

# Rubiny, złote szkło i brazylijskie motyle, czyli o kolorach w fizyce, chemii i biologii

W artykule przedyskutujemy, niejako od początku, zagadnienia obserwacji kolorów. Pokażemy, jak różne aspekty powstawania kolorów może nauczyciel zilustrować prostymi przykładami praktycznymi.

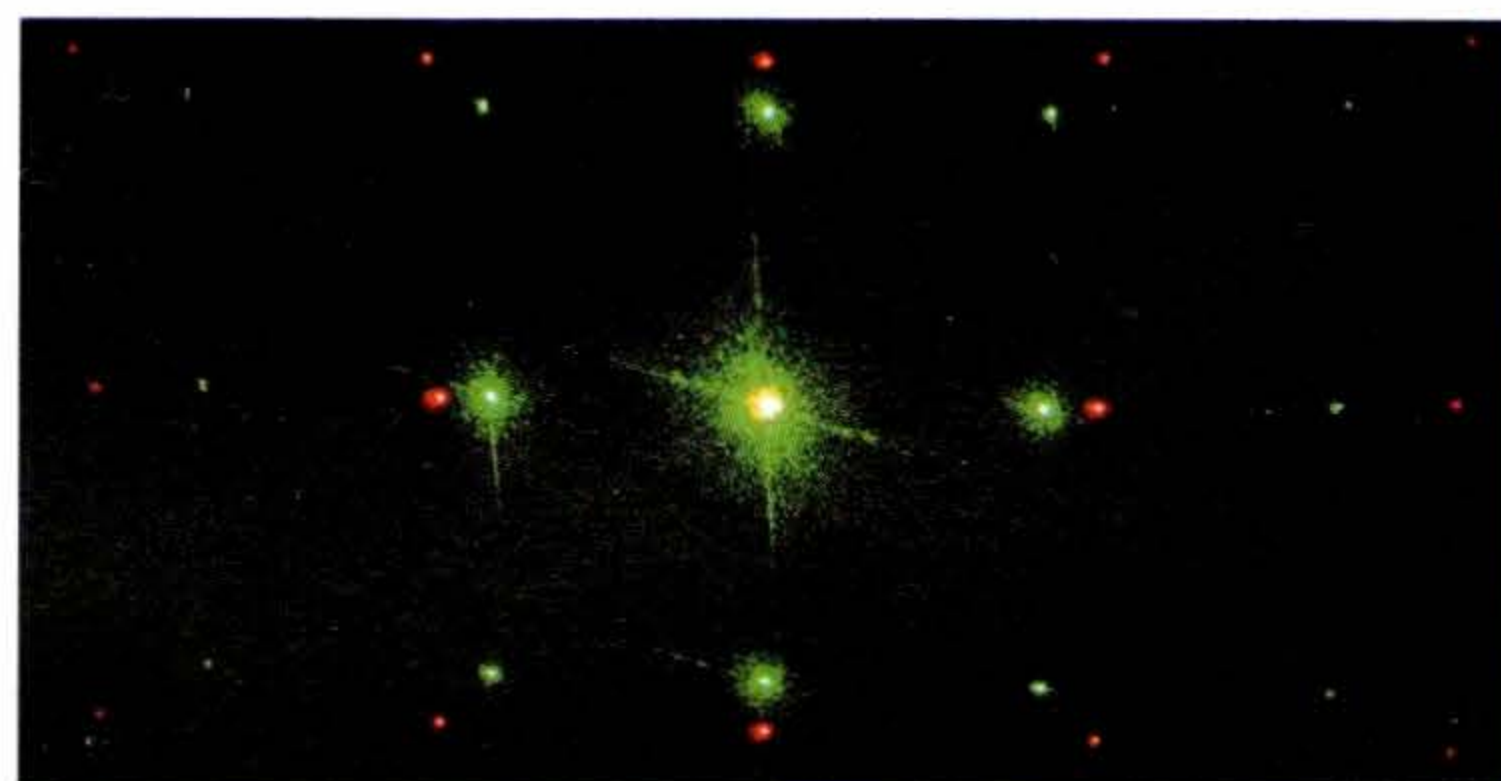
■ GRZEGORZ KARWASZ

Tematyce kolorów poświęconych zostało wiele artykułów w „Chemii w Szkole” w ubiegłych latach. I tak, o podstawach składania kolorów, przy okazji fotografii, pisała J. Ortyl w 2009 r. [1], o fotochromizmie, czyli zmianach struktury cząsteczek pod wpływem światła – J. Ortyl i M. Galek w 2010 r. [2], o chemiluminescencji – E. Stanińska [3] w 2004 r.

Wszystkie z pokazanych poniżej obiektów znajdują się w naszych laboratoriach, a cytowane odnośniki znajdują się na stronach internetowych uczelni. Artykuł ma charakter interdyscyplinarny i wpisuje się w działania „projektowe” postulowane przez M. Małecką i prof. Burewicza już w 2004 r. [4] oraz nową podstawę programową w liceum. Artykuł może stanowić lekturę również dla uczniów.

## Spektrometria, chemia i mechanika kwantowa

Zacznijmy od tego, czym jest sam kolor. Nie jest to takie proste – nie bez powodu podręczniki fizyki mówią o *kolorach* tęczy, ale nie o *barwach*<sup>1</sup> kwiatów czy liści. Widziane przez nas kolory powstają w różny sposób. W tęczy kolory powstają ze światła słońca, *załamującego się* w kropelkach wo-



Fot. 1. Aby określić, jakie jest widmo światła, czyli jakie kolory „podstawowe” składają się na obserwowaną barwę, musimy użyć elementu, który rozdziela światło w zależności od długości fali. Takim urządzeniem jest na przykład pryzmat, ale też szereg blisko siebie położonych nacięć na płycie CD lub na przezroczystej kliszy fotograficznej. Taki układ nacięć tworzy tzw. siatkę dyfrakcyjną. Kąt ugięcia światła na siatce zależy od długości fali; plamki zielonego lasera położone są bliżej plamki centralnej (światła nieugiętego) niż światło lasera czerwonego. Im dalsza plamka (rzęd ugięcia) tym mniejsze natężenie światła. Plamki czerwone mają mniejszą jasność niż odpowiadające im plamki zielone z racji mniejszego natężenia użytego lasera. (Fot. K. Służewski)

dy. Światło fioletowe (długość fali ok. 400 nm) załamuje się bardziej niż czerwone (ok. 700 nm). Aby światło trafiło do naszego oka, kąty załamania w kropli wody muszą być ściśle określone i stąd się bierze większy lub mniejszy łuk tęczy.

<sup>1</sup> Nie zamierzamy wprowadzać sztucznego rozgraniczenia między słowem „barwa” a „kolor”. Jedno z nich pochodzi zapewne od niemieckiego „farben” a drugie z łaciny. Po rosyjsku kolor i kwiat to „цвет”.



Fot. 2. Sztuczne ognie nad Paryżem w Święto Republiki (14 lipca). Te czerwone zawierają połączenia zapewne rubidu, te zielone – zapewne miedzi (Fot. Piotr P. Karwasz)

W podobny sposób, z rozdzielania na kolory światła białego, biorą się kolory na płycie CD – tu światło nie załamuje się, ale ugina, czyli ulega *dyfrakcji*. Płyta CD [5] lub zabawkowe okulary [6] są *siatką dyfrakcyjną* – światło jednokolorowe ugina się na wiele plamek; jeżeli skrzyżujemy takie dwie siatki, otrzymamy „krzyże” plamek (Fot. 1). Kąt  $\theta$ , pod jakim ugina się światło, zależy od długości fali światła  $\lambda$  i od odległości  $d$  między nacięciami na siatce zgodnie ze wzorem

$$\sin\theta = n\lambda/d,$$

gdzie  $n$ , będące liczbą naturalną jest tzw. rzędem ugięcia.

Kąt ugięcia jest mniejszy dla mniejszej długości fali, co widać na Fot. 1 – światło lasera zielonego ( $\lambda = 532$  nm) ugina się mniej niż światło lasera czerwonego ( $\lambda = 680$  nm). Kolejne rzędy ugięcia mają coraz mniejsze natężenia, jak to pokazujemy na Fot. 1.

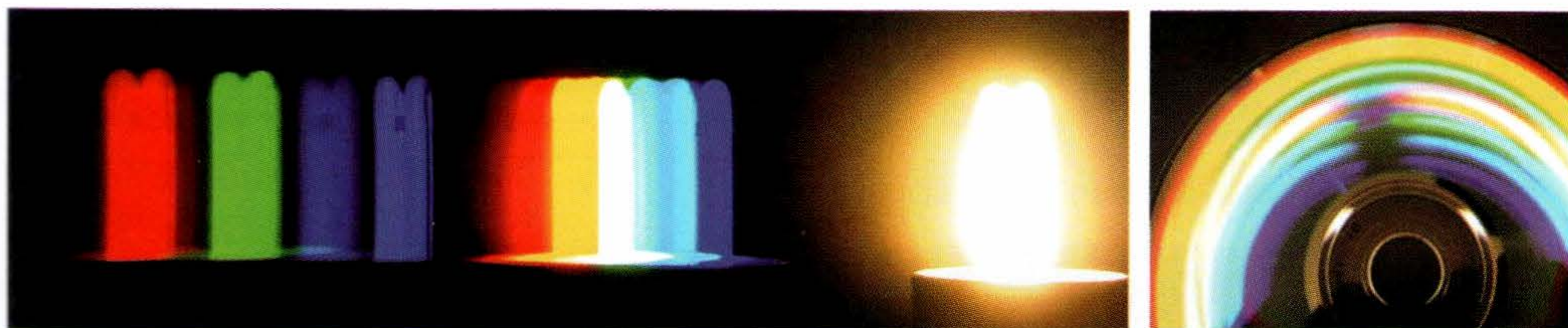
Profesjonalne urządzenie do „rozkładu” światła na kolory składowe, czyli do rejestracji *widma* światła nazywamy spektrometrem optycznym. Wynalazek spektrometru optycznego (i wyładowania w gazie) w połowie XIX wieku pozwolił na odkrycie nowych pierwiastków chemicznych – helu, argonu, kryptonu, ksenonu.

Nazwa rubid pochodzi od rubinowego koloru, jakiego nabiera płomień palnika (lub sztucznych ogni), gdy znajdują się w nim związki tego metalu. Jeśli sztuczne ognie są niebieskozielone, to zapewne zawierają

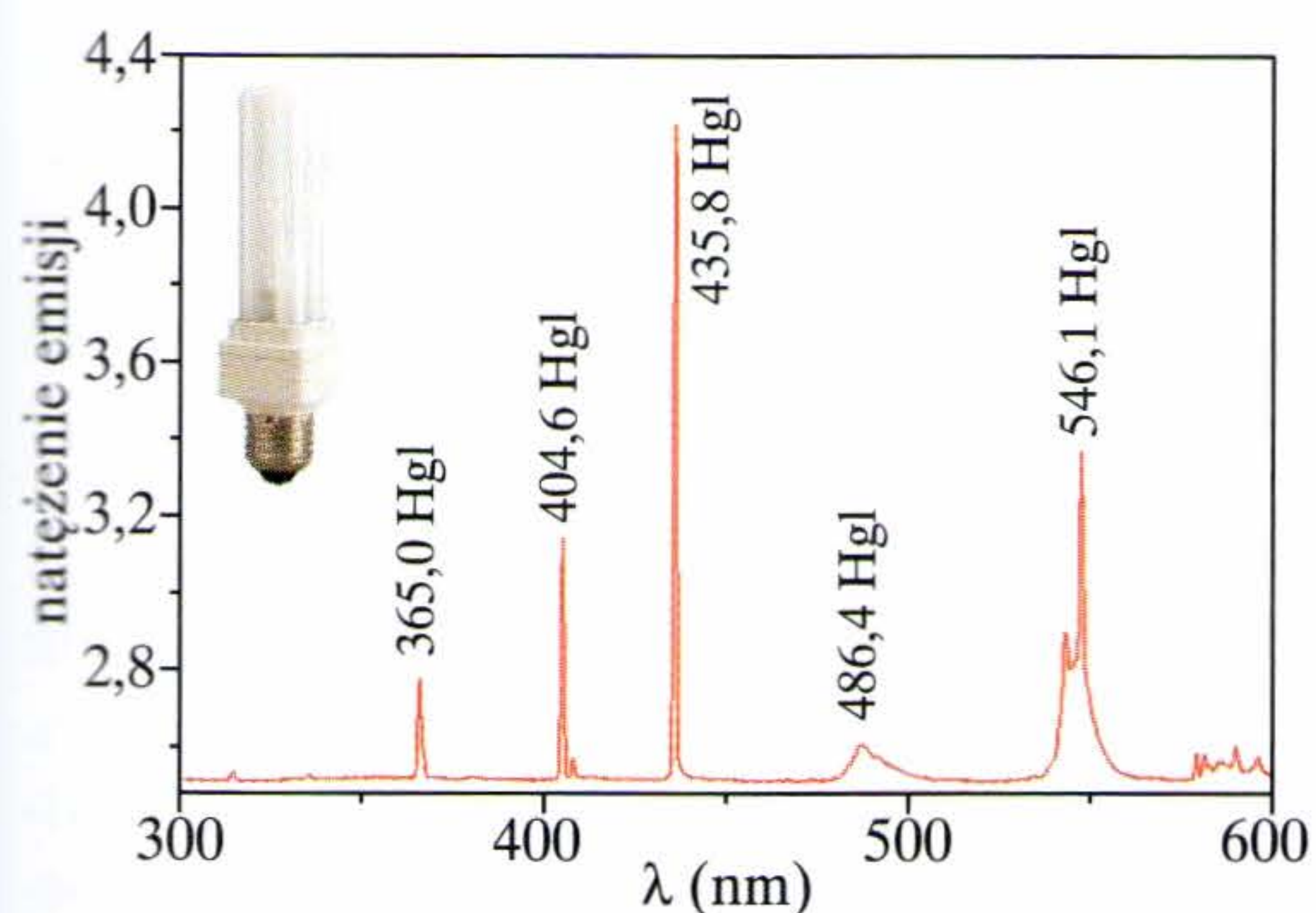
związki miedzi (Fot. 2). Spektrometria optyczna jest bardzo ważna w fizyce, chemii, a także biologii. Podstawowe obiekty genetyki – chromosomy – otrzymały taką nazwę, gdyż w określonych warunkach barwią się na określone kolory. We współczesnych filmach kryminalnych policja szuka śladów krwi, gdyż ta *fluoryzuje* pod wpływem światła nadfioletowego. Ale po kolei!

Światło „wielokolorowe” po przejściu przez pryzmat lub siatkę dyfrakcyjną ujawnia swoje kolory „składowe”. Białe światło słoneczne, w łuku tęczy lub spektrometrze rozdziela się, umownie, na siedem *zachodzących na siebie* kolorów – i widmo Słońca i żarówki (z żarzoną włóknem) ma charakter ciągły. Okazuje się, że nie zawsze światło pozornie białe musi zawierać wszystkie kolory, co pokazujemy na Fot. 3. W widmie „żarówki energooszczędnej”, tworzącej pozornie światło białe, brakuje na przykład koloru żółtego i fioletowego. Światło w takiej lampie powstaje w wyniku emisji kwantu energii z określonych poziomów energetycznych atomów w stanie gazowym, zawartych w rurze wyładowczej takiej lampy. Widma różnych lamp energooszczędnych są różne (Fot. 4.) w zależności od składu chemicznego gazów, które je wypełniają.

Zabawkowe okulary pozwalają nie tylko obserwować różne rodzaje lamp, ale także znakomicie nadają się do analizy widm w „prawdziwych lampach spektralnych” (tzw. rurkach Plückera). Rurki te zawierają



Fot. 3. Pozornie „białe” światło żarówki energooszczędnej w rzeczywistości nie zawiera wszystkich kolorów zawartych w białym świetle słonecznym. W widmie po lewej stronie, uzyskanym za pomocą transmisyjnej siatki dyfrakcyjnej brakuje, np. koloru żółtego, pomarańczowego i fioletowego; w widmie innej żarówki, po prawej stronie, uzyskanym za pomocą płyty CD jest tylko jeden odcień niebieski. Źródłem światła w takich „żarówkach” jest gaz, którego skład jest tajemnicą producenta – zazwyczaj zawiera on argon, pary rtęci i inne domieszki. Emisja światła zachodzi z określonych poziomów energetycznych izolowanych atomów. Obraz żarówki rozdziela się wyraźnie na poszczególne kolory składowe dopiero w drugim rzędzie dyfrakcji (Fot. K. Służewski i autor)



Fot. 4. Widmo emisji lampy energooszczędnej (podobnej do tej z Fot. 3) uzyskane za pomocą profesjonalnego spektrometru optycznego (PAP Słupsk). Natężenie światła jest przedstawione w funkcji długości fali światła. Tylko niektóre kolory są obecne w tym widmie: dwie linie fioletowe (385 nm, tj. na granicy widzialności i 405 nm), jedna niebieska (436 nm) i jedna zielona (546 nm) linia emisyjna niezjonizowanych atomów rtęci

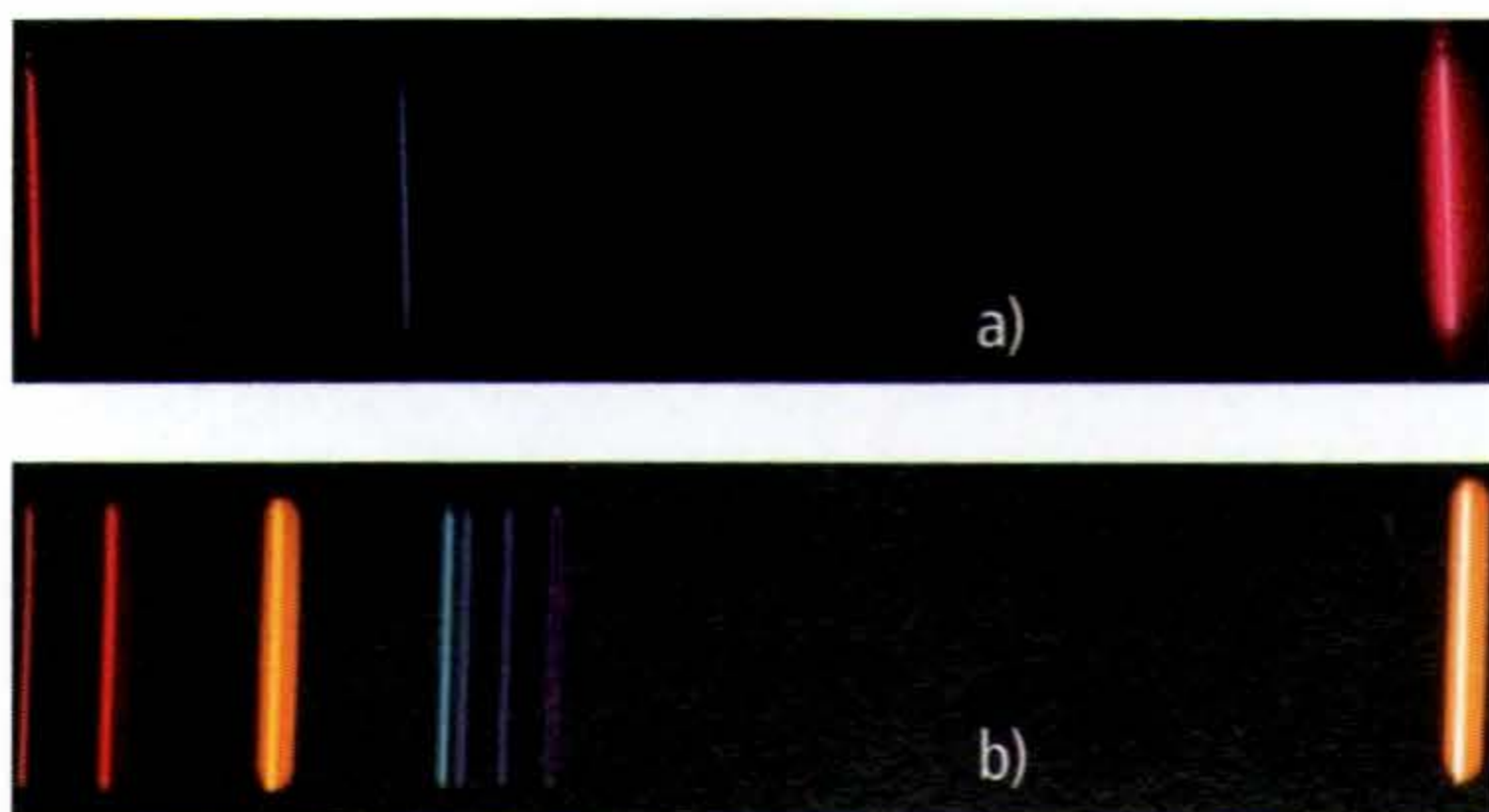
gazy pod zmniejszonym ciśnieniem, mają odpowiednio ukształtowaną geometrię wyładowania elektrycznego oraz są zasilane zabezpieczonymi źródłami prądu. Dla wodoru [7] w zakresie widzialnym obserwujemy 4 linie związane z przejściami elektronów między poziomami scharakteryzowanymi przez główną liczbę kwantową  $n = 2$  i poziomy o wyższej wartości  $n$ . Dla helu

(He) w zakresie widzialnym jest tych linii znacznie więcej, mimo że atomy helu mają tylko dwa elektrony (Fot. 5.). Widmo azotu [8] wydaje się „rozmyte”, gdyż oprócz zmiany głównej liczby kwantowej stanu elektronowego<sup>2</sup> drobina  $N_2$  może zmieniać swój stan vibracyjny (początkowy i końcowy). Odległości między poziomami vibracyjnymi są znacznie mniejsze niż między poziomami elektronowymi, więc w spektrometrze o słabej rozdzielczości (a takim są zabawkowe okulary) wydaje się, że widmo jest rozmyte. Widma cząsteczek wieloatomowych, takich jak  $CO_2$  i  $H_2O$  „rozmywają się” jeszcze bardziej, z uwagi na duże prawdopodobieństwo obrotów cząsteczek [10].

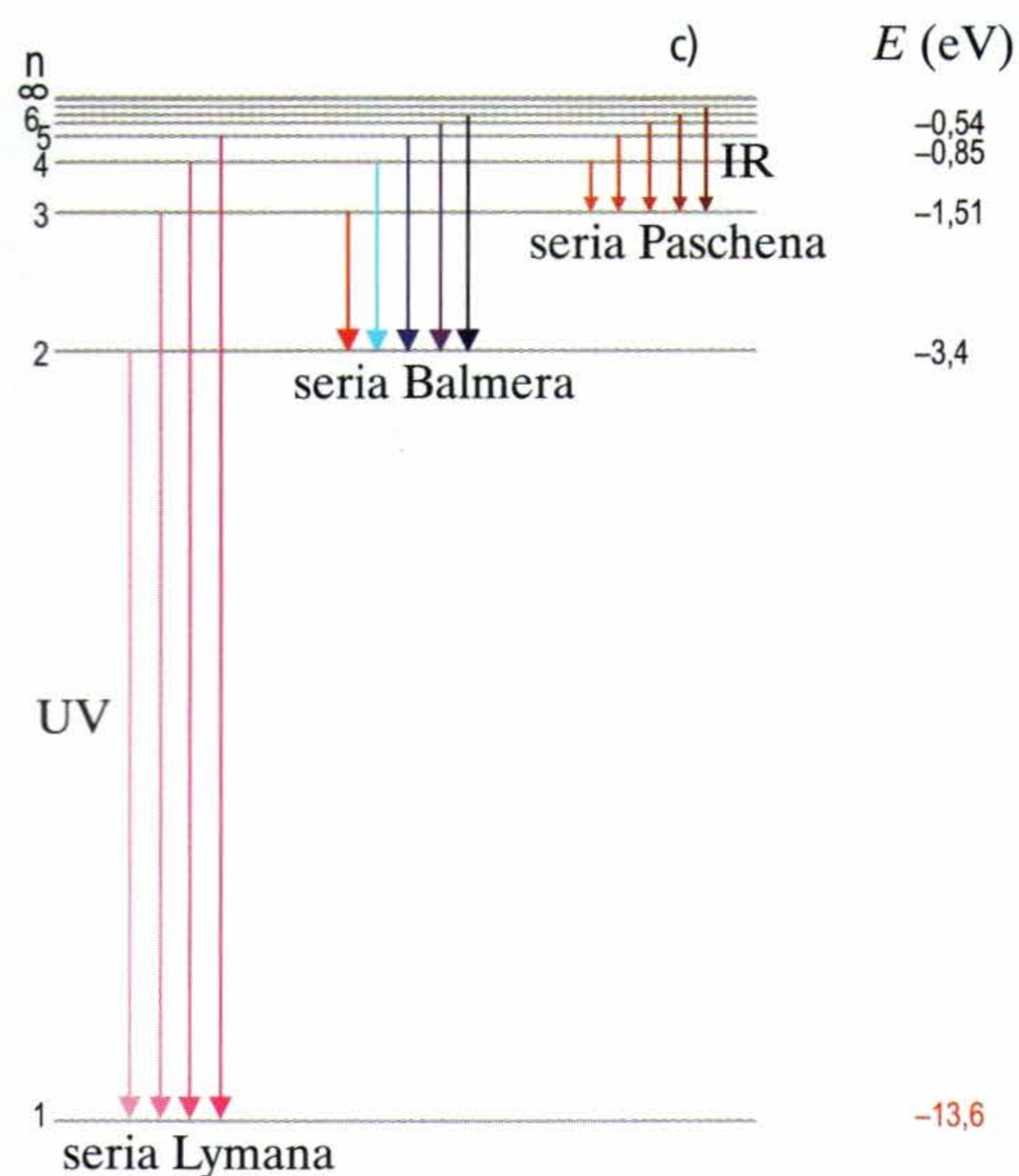
### Emisja, absorpcja, rozproszenie

Kolor Słońca, żarówki i lampy energooszczędnej wynika z własności *emisyjnych* tych źródeł światła. Ale już kolor zachodzącego Słońca jest inny – ze światła białego, po przejściu przez grubą warstwę atmosfery ubyło koloru niebieskiego (dlatego niebo jest niebieskie). Pozostałe *widmo* jest takie, że Słońce nabiera koloru czerwonego. Niejako sama atmosfera dokonuje *spektroskopii* optycznej. W zależności od pory roku i pogody (czyli zawartości

<sup>2</sup> Należy dodać, że dla drobin nie powinniśmy mówić o orbitalach atomowych i ich liczbach kwantowych, ale raczej o orbitalach molekularnych. Przejścia elektronowe w drobinach są zagadnieniem bardziej skomplikowanym, co Czytelnik zauważy, np. z naszego przeglądu dot. zderzeń elektronowych [9].

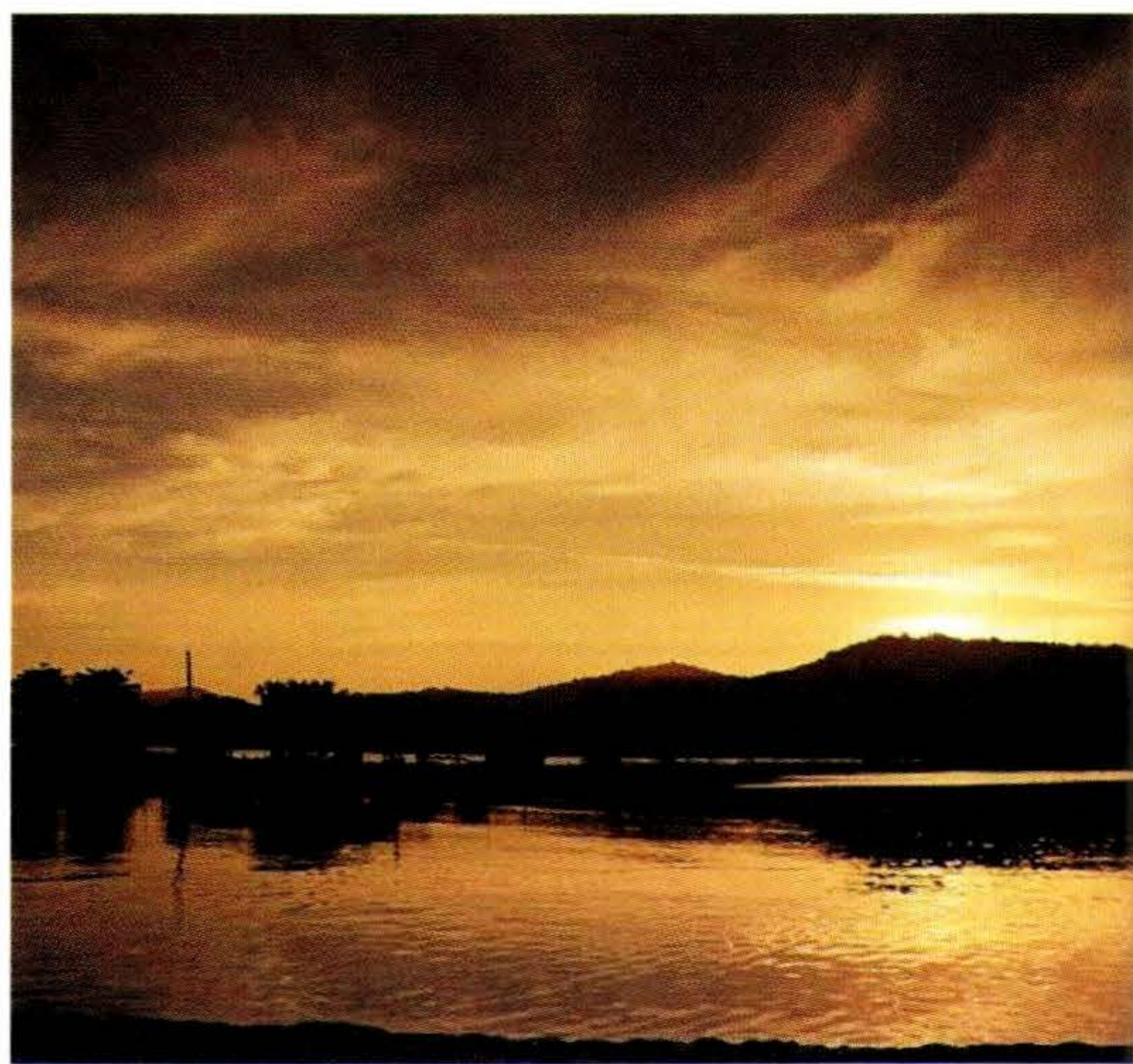


Fot. 5. Widma emisji wodoru (a) i helu (b) w rurkach Plücker'a uzyskane za pomocą siatki dyfrakcyjnej. Prążek zerowy (światło nieugięte) położony jest po prawej stronie widma. W widmie wodoru oprócz ostrych linii widać „pasma” wynikające z drobinowej natury gazu (i niepełnej dysocjacji  $H_2$  na atomy w wyładowaniu elektrycznym). Obserwowane prążki nie muszą odpowiadać przejściom na poziom podstawowy. Dla wodoru (c) w zakresie widzialnym, tzw. seria Balmera odpowiada przejściom na poziom  $n = 2$ . Dla helu pierwszy poziom wzbudzony znajduje się 24,2 eV nad poziomem podstawowym, co odpowiada dalekiemu ultrafioletowi. Prążki w zakresie widzialnym są więc przejściami między różnymi wyższymi poziomami (Fot. K. Służewski, rysunek M. Sadowska)



pary wodnej, kryształków lodu, mikropyłków itd.) kolory zachodzącego Słońca mogą być różne, o czym wiedzą na przykład żeglarze, którzy prognozują pogodę na następny dzień, Fot. 6.

**Absorpcja** światła jest więc drugim, obok **emisji**, procesem decydującym o kolorach. Więcej, to ciemne linie absorpcyjne w widmie Słońca wskazały na obecność w jego atmosferze pierwiastka, nazwanego helem.



Fot. 6. Atmosfera jako spektrometr optyczny: wskutek rozpraszania i absorpcji światła w atmosferze, w widmie zachodzącego Słońca brakuje koloru niebieskiego. Kolor nieba nad głową i Słońca na zachodzie wzajemnie się uzupełniają – jeśli zachodzące Słońce jest pomarańczowe, to niebo jest niebieskie; jeśli Słońce jest żółte, to niebo nabiera odcienia fioletowego. (Zatoka Saō Paolo, fot. Carmen A. Busko, za zgodą autorki)

Trzecim zjawiskiem jest **rozproszczenie** światła – niebieski kolor nieba wynika z rozproszenia białego światła Słońca w atmosferze – światło niebieskie rozprasza się silniej niż światło czerwone<sup>3</sup>. Zachodzące Słońce jest więc czerwone.

Kolor danego ciała (substancji) zależy więc od widma światła, jakim go oświetlamy oraz od własności absorpcyjnych i rozpraszających (lub odbijających) substancji.

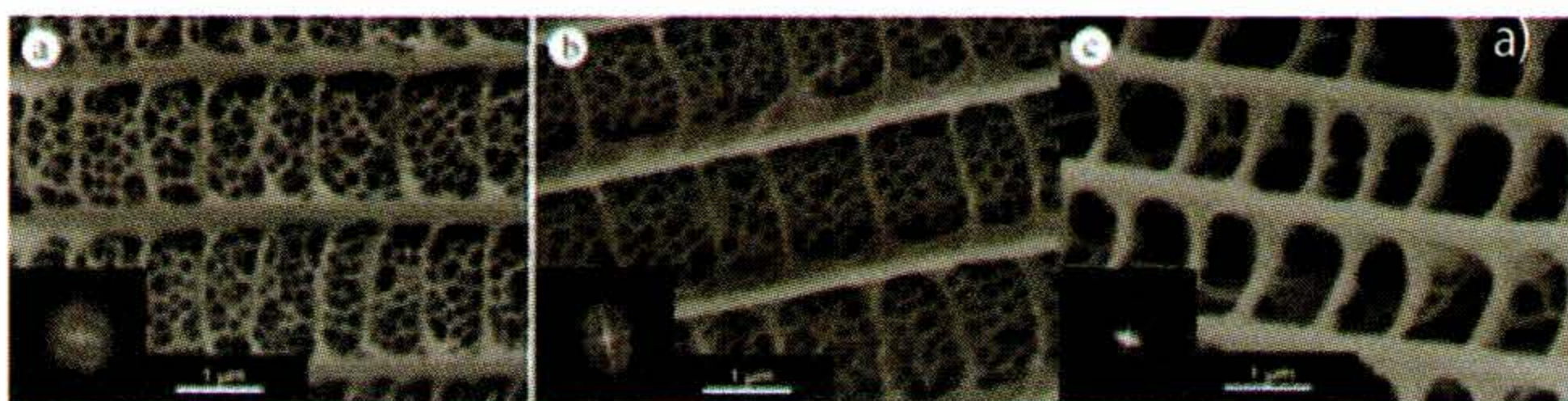
Padające światło może być przez ciało:

- 1) odbite,
- 2) zaabsorbowane, po czym zazwyczaj *wyemitowane* w procesie zwanym luminescencją (czyli po polsku „świeceniem”),
- 3) przejść przez ciało (czyli ulec transmisji).

Wiele ciał ma inny kolor w świetle przechodzącym, a inny w świetle odbitym – cienkie folie ze złota są zielone w świetle przechodzącym. Dodatkowo, jak to pokażemy w następnym artykule, niektóre substancje oświetlone jednym kolorem światła mogą emitować światło innego koloru. Powstawanie kolorów jest więc skomplikowane. Tylko w bardzo szczególnych przypadkach własności rozpraszające (odbijające) ciał są proste w opisie – tak jest dla niezwykłego gatunku brazylijskiego motyla, dla okularów słonecznych pewnego typu i dla specjalnych szyb w centrum Berlina<sup>4</sup>.

### Brazylijskie motyle i okulary przeciwsłoneczne

Jak już powiedzieliśmy, kolory na płytach CD powstają wskutek dyfrakcji światła



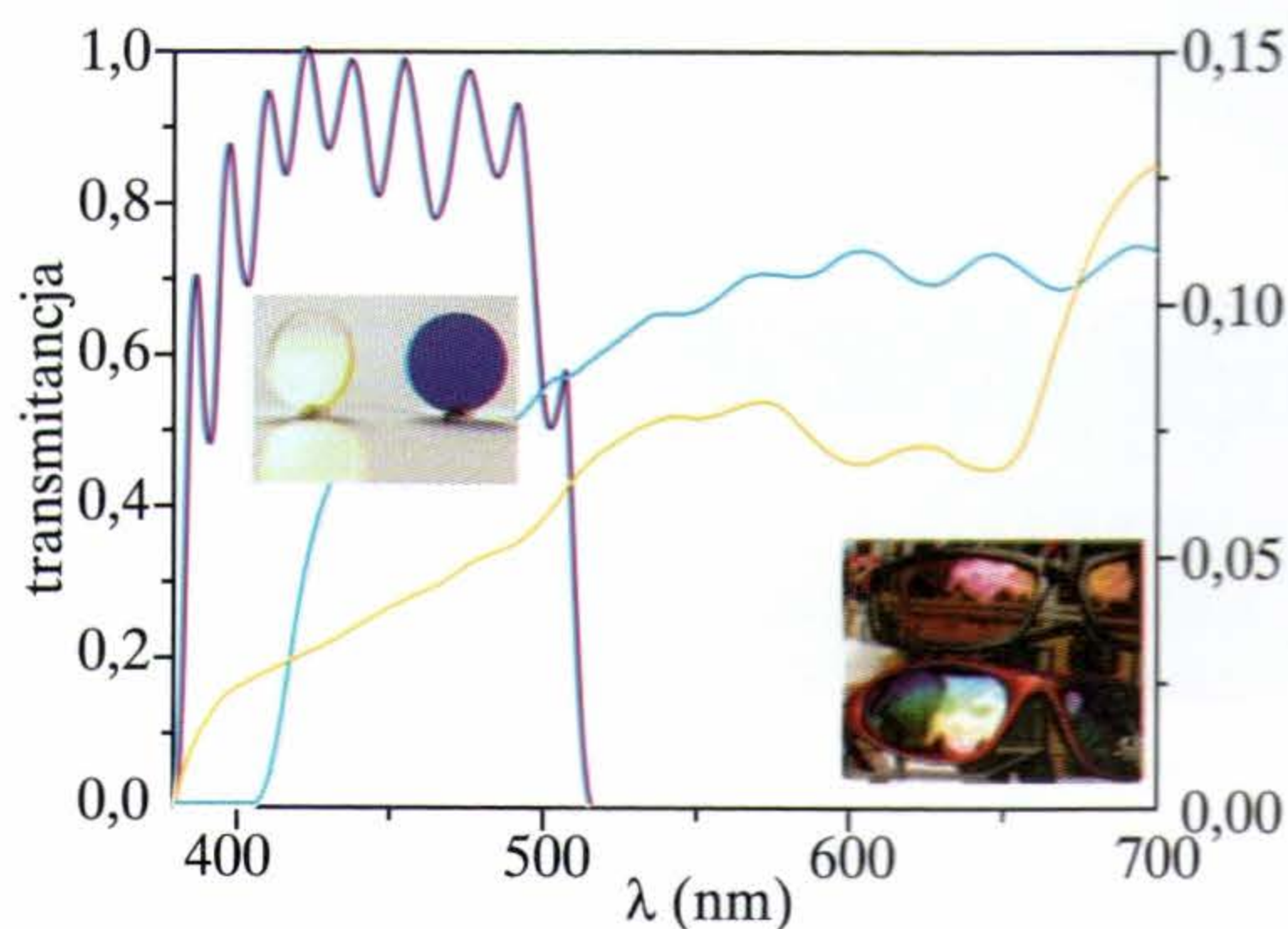
Fot. 7. *Morpho Menelaus* (a) (fot. autor) i jego skrzydło (b) widziane pod mikroskopem elektronowym [11]. Struktura skrzydła jest trójwymiarową siatką dyfrakcyjną, co daje piękny, potyskujący niebieski kolor

białego. Przy powstawaniu kolorów nie ma specjalnego znaczenia, z czego zrobiona jest siatka dyfrakcyjna, z drobnych rys na plastiku, czy warstewek aluminium (jak na „hologramie” na dowodzie osobistym czy banknotach). Również kolory na skrzydłach niektórych motyli (i szyjach gołębi) powstają wskutek dyfrakcji. Najlepiej jest to widoczne na skrzydle brazylijskiego motyla *Morpho menelaus*. U samca ma ono niezwykle regularną strukturę trójwymiarowej siateczki (Fot. 7b). Światło na tej siateczce ulega dyfrakcji tak, że obserwujemy (piękny) kolor niebieski (Fot. 7a); siatka u samicy nie jest tak regularna i samica jest szara. Dyfrakcja światła wynika z jego *falowej* natury światła i jest zjawiskiem czysto *fizycznym*.

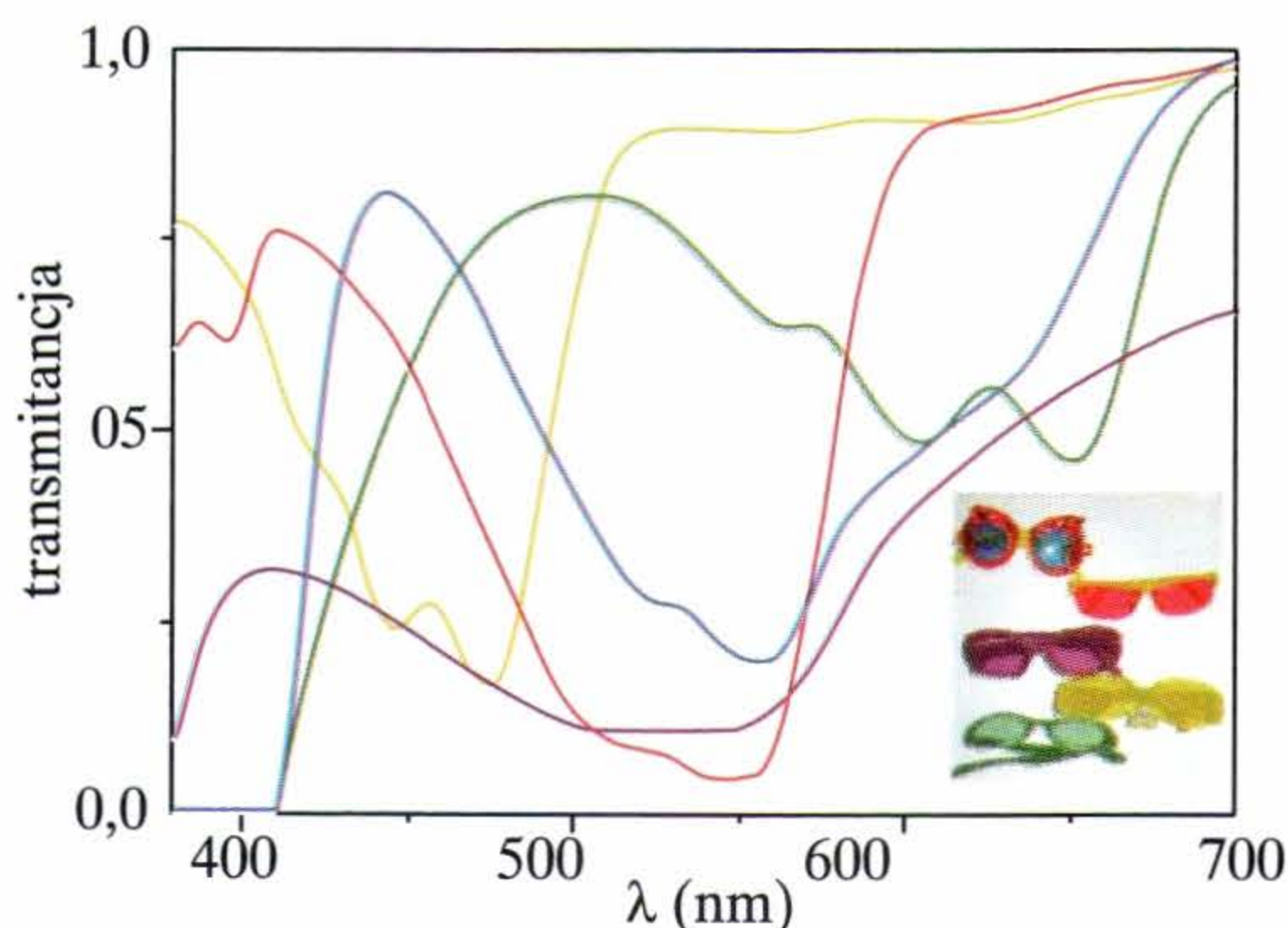
<sup>3</sup> Rozpraszanie światła w atmosferze (a także na drobinach pyłów, na zawiesinach w cieczach) itd. nazywamy rozpraszaniem Rayleigha.

<sup>4</sup> Zob. historijkę autora pt. „Złota wieża” na stronie „Fizyka i zabawki” <http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki/files/optyka/wierza.html>

Zjawiska fizyczne związane z *falową* naturą światła są również przyczyną powstawania kolorów w przypadku okularów przeciwsłonecznych lub filtrów przedstawionych na Fot. 8. Filtry te odbijają określony kolor, a przepuszczają kolory dopełniające. Właściwości transmisyjne tych filtrów są bardzo selektywne. Światło przechodzi przez filtry tylko w wąskim zakresie widmowym – na Fot. 8. jest to światło niebieskie (400–500 nm). Za tę selektywną transmisję odpowia-



Fot. 8. Widma transmisji. Filtr interferencyjny, używany w aparatach dentystycznych do utwardzania plomb, jest prawie w 100% przezroczysty w zakresie długości fal 400–500 nm i prawie zupełnie nieprzezroczysty w zakresie innych długości fal (krzywa ciemnoniebieska). Jest on niebieski w transmisji i żółty w odbiciu. Charakterystyki interferencyjnych okularów przeciwsłonecznych (dwie pozostałe krzywe) są podobne, ale nie tak doskonałe



Fot. 9. Widma transmisji dziecięcych okularów przeciwsłonecznych mogą być bardzo skomplikowane. Na widma te wpływa skład chemiczny filtrów i ich struktura. Kolor linii na wykresie odpowiada kolorowi okularów

da powierzchnia szkła. Ułożonych jest na niej szereg cienkich warstw o ściśle określonej grubości (rzędu ułamków mikronów) – zazwyczaj przezroczystych tlenków metali. Warstwy te tworzą tzw. filtr *interferencyjny* [12]. Okulary przeciwsłoneczne na Fot. 8. działają na podobnej zasadzie, ale jakość warstwy interferencyjnej jest niższa niż w przypadku filtru, co przejawia się w szerszym zakresie widmowym światła przechodzącego. Z powodu interferencji powstają też kolory w bańkach mydlanych.

Na skrzydle motyla i okularach interferencyjnych kończą się *fizyczne* sposoby powstawania kolorów. Reszta *kolorymetrii* należy do chemii. Dlaczego? Bo to natura chemiczna, a dokładniej struktura elektronowa atomu/drobiny oraz jego sąsiedztwo decyduje, jakie kolory obserwujemy. Nawet w przypadku kolorowych okularów dla dzieci widma transmisji światła mogą być bardzo skomplikowane, Fot. 9. Dalsza dyskusja o kolorach nie jest możliwa bez uwzględnienia *składu* chemicznego filtrów oraz ich struktury, tj. matrycy szklanej, krystalicznej, plastikowej, w której znajdują się atomy, cząsteczki, jony *optycznie aktywne*.

### Kwarc, ametyst i rubiny

Analizę kolorów ciał stałych zaczniemy od prostych przykładów – przezroczystego kwarcu lub diamentu. Jeżeli ciało jest przezroczyste, to światło przechodzi przez nie niezaburzone, czyli nie jest *absorbowane*. Od czasów narodzin fizyki kwantowej, tzn. od 1900 roku wiemy, że brak absorpcji oznacza brak odpowiednich *poziomów energetycznych*. Jakich poziomów energetycznych? Takich, na które, po przyjęciu kwantu energii światła, mogłyby „wskoczyć” elektrony z poziomów *podstawowych*. Z kolei, widma emisji odpowiadają przeskokom elektronów z poziomów wzbudzonych na poziomy niższe (niekoniecznie poziomy podstawowe). Dla izolowanych atomów linie absorpcyjne i emisyjne są identyczne.

Kwarc, czyli krystaliczny tlenek krzemu  $\text{SiO}_2$  jest przezroczysty, bo w przedziale energii 1,56–3,12 eV, odpowiadającym światłu wi-



Fot. 10. Kvarc ( $\text{SiO}_2$ ) jest bezbarwny (a), a ten sam tlenek domieszkowany jonami żelaza staje się fioletowy (b – ametyst), azuryt  $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ , małe wytrącenia na wapieniu, jest niebieski (c). Zbiory autora, fot. K. Służewski

działnemu<sup>5</sup>, nie absorbuje energii. Dokładniej, w ciele stałym obserwujemy występowanie *pasm energetycznych*, które są wynikiem nakładania się pasm energetycznych pochodzących od poszczególnych atomów. Wielość tych poziomów, w stosunku do pojedynczych linii w atomach, bierze się z obecności wielu atomów w bliższej lub dalszej odległości w kryształce [13]. W diamencie przerwa energetyczna wynosi 5,5 eV, w kwarcu aż 9 eV, a krzemie zaledwie 1,1 eV. I tak krzem jest przezroczysty w podczerwieni, gdyż aż do energii kwantów 1,1 eV nie absorbuje energii, a „metaliczny” (czyli nieprzezroczysty) w świetle widzialnym, bo pochłania (i reemituje) wszystkie fotony o energii wyższej niż 1,1 eV. Dla odmiany, szkło (niekryształiczna postać  $\text{SiO}_2$ ) jest w podczerwieni nieprzezroczyste – stąd zastosowanie szklanych szyb w tzw. cieplarniach.

Mała domieszka do kwarcu tlenków żelaza powoduje jego fioletowe zabarwienie, Fot. 10b. Taki półszlachetny kamień nazywamy ametystem. Mówiąc językiem mechaniki kwantowej, dzięki domieszkom w przerwie energetycznej pojawiają się dodatkowe poziomy energetyczne. Mała domieszka chromu do bezbarwnego kryształu tlenku aluminium (korundu z papieru ściernego) powoduje jego piękny, rubinowy kolor. Atomy chromu (a właściwie *jony chromu*  $\text{Cr}^{+3}$  w sieci krystalicznej) posiada-

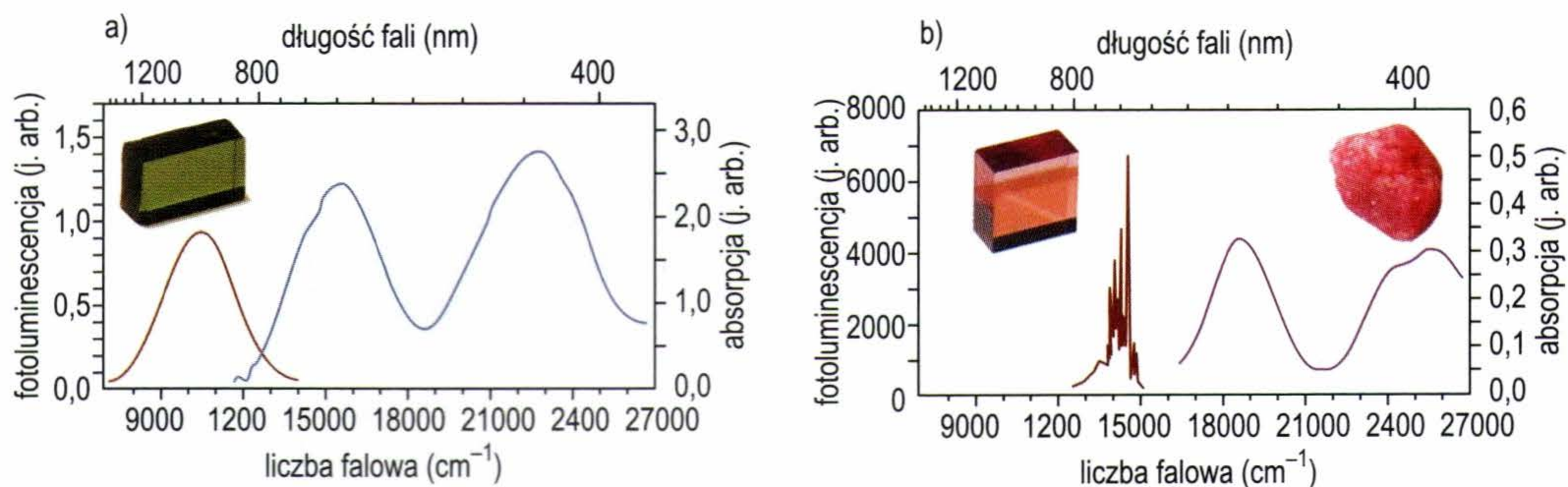
ją inne poziomy energetyczne niż czysty kryształ<sup>6</sup>  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – takie, że światło widzialne może być absorbowane i reemitowane przez atomy (jony) Cr.

Przypadek rubinu jest ciekawy również z innego powodu. Jeżeli to jony chromu absorbują (i emitują) światło czerwone, to również *sole* chromu w roztworach wodnych powinny tworzyć czerwone zabarwienie roztworu. Tak jest w przypadku miedzi, której siarczan jest niebieski, a chlorek zielonkawy. Zielonkawy jest malachit, ruda miedzi,  $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$  a niebieski azuryt,  $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$  inna ruda, Fot. 10c.

Czerwona barwa rubinu jest skutkiem jeszcze jednego efektu. Sole chromu w roztworach mają barwę zieloną Cr(III) lub pomarańczową Cr(VI). W rubinie jony chromu  $\text{Cr}^{3+}$  są wbudowane w sieć krystaliczną. Sąsiedztwo jonów  $\text{Al}^{3+}$  i  $\text{O}^{2-}$  (tj. ładunków elektrycznych) w sieci krystalicznej oznacza obecność silnych pól elektrycznych. Pola te modyfikują oddziaływania i poziomy energetyczne atomu (jonu) ulegają przesunięciu. Przesunięciu mogą podlegać tak poziom podstawowy, jak i poziom wzbudzone. Z powodu obecności *pola krystalicznego* jony chromu w kryształce absorbują i emitują światło inaczej niż jony (atomy) swobodne. I tak, jony  $\text{Cr}^{3+}$  w *szkle ganitowym* (tlenek cynkowo-aluminiowy) nadają szkłu kolor zielony (absorbowany jest kolor

<sup>5</sup> Przyjmujemy za zakres widzialny jedną *oktawę*, od 380 do 760 nm.

<sup>6</sup>  $\text{Al}_2\text{O}_3$  jest przykładem kryształu w którym wiązania są pośrednie między jonowymi i kowalencyjnymi. Polecamy lekturę opracowań poświęconych wiązaniom chemicznym w kryształach.



**Fot. 11.** Absorpcja (krzywe po prawej stronie) i emisja (krzywe po lewej stronie) jonów  $\text{Cr}^{3+}$  w szkłe (a) i ceramice gąnitowej ( $\text{SiO}_2\text{:Al}_2\text{O}_3\text{:ZnO}$ ) (b). Próbkę były wzbudzone światłem laserowym 515 nm (a) i 476 nm (b). Silne lokalne pole elektryczne w ceramice powoduje przesunięcie pasm absorpcji i emisji jonów  $\text{Cr}^{3+}$  w kierunku krótszych długości fal – w ceramice maksimum emisji fotoluminescencji przypada na barwę czerwoną, w szkłe – na podczerwień. (Zakres widzialny światła to 380–760 nm.) Dolna skala to skala energii, w tzw. „liczbach falowych” używanych w spektroskopii:  $1 \text{ eV} = 8065 \text{ cm}^{-1}$ . W prawym dolnym okienku naturalny, zanieczyszczony rubin. Adoptowane z pracy [14] za zgodą autorów (K. Służewski)

czerwony i niebieski). Te same jony, w tej samej *chemicznie* matrycy, ale o innej strukturze krystalicznej, w szklanej ceramice, znajdują się w silnym polu elektrycznym – ceramika przybiera kolor różowy (jony  $\text{Cr}^{3+}$  absorbują fiolet i zieleń). Wzbudzone światłem niebieskim jony  $\text{Cr}^{3+}$  w szkłe emitują w podczerwieni, jony w ceramice świecą kolorem *rubinowym*.

modyfikują układ pasm/poziomów energetycznych złota. Obserwowane własności optyczne są wynikiem *kolektywnych* drgań elektronów w nanoskupisku atomów. Takie drgania nazywamy *plazmonami*. Szkło „plazmonowe” jest specyficznym przykładem absorpcji/emisji, ale pokazuje ogólniejszą zależność polegającą na tym, że struktura elektro-

### Berlińska waza

Czy zawsze linie (pasma) absorpcyjne odpowiadają liniom emisyjnym? Oczywiście że nie! Prosty przykładem jest bardzo dziwne, rubinowe szkło, jakie czasem można znaleźć na bazarach w Berlinie (tam zostało wynalezione w XVII wieku). Jest ono czerwone w świetle przechodzącym, ale oglądane pod kątem wydaje się niebieskie. Nie jest to szkło z domieszką soli chromu, ale z domieszką nanowytrąceń metalicznego złota [15]. Nanoskupiska złota mają inne własności niż „lite” złoto – ograniczenia przestrzenne



**Fot. 12.** Szkło „plazmonowe” – szkło z dodatkiem nanowytrąceń złota. Jest ono czerwone w świetle przechodzącym, a niebieskawe w wewnętrznych odbiciach. Źródłem niebieskiej barwy są plazmony, kolektywne wzbudzenia elektronów w nanowytrąceniach złota. Materiał ten, wynaleziony w Berlinie w XVII wieku, jest rodem z wieku XXI (zbiory autora)

nowa absorbenta może modyfikować widmo światła emitowanego w stosunku do światła absorbowanego<sup>7</sup>.

Jeśli pasma absorpcji i emisji chemicznie prostych jonów  $\text{Cr}^{+3}$  ulegają przesunięciu w otoczeniu innych atomów, możemy spodziewać się, że dla związków organicznych, a większość barwników do nich należy, zjawiska te są jeszcze bardziej skomplikowane. Ale to już w drugiej części artykułu, poświęconej kolorom w chemii organicznej.

### Podziękowania

Widma okularów zostały uzyskane przez mgr A. Krzysztofowicza z Instytutu Fizyki Akademii Pomorskiej w Słupsku. Autor dziękuje kolegom z UMK za udostępnienie próbek i materiałów z pracy [14].

prof. dr hab. inż. **GRZEGORZ KARWASZ**

Zakład Dydaktyki Fizyki, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu,  
karwasz@fizyka.umk.pl

Więcej o plazmonach w artykule w „Chemii w Szkole”, nr 4, 2007 [16]. W artykule tym pokazane są widma absorpcji i emisji nanowytrąceń złota, podobnych jak w szkłe z fot. 12.

### LITERATURA

- [1] J. Ortyl, *Chemiczne podstawy fotografii*, „Chemia w Szkole” 2009, nr 4, s. 11
- [2] J. Ortyl, M. Galek, *Fotokromizm*, „Chemia w Szkole” 2010, nr 4, s. 6
- [3] E. Stanińska, *Chemiluminescencja – zimne światło*, „Chemia w Szkole” 2004, nr 1, s. 18
- [4] M. Małecka, A. Burewicz, *Projekt interdyscyplinarny jako skuteczna metoda kształcenia uczniów*, „Chemia w szkole” 2004, nr 3, s. 12
- [5] D. Pliszka, T. Wróblewski, M. Brozis, G. Karwasz, *Proste doświadczenia ze źródłami światła*, „Fizyka w Szkole” 2000, nr 4, <http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki/files/articles/cd/cd.html>
- [6] G. Karwasz i in., *Okulary chromatyczne*, w „Fizyka i zabawki” 2005, CD-Rom, PAP Słupsk, <http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki/files/optyka/okulary.html>
- [7] G. Karwasz, *Hydrogen – never-ending story*, w: *Droga do fizyki współczesnej, wystawa wirtualna*, 2003, PAP Słupsk, [http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy\\_archiwum/z\\_omegi/balmer.html](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/balmer.html)
- [8] G. Karwasz, *Jakiego koloru jest różowa lampka*, w: *Fiat lux – zabawy ze światłem wykład interaktywny*, [http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Pliki/Rozowa\\_lampka.pdf](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Pliki/Rozowa_lampka.pdf)
- [9] A. Zecca, G.P. Karwasz, R.S. Brusa, *One century of experiments on electron – atom and molecule scattering. A critical review of integral cross sections. I Atoms and diatomic molecules*, La Rivista del Nuovo Cimento, 19, No 3, 1996, s. 1–146
- [10] G. Karwasz, *Podwójna pierzynka*, w: *Droga do fizyki współczesnej, wystawa wirtualna*, 2003, PAP Słupsk, [http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy\\_archiwum/z\\_omegi/pierzynka.html](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/pierzynka.html)
- [11] L.P. Biro et al., *Role of photonic-crystal-type structures in the thermal regulation of a Lycaenid butterfly sister species pair*, Physical Review E, Vol. 67, Art. 021907 (2003)
- [12] W. Demtröder, *Spektroskopia laserowa*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1993, s. 158
- [13] Ch. Kittel, *Introduction to Solid State Physics*, Wiley International, 2005, s. 403
- [14] Cz. Koepke, K. Wiśniewski, M. Grinberg, G.H. Ball, *Excited state absorption in the gahnite glass ceramics and its parent glass doped with chromium*, Spectrochimica Acta Part A 54, 1998, s. 1725
- [15] G. Karwasz, *Tajemnica wyspy paw*, w: *Fiat Lux – zabawy ze światłem, Wystawa interaktywna*, UMK 2008, [http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/FIAT\\_LUX/html/45.html](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/FIAT_LUX/html/45.html)
- [16] D.J. Campbell, Younan Xia, *Plazmony – dlaczego warto o nich wiedzieć?*, „Chemia w Szkole” 2007, nr 4, s. 6

**PRENUMERATA**  
**„Chemii w Szkole”**

wejdź na [www.edupress.pl/formularz-prenumeraty/](http://www.edupress.pl/formularz-prenumeraty/)