytuacji dopiero w zderzeniu z reakcjami innych. A prawie każdy człowiek widzi barwy nieco inaczej. Dodatkowo da się rozróżnianie barw kształcić. Mało zainteresowany kolorami mężczyzna rozróżnia (z trudem!) kilkadziesiąt kolorów. Wykształcone oko artysty malarza podobno rozróżnia ich kilkadziesiąt tysięcy. Tym samym próba wyłuskania z tej ogromnej ilości odcieni „czterokolorowości” nie jest łatwa. Niewątpliwie tetrachromatami są

niektóre zwierzęta. Ptaki i gady w większości widzą „czterokolorowo”, a niektóre owady podobno widzą tych kolorów jeszcze więcej. Dodatkowo problem jeszcze się komplikuje ze względu na to, że niektóre zwierzęta rejestrują inny niż ludzie zakres widma. Czasem węższy, ale często dużo szerszy. Jak widać problem jest dosyć skomplikowany, ciekawy i istotny. To ostatnie także dlatego, że barwność obrazu świata to nie tylko wrażenia estetyczne, ale i finansowe (kolorowe przedmioty sprzedają się lepiej!). Nie to jednak tu jest najistotniejsze.

Realność koloru

Przypomnijmy sobie, że zaczęliśmy od realności pomiaru. Oczywiście da się zmierzyć wrażenie kolorów. Czy jednak naprawdę kolory istnieją w przyrodzie? Idąc za sugestią multichromatyzmu trzeba stwierdzić, że kolory da się „produkować”. Przynajmniej da się taką produkcję wyobrazić. Powiedzmy mamy oko monochromatyczne, dokładamy drugi odbiornik światła, o innej charakterystyce, i mamy oko dichromatyczne. A dalej już idzie bez ograniczeń – dodajemy „czopki”, zmieniamy ich czułości i przesuwamy ich charakterystyki na widmie, dostając w ten sposób dowolnie multibarwne obrazy. Pojawia się problem: czy po prostu z mniejszą lub większą precyzją odcytujemy widmo, czy tworzymy coraz to inne rodzaje barw. Przypadek istnienia kolorów niewystępujących w tęczy oraz wiedza o eksperymentalnym stwierdzeniu czarownic sugeruje, że jednak barwy tworzymy, tak jak teoria własności fizycznych czarownic umożliwiła ich identyfikację. Ponieważ ten sam kolor (wrażenie uzyskane w oku) można uzyskać przez niemal dowolną ilość różnych mieszanin długości fal, czyli ten sam kolor odpowiada dużej (formalnie nieskończonej) ilości różnych mieszanin światła o różnych długościach fal, czyli różnym wielkościom fizycznym. I w tym momencie pojawia się naprawdę poważny problem. Przecież bardzo podobna sytuacja występuje przy każdym pomiarze. Przy pomocy jakichś sensorów badamy fragment rzeczywistości. Z uzyskanych danych (tabel, wykresów) budujemy obraz rzeczywistości. Oczywiście zdajemy sobie sprawę, że to przybliżony obraz. Ale przykład z kolorami i – co bardziej dramatyczne – z czarownicami pokazuje, że do naszego obrazu mogą wkraść się zupełnie obce w stosunku do rzeczywistości (nieistniejące fizycznie, w jak to jest w przypadku odcieni purpury) elementy. Najlepiej byłoby je od tej rzeczywistości odciąć. Jednak chyba ogólnej reguły na taką działalność nie da się przedstawić. To ostatnie wskazuje, że zawsze pewna ostrożność jest tu wskazana. Na koniec

warto zauważyć, że w historii fizyki mieliśmy wiele przypadków „wprowadzenia” nieistniejących elementów do rzeczywistości. Można tu wymienić epicykle i dyferenty w Układzie Słonecznym wg Ptolemeusza [1] czy eter w teorii elektromagnetyzmu [3, 8]. Oczywiście istnieje tendencja, by uważać, że „dawniej bywały pomyłki, ale teraz ...”. Oczywiście rozsądek mówi, że nasze czasy nie są niczym wyróżnione [4] i należy się spodziewać, że i dzisiaj nie jest inaczej⁽⁵⁾. Dlatego warto zachować ostrożność.

⁽¹⁾ W gruncie rzeczy każdy naprawdę dobry dowcip niesie jakąś prawdę.

⁽²⁾ Jak z tego widać jest pewna dowolność i w przypadku systemów telewizyjnych nie jest zbyt istotne, jakie kolory przyjmujemy za podstawowe. Tak jest w zasadzie, bo nie trudno się domyśleć, że każdy ich wybór będzie miał pewne wady i zalety. Ale to szczególnie interesujący techników (i fanów telewizji), tu bez większego znaczenia.

⁽³⁾ Zwani inaczej daltonistami od Johna Daltona, bodaj najsłynniejszej osoby cierpiącej na tę przypadłość. Istnieje anegdota, że Dalton kupił matce pończochy (pończochy dawniej były dość drogie i wprawdzie kupno osobistej garderoby było zawsze uważane za dość „ryzykowny” prezent, to eleganckie

pończochy były wyłączone z tej reguły) i usłyszał „są w wprawdzie piękne, ale nie będę mogła ich nosić, bo mają niestosowny kolor” (były czerwone).

⁽⁴⁾ Przedstawiona tu „teoria” (pochodząca z 1807 r. od Tomasza Younga!) została na potrzeby tego tekstu znacznie uproszczona. W rzeczywistości czopki reagują i to z różną czułością na dość szerokie zakresy fal. Dodatkowo okazuje się istotne, jakie jest „sąsiedztwo danego obszaru”: dany kolor na tle obszaru jaśniejszego zmienia odcień, w skrajnym przypadku wydając się czarny. Podobnie czystą barwę można „rozcieńczyć” bielą. Precyzyjny ilościowy opis problemu barw można znaleźć w starym, ale bardzo porządnym podręczniku [3]. Techników zajmujących się barwami oczywiście nawet taki opis nie zadowoli i potrzebują znacznie precyzyjniejszej teorii widzenia.

⁽⁵⁾ W opinii autora niezłymi kandydatami na takie „akty stworzenia” są: teoria strun (bran), ciemna materia czy model inflacyjny (to, co niektórzy nazywają przyspieszającą ekspansją Wszechświata). Oczywiście to wszystko w tej chwili to „mainstream”, za który otrzymuje się nagrody Nobla czy medale Fieldsa. Autor nie chce twierdzić, że tak naprawdę to fantomy wyprodukowane przez nasze umysły. Tym niemniej ma właśnie takie, może słabo uzasadnione, odczucie.

Bibliografia

1. Hoskin M. (2007) Historia Astronomii, Wyd. Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
2. Jameson K. A. and Highote S. M. and Wasserman L. M. (2001) Psychonomic Bulletin & Review 8, 244–261.
3. Kragh. H. (2016) Wielkie spekulacje, Copernicus Center Press.
4. Rudnicki, K. (2002). Zasady kosmologiczne, wydawnictwo Wyższej Szkoły Ochrony Środowiska, Bydgoszcz.
5. Sallmann J.M.(1994) Czarownice. Wydawnictwo Dolnośląskie, Wrocław.
6. Szczeniowski S. (1983) Fizyka doświadczalna. część IV Optyka PWN Warszawa.
7. Wilczek F.(2011), Lekkość bytu. Masa eter i unifikacja sił. Prószyński i S-ka. Warszawa.
8. Wróblewski A.K. (2006), Historia fizyki. PWN Warszawa.