

Jak dalece rzeczywiste są obrazy rzeczywiste

■ GRZEGORZ KĘDRA

1. Uwagi wstępne

Optyka jest jedną z najstarszych gałęzi fizyki, a może nawet nauki w szerokim znaczeniu tego słowa. Optyka *geometryczna* jest – w ten lub inny sposób, na różnych poziomach – nauczana od setek lat. Dopracowała się licznych doświadczeń pokazowych, często bardzo spektakularnych, apelujących do wyobraźni, intrygujących tym bardziej, że odnoszą się do „żywołu” bardzo delikatnego, nieuchwytnego, a niemal wszędobylskiego, który jest nam tak bliski, a jednocześnie bardzo tajemniczy. Proponujemy jedno – naszym zdaniem bardzo wartościowe i przyjemne – nowe doświadczenie pokazowe dla uczniów bardzo młodych, w wieku ok. 12–14 lat, niemal zupełnie *początkujących*, czyniących **pierwsze kroki** w optyce [1]. Doświadczenie to jest – z nauczycielskiego punktu widzenia – proste do wykonania, a dla uczniów – łatwe do zrozumienia. Odnosi się do tworzenia obrazów rzeczywistych, apeluje, m.in., do pojęć akomodacji oka, głębi ostrości, aberracji chromatycznej i aberracji geometrycznych.

2. Sposoby obejścia trudności związanych z akomodacją oka

Zdolność **akomodacji** oka, czyli zdolność jego soczewki do szybkiego dostosowywania się do wyraźnego odwzorowywania przedmiotów znajdujących się w różnej odległości, jest oczywistym dobrodziejstwem natury (nawet z punktu widzenia szans przetrwania gatunku) lecz – z uwagi na zupełnie *automatyczny* charakter, na działanie niezależne od naszej woli – może być swego rodzaju *handicapem* w pewnych, na szczęście nielicznych, sytuacjach, zwłaszcza w niektórych obserwacjach optycznych,

gdy należałoby patrzeć „w próżnię” na stosunkowo ściśle określoną odległość.

Oczywiście, istnieją liczne przyrządy optyczne pozwalające obejść ten automatyzm, skupić się na określonej *plaszczyźnie* obserwacji, na przykład:

- **kolimator ustawiony na nieskończoność** (fot. 1), opisany w Załączniku 1, służący do regulowania przyrządów optycznych „na nieskończoność”;
- **lunetka** (rodzaj miniaturowej lunety astronomicznej dostosowanej do pracy na ławie optycznej) dla której odległość „widzenia” możemy regulować przez wyciąg tubusa (fot. 1).

Te pożyteczne przyrządy nie zawsze są w dostatecznej liczbie na wyposażeniu naszych pracowni, zwłaszcza w szkołach nie specjalizujących się optyce. W takim przypadku można je bardzo łatwo i z dobrymi wynikami zastąpić paratem fotograficznym typu **małobrazkowa lustrzanka jednoobiektywowa**, ze względu na zalety celownika w tego rodzaju sprzęcie. Może to być nawet, obecnie bardzo tania, lustrzanka **starego typu**, na film 35 mm (np. niegdyś popularny radziecki *Zenit* (fot. 2) lub



Fot. 1. Lunetka (po prawej) oraz kolimator ze swoim autotransformatorem

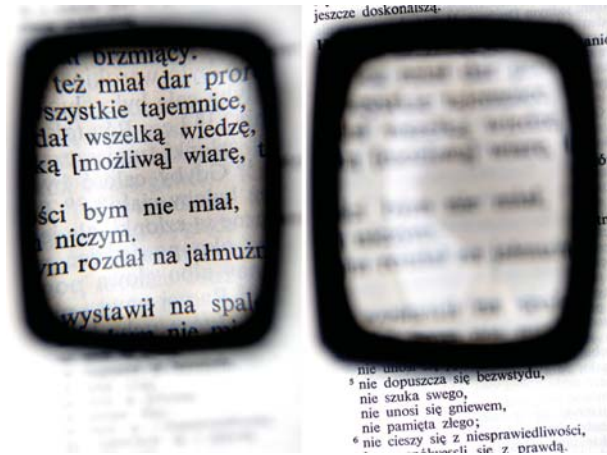


Fot. 2. Dzięki swojemu jasnemu obiektywowi („58 mm 1:2”, w skrócie „50/2”), Zeittar jest zupełnie wystarczający do naszych celów

NRD-owskie *Praktica* lub *Exakta*), nawet taka z uszkodzoną migawką (nie mamy zamiaru robić zdjęć!), nawet taka z przysłoną zablokowaną w pozycji otwartej. Dla nas ważna jest ogniskowa i jasność obiektywu oraz jakość układu lustro – przyzmat pentagonalny – matówka.

Tego rodzaju aparaty, niegdyś bardzo kosztowne, dziś niedoceniane, bo obecnie uważane za przestarzałe, są dostępne w foto-optykach i komisach (na ogół po nadzwyczaj przystępnej cenie) lub wręcz poniewierają się w wielu domach, a szkoda, bo w szkolnej pracowni mogą okazać się bardzo przydatne w wielu sytuacjach [2], zwłaszcza te z „jasnym” obiektywem (np. „2” lub „1,8”); mały teleobiektyw (np. 85 mm lub 135 mm) też byłby nie do pogardzenia, pomimo nieco skromniejszego otworu względnego (np. „2,8”). Ważne aby obiektyw był „jasny” – tutaj niemal zawsze będziemy pracować przy zupełnie **otwartej** przysłonie (to znaczy o małej liczbie, np. „2”). Aparaty innego rodzaju, na przykład z **dalmierzem** (np. Zorkij, FED, itp.), są nam nieprzydatne.

Rozumie się, że współczesna, *cyfrowa*, lustrzanka jedno-obiektywowa, ale *prawdziwa* lustrzanka (a nie „bridge”), równie dobrze



Fot. 3. Prosta lecz dobitna ilustracja faktów, że: 1) obraz tworzony przez lupę nie leży w płaszczyźnie przedmiotu; 2) punkty leżące w jednej płaszczyźnie są odwzorowane w jedną płaszczyznę

nadaje się do naszych celów, zwłaszcza jeśli obiektyw, w który jest wyposażona jest dostatecznie „jasny” (w praktyce od „1,4” do „3,5”) a jednocześnie dostatecznie długoogniskowy (powiedzmy, 50 mm lub więcej). Zdjęcia efektów optycznych zamieszczone w tym tekście wykonane zostały lustrzanką cyfrową z obiektywem **macro** 50/2,5, który, jak przystało na obiektyw *macro*, okazał się szczególnie wygodny w użyciu gdyż umożliwia operowanie przy bardzo małej głębi ostrości, pomimo dość krótkiej ogniskowej i umiarkowanej „jasności”.

Jako bardzo prosty *przykład* zastosowania takiego aparatu do celów elementarnej optyki, weźmy *próbę* sfotografowania strony tekstu, na której położono lupę na jej nóżce. Widziany przy dużym otworze (na przykład przy przysłonie „2,5”) obraz jest ostry albo pod lupą (gdzie jest powiększony) albo poza lupą („przedmiot”), ale nie w obu tych obszarach jednocześnie (fot. 3), co świadczy o tym, że obraz tworzony przez lupę *nie* leży w płaszczyźnie przedmiotu.

Inny oczywisty i bardzo elementarny przykład: wycelowawszy aparat fotograficzny z odległości 1,0 m w płaskie lustro, jaką odległość należałoby ustawić, aby – widziany

w celowniku aparatu – obraz tegoż aparatu w lustrze był optymalnie ostry? Odpowiedź bardzo łatwo sprawdza się doświadczalnie.

3. Doświadczenie: patrzymy na obraz rzeczywisty

3.1. Przygotujmy prosty montaż wstępny

Za pomocą najlepszej soczewki skupiającej jaką posiadamy (ogniskowa 150 do 300 mm) bardzo starannie utwórzmy niewielki (np. calowy), wyrazisty obraz rzeczywisty niewielkiego asymetrycznego przedmiotu na półprzezroczystym **ekranie** (na cienkiej pexiglasowej matówce lub stosownym „maślanym” papierze) dokładnie prostopadłym do osi układu (fot. 4).

Sprawdźmy, czy nasi uczniowie uprzednio naprawdę dobrze opanowali **pojęcie obrazu rzeczywistego**; na wstępnym poziomie nauczania słowo „**obraz**” może – w umysłach uczniów mniej uważnych i mniej dociekliwych – kojarzyć się, niestety, bardziej z materialnym *substratem* (ekran, kartka papieru, szklana matówka itp. – coś, co można *zawiesić* na ścianie) niż z *odwzorowaniem* w wyniku zbiegania się promieni świetlnych.

Jak się później okaże, dobrze byłoby zasilac źródło światła za pośrednictwem *autotransformatora*, jeśli dysponujemy takowym; jeśli nie mamy autotransformatora ani stosownego *regulowanego* zasilacza, na pewno zdołamy zaimprovizować jakąś inną, skuteczną metodę regulacji jasności żarówki (reostat?).

3.2. Czy moglibyśmy obejść się bez ekranu?

Upewniwszy się, że – w razie potrzeby – potrafimy łatwo ponownie *wstawić ekran w dokładnie to samo miejsce*, usuńmy nasz ekranik, a następnie **po zmniejszeniu jasności źródła światła** siląc się na patrzenie „zwyczajnie” (to znaczy, gołym okiem) w *puste* miejsce po ekranie, próbujemy zobaczyć obraz w miejscu, gdzie widzieliśmy go poprzednio.

Okazuje się, że teraz, bez ekranu, nie idzie nam to łatwo. Zamiast czytelnego, wyrazistego, ostrego obrazu majaczy nam jakiś trudny do opisanego, dziwny, zmienny w czasie „*bohomas*”, niemożliwy nawet do zlokalizowania. Bezskuteczne przebieganie osi optycznej wzrokiem w poszukiwaniu za zaginionym obrazem staje się, z czasem, bardzo męczące (fot. 5).



Fot. 4. Wygląd opisywanego wstępnego montażu: przedmiot – soczewka – ekran półprzezroczysty („matówka”) na ławie optycznej



Fot. 5. Autor w poszukiwaniu „zaginionej” części obrazu (fot. Bernard Gendreau)

Co się stało z obrazem? Co jest przyczyną naszej niezdolności dalszego widzenia tego obrazu? Przecież „coś” musi być w miejscu, gdzie poprzednio go widzieliśmy! Czyżby nie było prawdą, że obraz tworzony jest przez *światło*, a nie przez ekran?! (No właśnie, jaka jest rola w ekranie tworzeniu/obserwacji obrazu?)

*

Kto z uczniów (uczennic), wysuwając hipotezę o zdolności **akomodacji oka**, sprawi, że wybrniemy z tego impasu. Ciekawe, ilu takich będzie w klasie? A może trzeba będzie wyjaśnić *całej* klasie, na czym polega nasza trudność z obserwacją tego obrazu (który „powinien” tam jakoś być nadal). Dalsze doświadczenia pozwolą nam przekonać się o słuszności tej hipotezy.

3.3. Połowiczne rozwiązanie¹

Przywróćmy ekranik-matówkę *dokładnie* na swoje poprzednie miejsce (znowu mamy obraz!) ale, tym razem, przesunmy ekranik odrobinę w kierunku prostopadłym do osi tak, aby na nim widać było tylko *połowę* obrazu (powiedzmy, prawą połowę patrząc w kierunku *ku* źródłu światła). Skierujmy teraz nasz aparat fotograficzny (jeśli możli-

we, solidnie umocowany na statywie lub podnośniku) w kierunku obrazu i bardzo starannie, cierpliwie ustawmy ostrość (na obiektywie aparatu) na ekranik zajmujący tylko prawą połowę pola widzenia (fot. 5). Widzimy *cały* obraz, nie tylko połowę po prawej, ten na ekraniku, ale *także* jego lewą połowę, „w powietrzu” (fot. 6).

Zwracamy uwagę na konieczność bardzo precyzyjnego ustawienia ostrości (odległości) i skorygowania ustawienia na osi. Nawet stosunkowo drobny błąd ustawienia odległości wzdłuż osi lub nieznaczne odchylenie od osi mogą powodować bardzo widoczne zniekształcenia geometryczne obrazu i aberrację chromatyczną. Dołóżmy więc nieco starań, aby ten obraz, widoczny na matówce lustrzanki, był bardzo wyrazisty, zupełnie czytelny i, w miarę możliwości, wolny od aberracji. To się daje osiągnąć, to jest nawet łatwe, trzeba odrobinę cierpliwości. Poświęćmy trochę czasu, aby każdy uczeń (każda uczennica) spokojnie dokonał(a) obserwacji, wymienił(a) spostrzeżenia, i ewentualnie zaproponował(a) dalszy ciąg doświadczenia.

Na skali odległości odczytajmy (niestety, niezbyt precyzyjnie) odległość przedmiotu obserwowanego przez aparat i porównajmy z położeniem ekranu. Wyciągnijmy wnioski.

3.4. Postawmy kropkę nad „i”

Propozycja: **Usuńmy ekran**, zupełnie! Rzeczywiście, wygląda na to, że on już *teraz* do niczego nie służy.

A więc, nie zmieniając innych elementów montażu (zwłaszcza położenia aparatu ani jego ustawień), delikatnie usuwamy

¹ Doświadczenie opisane w tym podrozdziale zainspirował i życzyłwie, z cierpliwością, zrealizował ze mną Bernard Gendreau, profesor Classes Préparatoires w paryskiej Ecole Nationale de Chimie, Physique et Biologie. Nawiasem mówiąc, w swoim kraju, Bernard Gendreau jest znany jako autor autor/współautor około dziesięciu podręczników fizyki dla szkół wyższych (wydawcy: Hachette, Nathan).



Fot. 6. Oba „pół-obrazy” widziane jednocześnie przez aparat fotograficzny



Fot. 7. Obraz (z resztkami aberracji) widziany bez ekranu, przy użyciu lustrzanki

ekran całkowicie! Cały obraz jest teraz bezpośrednio widoczny w celowniku naszej lustrzanki – „lunetki” (fot. 7).

Obraz może jeszcze być obarczony pewną **aberracją chromatyczną**, można zauważyć pewne **aberracje geometryczne**. Poeksperymentujmy, przesuwając aparat o kilka milimetrów do przodu, do tyłu, w prawo, w lewo, i znowu, starając się całkowicie wyeliminować aberracje.

Zostawmy uczniom trochę czasu na uważną obserwację obrazu w celowniku aparatu.

4. Proste przykłady zastosowań

Aby sprawdzić, czy wnioski przeprowadzonego doświadczenia na realność obrazów rzeczywistych naprawdę zostały należycie przyswojone, możemy – w *stosownym momencie* – zaproponować uczniom proste zadania (wyznaczyć położenie i naturę obrazu danego przedmiotu w układzie optycznym), w rodzaju diskutowanych poniżej, z tym że dane liczbowe (np. wartości ogniskowych) należy dostosować do środków, które są do dyspozycji w pracowni.

W pierwszym podejściu, należy ograniczyć się do (uważanego za prostszy) układu dwóch soczewek *skupiających* umieszczonych względem siebie w jakiejś „nieosobliwej” odległości (rys. 1).

Od uczniów oczekujemy, że – pomni na doświadczenie omówione w pkt. 3.4 – natychmiast wpadną na pomysł posłużenia się

tzw. **obrazem pośrednim**. Po graficznym rozwiązaniu zadania, dobrze by było sprawdzić wynik doświadczalnie (obserwować obraz znowu *na ekranie*).

Na marginesie naszych obecnych rozważań, przedyskutujmy krótko niektóre proste właściwości układu, na przykład:

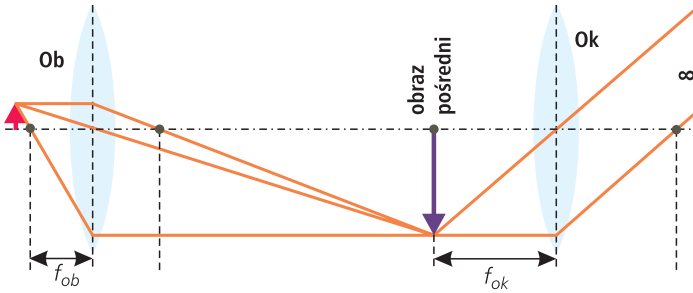
1. Co zyskalibyśmy, biorąc $f_{ok} \ll f_{ob}$?
2. Jaki jest pożytek z tego, że obraz w soczewce O_k tworzy się w nieskończoności? Jaki znany typ przyrządu optycznego reprezentowałby ten układ optyczny?
3. Jak należałoby zmodyfikować układ, aby obraz (nadaj w nieskończoności) nie był odwrócony?

Znacznie później, *po ugruntowaniu* pojęć i nawyków, weźmy przypadek podobny do zaproponowanego poniżej, mniej prosty lecz bardziej inspirujący, stanowiący wyzwanie dla intuicji początkujących uczniów (uczennic). Podobnie jak poprzednio, dane liczbowe należy dostosować do sprzętu, jakim dysponujemy.

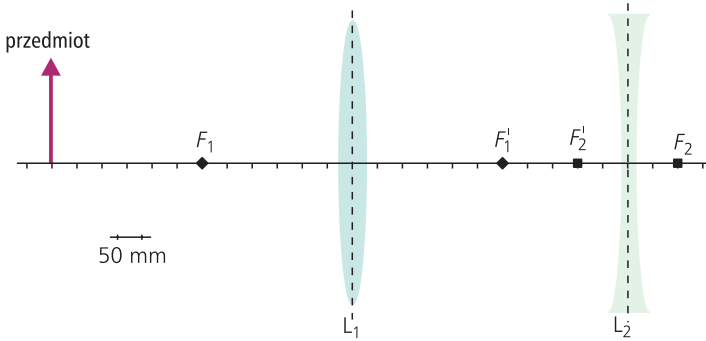
Propozycja zadania

Układ optyczny, złożony z dwóch współosiowych soczewek L_1 i L_2 o ogniskowych odpowiednio $f_1 = 300$ mm i $f_2 = -100$ mm, odległych jedna od drugiej, o 550 mm, odwzorowuje niewielki, przosiowy przedmiot odległy od pierwszej soczewki o 600 mm, jak na rys. 2a. Wyznaczyć położenie i rodzaj obrazu.

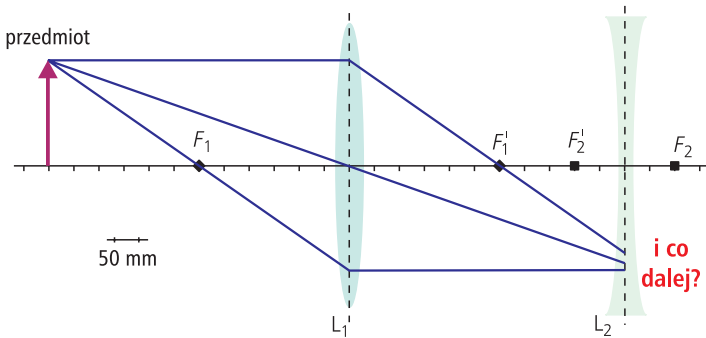
Machinalna reakcja początkującego ucznia polegałaby na narysowaniu promieni wychodzących z wierzchołka przedmiotu odpowiednio przez ognisko F_1 soczewki L_1 , przez środek soczewki L_1 oraz promienia równoległego do osi optycznej układu. To podejście jest dość sensowne, ale *tu* prowadzi do impasu (rys. 2b). Trudność polega na tym, że na skutek „nieosobliwej” odległości jednej soczewki względem drugiej, niektóre promienie z L_1 trafiają na L_2 w punktach (lub nachylone pod kątami), które mu (uczniowi) „nie odpowiadają”, dla których nie potrafi *precyzyjnie* wykreślić promienia wychodzące-



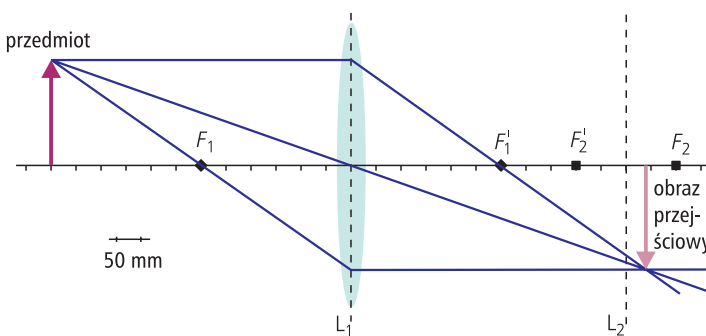
Rys. 1. Przykład układu optycznego będącego przedmiotem prostego zadania



Rys. 2a. Postawienie problemu



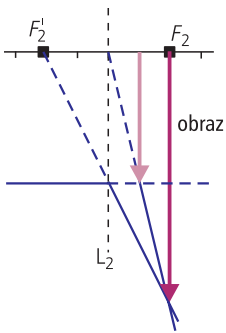
Rys. 2b. Fiasko elementarnej metody



Rys. 2c. Redukcja problemu: obraz przejściowy zostałby zrealizowany tylko pod nieobecność L_2

go, bo żadna z powszechnie znanych „reguł” (promień przez centrum soczewki, promień przez ognisko, promień równoległy do osi) do nich już się zastosować nie daje.

Otóż, należy rozumować nie tylko w kategoriach promieni lecz także, a nawet przede wszystkim, w kategoriach *obrazów*. Zadanie redukuje się do dwóch nadzwyczaj prostych przypadków. Pierwsza soczewka utworzy *rzeczywisty obraz przedmiotu* w odległości 600 mm za L_1 , a zatem 50 mm za L_2 . Przekonajmy się, czy uczniowie zdają sobie sprawę, iż – z powodu soczewki L_2 – tworzenie tego obrazu rzeczywistego (nazywajmy go **obrazem pośrednim**) tutaj – w odróżnieniu od doświadczenia opisanego w pkt. 3.4. – niezupełnie „dochodzi do skutku”: tworzące go promienie są bowiem „przechwytywane” przez L_2 i przez nią reorientowane. Na nic zdałaby się próba jego obserwowania *nawet* przez naszą zaimprovizowaną „lunetkę” (lustrzanekę). Pomimo tego, pojęcie *rzeczywistego obrazu pośredniego* jest tutaj także niesłychanie pomocne – do odpowiednich promieni tworzących ten „urojony przedmiot”



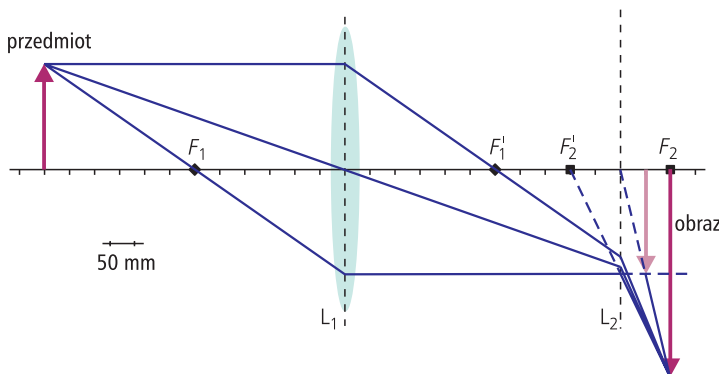
Rys. 2d. Szczegół rozwiązania

łatwo jest zastosować znane metody konstrukcji obrazów.

A więc, zadanie sprowadza się teraz do jednej jedynej soczewki L_2 (rys. 2c), rozpraszającej tym razem, o ogniskowej $f_2 = -100$ mm, tworzącej obraz swego rodzaju **przedmiotu** (!) odległego od niej o -50 mm (uwaga na znak minus!). Powtarzamy, że nie jest to jednak banalny przedmiot – odnoszące się do niego promienie padające na L_2 tworząc wiązkę *zbieżną* i padają *od lewej* na tę soczewkę (pomimo że obraz jest po prawej stronie L_2). Ten „przedmiot” jest – naiwnie mówiąc – jakby po „niewłaściwej” stronie tejże soczewki. Jest to zresztą przykład tak zwanego **przedmiotu urojonego**: tworzony przez soczewkę L_1 obraz pośredni jawi się dla soczewki L_2 jako *przedmiot* urojony.

Teraz rozwiązanie jest już bardzo proste (rys. 2d).

Otrzymany obraz *końcowy* jest *rzeczywisty* (a jednak), powiększony i odwrócony.



Rys. 2e. Rozwiązanie zadania: synteza rysunków 2a–d

Początkujący uczniowie mogą się więc przekonać, że – w *złożonych układach optycznych* – soczewka rozpraszająca nie zawsze daje obrazy pozorne; zwróćmy uwagę uczniów na ten wynik.

To, że obraz końcowy jest *większy* od obrazu pośredniego (też nieźle jak na soczewkę rozpraszającą) ilustruje fakt, że wiązka zbieżna stała się nieco mniej zbieżna po przejściu przez soczewkę rozpraszającą.

Sprawdźmy, tak dokładnie, jak na to pozwalają warunki, *doświadczalnie* przed uczniami otrzymane wyniki zadania: położenie obrazu i jego powiększenie. Sprawa nie jest błaha: chodzi o przekonanie co do – dość hipotetycznej jeszcze – metody obrazu pośredniego.

Zasługą tego zadania jest to, że – dobrze zrozumiane – oddaje, przy użyciu nadzwyczaj prostych środków, sporo z finezji – zdawałoby się bardzo prostych – pojęć optyki: zwraca uwagę na szerszy sens pojęcia „obraz rzeczywisty” i wprowadza pojęcie „przedmiotu urojonego”.

Uczeń który w powyższym zadaniu raz poradził sobie z *dwoma* soczewkami, tą samą metodą potrafi rozwiązać zagadnienie dotyczące dowolnej ich liczby. Sytuacje tego typu pojawiają się często przy analizie działania złożonych przyrządów optycznych (np. mikroskop, luneta astronomiczna), toteż ważne jest, aby metoda postępowania „od obrazu do obrazu” nie była *trickiem* „podpowiadany” *ad hoc*, lecz aby została dobrze rozumiana, aby stanowiła integralną część starannie ukształtowanego, świadomego, rozumnego sposobu analizowania układów.

Oczywiście, znacznie bardziej zaawansowani uczniowie bardzo szybko otrzymaliby rozwiązanie metodą macierzową [2].

Rzeczywisty obraz pośredni przedmiotu

może się okazać, w pewnych sytuacjach, znacznie bardziej wygodny w użyciu niż jego pierwowzór, otwiera nowe możliwości, jak powyższy przykład z „przedmiotem urojonym” pokazuje. Obrazy rzeczywiste stosowane w roli obrazów pośrednich są *przezroczyste* dla innych promieni więc nie przeszkadzają w tworzeniu dalszych obrazów. Nawet bardzo początkujący uczniowie łatwo rozumieją, że daje to **możliwość nakładania obrazów**, ich wzajemnego przenikania: wystarczy bowiem wytworzyć obrazy rzeczywiste (obrazy „przejsciowe”) obu przedmiotów **we wspólnej płaszczyźnie** (porównaj fot. 3), a następnie dokonać odzorowania (jeden, wspólny obraz „końcowy”) też płaszczyzny.

Ilustracja: W okularze szkolnego **spektrometru** (fot. 8) widać *jednocześnie* dwa bardzo ostre obrazy:

- 1) widmo liniowe, w nieskończoności (bo tak został nastawiony kolimator szczeliny), utworzone przez wiązkę *załamaną* w pryzmacie,
- 2) podziałkę zwaną „mikrometrem”, również w nieskończoności (bo tamże lunetka „rzuca” obraz wygrawerowanej „na od-

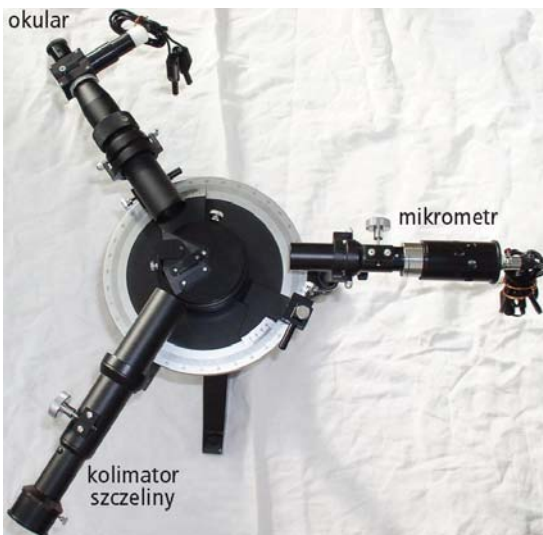
wrót”, retro-oświetlonej podziałki), dzięki *odbiciu* w ścianie pryzmatu.

Uczniowie realizujący właściwe ćwiczenia ze spektrometrem powinni, rzecz jasna, skoncentrować uwagę na otrzymaniu widm, ich obserwacji, na metodzie najmniejszego odchylenia, pomiarach, szacowaniu błędów, interpretacji wyników, itp., toteż dla nich nie jest to pora na dociekania z dziedziny optyki geometrycznej (w rodzaju „*Jak to się dzieje, że jednocześnie widać widmo i podziałkę?*”); ta powinna być znacznie wcześniej doskonale zrozumiana i dobrze przyswojona; uczniowie powinni uprzednio nabyć nawyk rozumowania w kategoriach strumienia energii (choć to pojęcie nie jest *explicite* definiowane), płaszczyzny przedmiotowej, płaszczyzny obrazowej, obrazu pośredniego, obrazu urojonego/rzeczywistego, itp.; wyżej opisane proste doświadczenie jest bardzo w tym pomocne i mam nadzieję, że wejdzie do kanonu *elementarnej* optyki.

5. Wnioski

Nawet w przyrządzie tak wszędobylskim a prostym jak szkolny **mikroskop** optyczny (do którego nawiązuje rys. 1) tworzymy – za pomocą okularu – obraz pośredniego obrazu rzeczywistego utworzonego przez obiektyw (zapewne dlatego w j. angielskim czasem nazywa się go „*compound microscope*”); podobnie w lunecie i tym podobnych.

Kwestia akomodacji oka jest bardzo interesująca i być może uczniowie *już uprzednio* mieli sposobność nią się zajmować w innym kontekście. Dobitnie zwróćmy uwagę na to, że ekran (jaki by nie był) odgrywa rolę jedynie w procesie *obserwacji* obrazu (ale *nie w tworzeniu* obrazu!) gdyż, w pewnym sensie „*dyscyplinuje*” nasz wzrok ustanawiając „*coś*”, co światło oświetla. To co widzimy, to nie tyle samo światło, co przedmioty przezeń oświetlone. Nawet podczas doświadczenia, po zupełnym usunięciu ekranu, widzimy nie tyle „*światło w próżni*”, ile obraz (obrazu) *na matówce* aparatu fotograficznego (Załącznik 2).



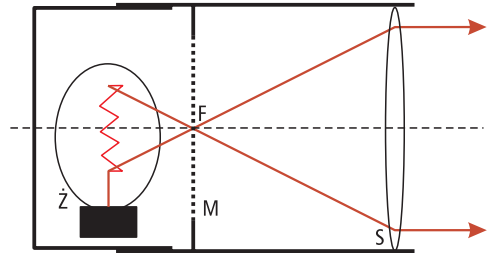
Fot. 8. Zasadnicze części prostego szkolnego spektrometru: okular z lunetką i urządzeniem do autokolimacji, szczelina z kolimatorem, mikrometr z lampą (do podświetlania podziałki) oraz swoim kolimatorem

Krótko mówiąc, obraz *jest* tam gdzie był i to *mimo nieobecności ekranu*. Ten obraz istnieje i odpowiada określonej *rzeczywistości fizycznej* (konieczność zastosowania autotransformatora wskazuje na to, jak brutalna a nawet *dotkliwa*, może być ta realność obrazu rzeczywistego). Może stracimy go z oka, ale nie przestanie istnieć, bo odpowiada pewnej rzeczywistości *energetycznej* (czyniąc aluzje do uszkodzonych przez gorąco żelatynowych filtrów kolorowych czy polaryzatorów, lekkomyślnie – choć, na pozór, inteligentnie – umieszczanych w płaszczyźnie ogniska, zapewne dlatego, bo tam najłatwiej pokryć wiązkę, bo tam jest najcieńsza ...); obraz rzeczywisty istnieje niezależnie od tego czy go widzimy, istnieje „sam w sobie”, istnieje **obiektywnie**, niezależnie od *substratu* jaki stanowi ekran.

Nie sama umiejętność rozwiązywania nowego typu zadań stanowi o wartości dyskusowanego doświadczenia (które samo w sobie jest bardzo proste, nie wnosi nowego prawa, nie zwiastuje żadnego nowego zjawiska) lecz to, że przyczynia się do odpowiedzi na pewne uprzedzenia i związane z tym trudności młodych uczniów [1] takich jak rola ekranu w tworzeniu obrazu rzeczywistego, obiektywny charakter obrazu rzeczywistego, akomodacja oka, lupa², rozpowszechnione niesłuszne uogólnienia dotyczące soczewek rozpraszających. Dobrze przeprowadzony i przedyskutowany ten pokaz wydatnie pomoże w „katalizowaniu” nowego sposobu patrzenia na pewne zjawiska fizyczne i stąd wynikającego *wczesnego*, udanego przejścia na wyższy poziom rozumowania, ku optyce (a nawet, fizyce) bogatszej, ciekawszej, bardziej zrozumiałej, oferującej znacznie większe możliwości zastosowań technicznych.

Załącznik 1

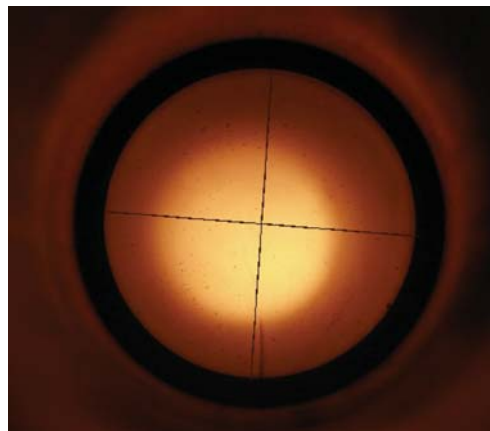
Zasada działania kolimatora ustawionego na nieskończoność jest nadzwyczaj prosta, rys. Z1.



Rys. Z1. Dotyczy zasady działania omawianego kolimatora. Żarówka 220 V, o mocy nominalnej kilku watów, zasilana jest za pośrednictwem autotransformatora

Soczewka kolimatora S tworzy obraz umieszczonej raz na zawsze, precyzyjnie, w jej płaszczyźnie ogniskowej, matówki z wygrawerowanym „krzyżem celowniczym” M. Ustawienie lunetki regulujemy przez wyciąg tubusa. Jeśli patrząc, na przykład *przez lunetkę*, jak na fot. 1, do wnętrza kolimatora, widzimy wyraźny, „ostry” obraz krzyża (rys. Z2) to mamy pewność, że lunetka ustawiona jest „na nieskończoność”.

Zauważmy, że dokonując wymiany żarówki Z, nie ryzykujemy rozregulowania kolimatora, ważne jest bowiem tylko to, że matówka M, a więc także krzyż celowniczy,



Rys. Z2. Wnętrze kolimatora widziane przy patrzeniu w nieskończoność

² Chodzi o rozpowszechnione wśród dzieci także takie opinie („przesady”) jak: soczewka skupiająca to lupa + lupa powiększa \implies soczewka skupiająca zawsze powiększa, soczewka rozpraszająca zawsze pomniejsza.

niezmiennie pozostaje w płaszczyźnie ogniskowej soczewki S.

Załącznik 2

Lustrzanka jednoobiektywowa pozwala bardzo łatwo wymontować (w pewnych modelach – po prostu odkręcić) obiektyw i zobaczyć tę małą matówkę; możemy więc ją pokazać uczniom, jeśli uznamy to za stosowne (rys. Z3).

Problem:

Jak to się dzieje, że obraz *widoczny* na matówce lustrzanki:

- 1) nie jest odwrócony „góra-dół” (pomimo że jest obrazem rzeczywistym utworzonym przez soczewkę skupiającą);
- 2) nie ma właściwości odbicia zwierciadlanego „prawa – lewa” (pomimo odbicia światła w lusterku lustrzanki)?



Rys. Z3. Matówka lustrzanki (Praktica L)

Wskazówka: Zaineresować się pryzmatem pentagonalnym (poniekąd widocznym w dolnej części fot. 2).

LITERATURA

- [1] Guesne E., *Children's ideas about light*, New Trends in physics teaching, Vol. IV, UNESCO, Paris 1984.
- [2] Kędra G., *Macierze i soczewki*, Fizyka w Szkole, nr 3, 2007.

GRZEGORZ KĘDRA

ENCPB, Paryż (Francja)

Drodzy Czytelnicy

*Życzymy Wam
wesołych Świąt
Bożego Narodzenia
i pomyślności
w Nowym Roku.*

