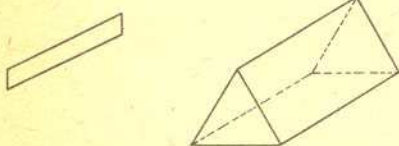


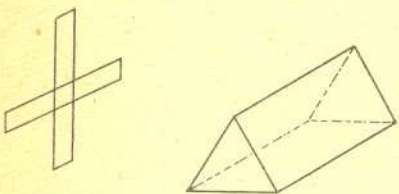
Analiza i synteza światła białego — jak to zrobić samemu?

Dr Zbigniew PŁOCHOCKI

Dobrym materiałem na pryzmat jest pleksiglas (szkło organiczne), który daje się łatwo ciąć piłką do metalu. W miejscach przecięcia powierzchnia pleksiglasu jest matowa i aby stała się przezroczysta, należy ją najpierw szlifować pilnikiem i papierem ściernym o różnych gradacjach, a następnie polerować, np. pastą czyszczącą.



Rys. 1



Rys. 2

Barwy to światło. Nie ma światła, nie ma barw; w ciemności nawet rude koty są czarne. A dlaczego światło białe potrafi wydobyć tyle barw w otaczającym nas świetle? Może samo wszystkie je zawiera?

Aby znaleźć odpowiedź na te pytania, wystarczy nam stosunkowo prosty przyrząd — pryzmat. Popatrzmy przez pryzmat na świat. Wszystko ujrzymy w tężowych obwódkach, a ponadto — w innym kierunku niż wtedy, gdy patrzymy bezpośrednio. Skąd ta pozorna zmiana kierunku? Sądzę, że Czytelnik sam potrafi na podstawie tej obserwacji odtworzyć bieg promieni świetlnych przez pryzmat.

A skąd tężowe obwódki? Zbadajmy rzecz dokładniej. Popatrzmy przez pryzmat na jasno oświetlony wąski pasek białego papieru usytuowany względem pryzmatu tak, jak to przedstawia rysunek 1. Zobaczymy tęczę. Znow spróbujmy na tej podstawie odtworzyć bieg promieni świetlnych przez pryzmat. Istnienia owej tęczy nie można wyjaśnić bez założenia, że podczas załamania na ścianach pryzmatu światło białe ulega rozszczepieniu na barwne składowe, z których każda załamuje się nieco inaczej.

Przekonawszy się o tym mamy prawo twierdzić, że dokonaliśmy analizy (rozkładu) światła białego na elementarne barwne składniki. Czy rzeczywiście — elementarne? Najpierw: w jakim sensie — elementarne? Skoro mowa o rozkładzie, wobec tego przez składnik elementarny należy rozumieć coś, czego już dalej rozłożyć nie można. Jak to wykazać? Ten problem chciałbym zostawić pomysłowości Czytelnika.

Dla całości obrazu należałoby jeszcze dowiedzieć, że te elementarne barwne składniki, na które za pomocą pryzmatu rozłożyliśmy światło białe, można na powrót złożyć. A to jak zrobić?

Na przykład można tak: patrzymy przez pryzmat na dwa cienkie i jasno oświetlone skrzyżowane (pod kątem prostym) paski papieru usytuowane względem pryzmatu tak, jak to przedstawia rysunek 2. Jeden pasek zobaczymy jako rozmyty w tężową wstęgę. Drugi zaś pozostanie... biały. Dlaczego? Odpowiedź na to pytanie pozwoli nam stwierdzić, że w tym doświadczeniu dokonaliśmy... syntezy światła białego.

Wskazówka: dlaczego górna i dolna krawędź paska, który widzimy jako biały, jest tężowa?

Po uporaniu się z tymi problemami wszystko powinno już być jasne i zrozumiałe. Wszystko? Dlaczego wobec tego wyraźnie niebieski płomień palnika kuchenki gazowej widzimy przez pryzmat jako tężowy? Dlaczego zdecydowanie żółty płomień świecy pryzmat ukazuje nam także jako wielobarwny? Dlaczego lampy reklamowe (neony) widzimy w pryzmacie również w tężowych kolorach? Dlaczego... i tak dalej. To już są jednak nieco inne zagadnienia związane z problemem barw prostych i złożonych.

Analiza i synteza światła białego — jak to zrobili inni?

Skąd się biorą barwy? To pytanie zadawali sobie już starożytni Grecy. Z pierwszą hipotezą na ten temat wystąpił Arystoteles w IV wieku p.n.e., modyfikując wcześniejszą koncepcję eteru kosmicznego, stworzoną przez Pitagorejczyków. Odmawiając wszelkim zjawiskom prawa zachodzenia w próżni Pitagorejczycy założyli istnienie niewyczuwalnego za pomocą zmysłów, idealnie przezroczystego, zimnego i wszechobecnego ośrodka, który miał pełnić rolę środowiska umożliwiającego światłu ciał niebieskich dotarcie do Ziemi. Ten hipotetyczny ośrodek nazwali eterem.

Otóż Arystoteles uważał, że światło polega na rozprzestrzenianiu się bliżej nieokreślonych procesów w eterze kosmicznym. Własności eteru miały więc decydować o własnościach światła. I tak, eter mógł być w dwóch podstawowych stanach: przezroczystości (jasności) lub nieprzenikliwości (ciemności). Realizacja tych dwóch zasadniczych stanów odpowiada właśnie światłu białemu (eter przezroczysty) lub czarnemu (eter nieprzezroczysty). Różne wrażenia barwne to wynik częściowej realizacji każdej z tych dwu podstawowych możliwości. Innymi słowy, każde światło barwne miało być mieszaniną światła białego i czarnego w odpowiednich proporcjach.

Ta spekulatywna koncepcja znacznie wyprzedzała możliwości sprawdzenia jej w doświadczeniach. A i później nie należała też do centralnych zagadnień fizyki. Przetrwiała więc prawie dwa tysiąclecia, bo aż do XVII wieku. Pierwsze, niezbyt konsekwentne próby doświadczalnej analizy

Podzielimy wielomian $W(x) = x(x+a)$ przez jednomian $(x+b)$. Zgodnie z twierdzeniem Bezout otrzymamy

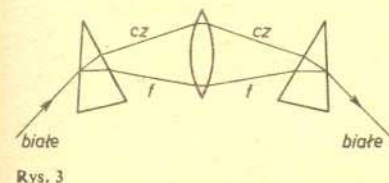
$$W(x) = W_1(x)(x+b) + W(-b).$$

Reszta z dzielenia jest, jak widać, $W(-b)$, czyli w naszym przykładzie $-5(-5+3) = 10$. Tak też dla rozpatrzonych k (57, 100, 222) było. Jednak nie zawsze reszta jest równa $b(b-a)$. Mamy np.

$$1(1+3) = 0(1+5) \text{ reszta } 4,$$

$$3(3+3) = 2(3+5) \text{ reszta } 2.$$

Czyżby więc nasz dowód był zły? I znów odpowiedź można znaleźć w numerze.



Rys. 3

problemu podjął J. M. Martius opisując je w swym dziele wydanym w 1648 r. Na drodze światła przechodzącego przez mały otwór ustawił on pryzmat i na ekranie znajdującym się za otworem zaobserwował wielobarwny, tęczy obraz oświetlonego przedmiotu. Obserwacje doprowadziły go do wniosku, że światło różnej barwy powinno załamywać się w szkle pod różnym kątem, a promień jednobarwny powinien zachowywać swą barwę podczas załamania. Wnioski te były w jawnej sprzeczności z przyjętą wówczas teorią barw Arystotelesa. Martius nie zdobył się jednak na jej zakwestionowanie i może właśnie dlatego nie doprowadził swych badań do końca.

Dzieło Martiusa podjął Isaac Newton traktując opisane zjawisko jako klucz do zrozumienia natury światła i nie żywiąc żadnego respektu przed wielkim filozofem starożytnym zaczął od powtórzenia doświadczenia Martiusa, ale w udoskonalonej wersji. Wąską smugę światła słonecznego skierował Newton na pryzmat i na ścianie pokoju ujrzał autentyczną tęczę. Wynik tego doświadczenia przywiódł go do wniosku, że światło białe jest mieszaniną elementarnych jednobarwnych składników różniących się barwą. W celu sprawdzenia tego wniosku Newton wykonał jeszcze dwa inne doświadczenia.

W pierwszym postanowił poddać analizie elementarność jednobarwnych składników światła. W tym celu skonstruował pierwszy w historii monochromator, czyli urządzenie, które służy do wyodrębniania promieni monochromatycznych z wiązki światła białego. Następnie za pomocą swego monochromatora zbadał doświadczalnie własności promieni jednobarwnych. Eksperymenty wykazały całkowitą słuszność domysłów Martiusa. Rzeczywiście, promienie jednobarwne nie ulegały już rozszczepieniu i każdej barwie odpowiadała inna wartość współczynnika załamania. Elementarność monochromatycznych składników światła białego została więc udowodniona. Na tej podstawie Newton uznał barwę za podstawową cechę charakterystyczną każdego elementarnego składnika światła.

No dobrze, ale jeśli uda nam się rozłożyć jakąś mieszaninę na jej elementarne składniki, to mieszając te składniki razem powinniśmy ponownie otrzymać tę samą mieszaninę. Jeśli więc światło białe jest mieszaniną promieni monochromatycznych, to składając takie promienie uzyskane z rozłożenia światła słonecznego na składniki powinniśmy w wyniku otrzymać znowu światło słoneczne. Aby to wykazać, Newton przeprowadził przedstawione na rysunku 3 doświadczenie.

Opisane badania Newtona definitywnie rozstrzygnęły problem analizy i syntezy widmowej światła białego. Nie rozstrzygnęły natomiast wszystkich problemów związanych z barwami. Oto na przykład światło czerwone uzyskane w wyniku przepuszczenia światła białego przez filtr (czerwony) nie jest tożsame ze światłem tejże barwy uzyskanym w rezultacie rozszczepienia światła białego w pryzmacie. Więcej, nie jest ono też elementarne w tym sensie, że rozszczepione w pryzmacie tworzy bogate, acz nieco zubożone widmo wielobarwne. Tak więc rozwiązanie tytułowego zagadnienia stanowiło jedynie pierwszy krok ku zrozumieniu fizycznej natury wrażeń barwnych.



Zadania

Redaguje mgr Krzysztof S. NOWIŃSKI

M 340. Żadne trzy z siedmiu danych punktów płaszczyzny nie są współliniowe. Wykazać, że można wśród nich znaleźć trzy wierzchołki trójkąta, którego jeden z kątów jest większy niż $2\pi/3$.

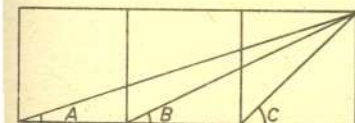
Rozwiązanie na str. 14

M 341. Znaleźć wszystkie liczby całkowite, których kwadraty mają w zapisie dziesiętnym równe dwie ostatnie cyfry.

Rozwiązanie na str. 15

M 342. Wykazać, że $\sphericalangle A + \sphericalangle B = \sphericalangle C$ (patrz rysunek).

Rozwiązanie na str. 12



Redaguje mgr Tomasz TRATKIEWICZ

F 139. Na poziomej płaszczyźnie spoczywa klocek o masie M przytwierdzony do nieważkiej sprężyny o współczynniku sprężystości k . W pewnej chwili swobodny koniec sprężyny uzyskuje stałą prędkość u (patrz rysunek). Jaki ruch będzie wykonywał klocek, jeżeli

a) współczynniki tarcia: statycznego i kinetycznego są równe,

b) współczynnik tarcia statycznego jest większy niż kinetycznego?

Należy pominąć opór ośrodka i tarcie wewnętrzne w materiale sprężyny, tarcie kinetyczne uznać za niezależne od prędkości.

Rozwiązanie na str. 13

