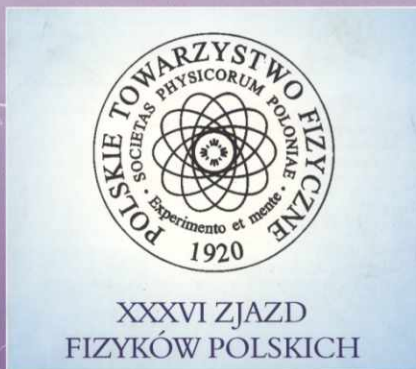


Fizyka

w Szkole



$$E=mc^2$$



Przykłady wykorzystania eksperymentów historycznych w nauczaniu fizyki

■ JÓZEFINA TURŁO, KRZYSZTOF SŁUŻEWSKI, JACEK RYBICKI, ANDRZEJ KARBOWSKI
(Pracownia Dydaktyki Fizyki, Instytutu Fizyki, Uniwersytet M. Kopernika, Toruń)

Wprowadzenie

Mimo gwałtownego rozwoju wykorzystania nowoczesnych metod i środków technologii informacyjno-komunikacyjnych w edukacji, ukazuje się coraz więcej prac wskazujących na duże znaczenie historii i filozofii nauki ([1], [2], [3], [5], [6]), w tym przede wszystkim eksperymentów historycznych, dla efektywności nauczania przedmiotów przyrodniczych.

Punktem wyjścia programu badawczego, podjętego w Instytucie Fizyki na Uniwersytecie w Oldenburgu w Niemczech ([1], [2], [3]), który w konsekwencji doprowadził do zgromadzenia największej kolekcji replik przyrządów historycznych w Europie, była analiza niedostatków w nauczaniu fizyki, na różnych poziomach nauczania, od szkoły średniej do uniwersytetu, w wyniku czego zidentyfikowano trzy główne problemy w nauczaniu fizyki:

- Brak zainteresowania przedmiotem – badania empiryczne wykazały, że motywacja uczniów jest największa zanim rozpoczną naukę przedmiotu lub na początku nauki fizyki czy chemii, lecz z czasem zainteresowanie to dramatycznie spada. Na poziomie liceum jako obowiązkowy przedmiot przyrodniczy uczniowie wybierają raczej biologię, a nie fizykę. Niektórzy z obecnych studentów kierunku nauczycielskiego nawet nienawidzili fizyki w szkole! Zdaniem badaczy powodów tego stanu rzeczy można upatrywać w dość abstrakcyjnej i sformalizowanej metodzie przedstawiania materiału.

- Brak umiejętności rozumienia pojęć, poglądów i metod. Szczegółowe badania wykazały ogromną porażkę w zakresie uczenia podstawowych pojęć, praw i metod stosowanych w naukach przyrodniczych. Dotyczy to nie tylko większości dorosłych, lecz również uczniów wszelkich typów szkół; nawet studenci pierw-

szych lat uniwersyteckich kierunków ścisłych posiadają niedostateczną wiedzę.

- Brak rozumienia społeczno-politycznej roli nauk przyrodniczych. Ponieważ nauczanie przedmiotów przyrodniczych ogranicza się obecnie do przedstawiania zagadnień w ściśle określonym porządku, tak jak w podręcznikach, prawdziwy wpływ nauki i techniki na życie codzienne jednostek i społeczeństwa nie może być prawidłowo rozumiany. W rezultacie mamy do czynienia z „dziwną mieszanką” uczuć w stosunku do nauki i techniki: od euforii, poprzez strach lub niepewność aż do wrogości.

Na bardzo niski poziom zainteresowanie fizyką uczniów szkół podstawowych i średnich wskazują również badania przeprowadzone przez Pracownię Dydaktyki Fizyki WSP w Krakowie w latach 1991/92 i 1997/98. Badania przyczyn tego stanu ujawniły przede wszystkim brak przeprowadzania dostatecznej ilości eksperymentów fizycznych, a także pomijanie wykorzystania środków audiowizualnych i pozaszkolnych źródeł wiedzy oraz niedomagania w zakresie organizacji lekcji ([4]).

Konsekwencją takiej sytuacji jest rosnący „analfabetyzm naukowy” i spadek jakości procesów decyzyjnych w odniesieniu do projektów naukowych i technicznych. Przecenia się zwykle opinie ekspertów, a konieczność realizacji zadań technicznych wywołuje naciski zarówno na decydentów jak i na opinię publiczną.

Zdaniem profesora Riessa ([3]), jednym, choć nie jedynym, sposobem zmiany tej sytuacji jest **intensywne wykorzystanie metody uczenia przedmiotów przyrodniczych poprzez historię**. Cel jest dwojaki: **lepszą znajomość nauk przyrodniczych i lepsze rozumienie istoty przyrody**. Poprzez nauczanie przedmiotów przyrodniczych w kontekście historycznym uczniowie uczą się rozumieć, że:

- Nauki przyrodnicze, to nie jest sztywny zbiór wyników, lecz proces, w którym poszczególne fazy następują w logicznym porządku. Niezależnie od przyjęcia tego, czy innego z obiegowych modeli rozwoju naukowego (np. Holton, Kuhn, Wróblewski) jest oczywiste, że nie było liniowego ciągu przyczynowego w odkryciach naukowych, które doprowadziły do obecnego stanu wiedzy (co sugeruje się w większości współczesnych podręczników).

- Naukę tworzą poszczególne osoby lub zespoły, a historyczno-społeczne otoczenie ma wpływ na ich idee, poglądy i metody. Zwykle postęp w nauce następuje nie dzięki wspaniałemu olśnieniu wielkiego uczo-

nego, a dzięki zespołom i społecznościom, które stwarzają odpowiedni społeczno-polityczny i filozoficzny grunt pod idee swoich czasów.

- Wyniki empiryczne (zwykle nazywane „faktami”) nie są *odkrywane*, lecz *wytwarzane*” a postęp w nauce zależy od współczesnego stanu rzemiosła, technologii i kultury. Powszechne nieporozumienie dotyczące eksperymentu i jego roli w procesie naukowym tkwi w prostym, lecz często błędnym schemacie:

obserwacja → eksperyment → prawo.

Jednakże, jak wykazują badania nad zdarzeniami historycznymi, między założeniami, oczekiwaniami i rozważaniami teoretycznymi istnieją skomplikowane związki.

- Nauka i społeczeństwo pozostają w ścisłym i złożonym związku, który jest siłą napędową postępu. Historia postępu naukowego i techniki pokazuje, że nie samo poszukiwanie prawdy jest najsilniejszym bodźcem dla naukowców. Różnice pomiędzy stosowaną nauką a techniką faktycznie nigdy nie były tak znaczne jak się wydawało; w ostatnich dziesięcioleciach uległy nawet zmniejszeniu, co zostało wymuszone przez procesy ekonomiczne.

- Występujące potocznie poglądy uczniów (często zwane prekoncepcjami lub błędnymi koncepcjami) bardzo przypominają naukowe koncepcje z przeszłości i można je zmieniać idąc śladami odkryć historycznych. Wyniki empiryczne pokazują, że poglądy obserwowane u dzieci lub laików dotyczące zjawisk przyrodniczych często przypominają teorie z wczesnego okresu rozwoju nauki (najlepszy przykład to teoria mechaniki Arystotelesa). Niektórzy psychologowie poznania sugerują, aby wykorzystać ten fakt w konstruowaniu programów nauczania i pomocy dydaktycznych (np. Piaget).

- Aby poprawić nauczanie przedmiotów przyrodniczych, należy w szczególności mocno **podkreślić rolę eksperymentu historycznego**. Przez długi czas doświadczenie było niedoceniane przez filozofów, historyków i socjologów. Dopiero w dwóch ostatnich dziesięcioleciach wytworzyła się nowa świadomość co do znaczenia przeprowadzania doświadczeń dla tworzenia wiedzy naukowej, która została odzwierciedlona w „New History and Philosophy of Science” jako część socjologii nauki (Collins 1983).

Sugeruje się więc trzy praktyczne etapy służące polepszeniu nauczania przedmiotów przyrodniczych poprzez historię nauki:

- Historia nauki powinna znaleźć się jako przedmiot obowiązkowy w programie nauczania przedmio-

tów przyrodniczych oraz programie kształcenia nauczycieli.

- Historycy nauki, pedagodzy i dydaktycy przedmiotowi muszą zintensyfikować wspólne wysiłki w celu opracowania właściwych metod nauczania i materiałów dydaktycznych z zakresu historii nauki.

- Pracownie fizyczne, szczególnie w szkołach, muszą oferować zajęcia warsztatowe umożliwiające nauczycielom i uczniom własne budowanie i rekonstruowanie sprzętu doświadczalnego (w tym o charakterze historycznym).

A jak w tym względzie sytuacja wygląda w Anglii? Otóż w nowej wersji (z roku 1999) obowiązującego w Anglii dla uczniów w wieku 11–14 lat Narodowego Programu Nauczania Przyrody [7] pod hasłem „Koncepcje i dowody w naukach przyrodniczych” stwierdza się, co następuje: „Uczniów należy uświadomić:

- o zależnościach pomiędzy problemami empirycznymi, materiałami dowodowymi i wyjaśnieniami naukowymi, wykorzystując przykłady historyczne i współczesne (na przykład prace Lavoisiera o spalaniu i możliwe przyczyny globalnego ocieplenia),
- o tym, jak ważna jest weryfikacja wyjaśnień przez wykorzystanie ich do przewidywań i sprawdzania czy przewidywania te są zgodne z materiałem dowodowym,
- o współczesnych metodach pracy naukowej i o metodach z przeszłości, w tym o roli doświadczeń, materiału dowodowego i twórczej myśli w rozwoju pojęć naukowych” ([6]).

Dla uczniów w wieku 14–16 lat wymagania są wyższe. Historia i filozofia nauk przyrodniczych stanowi zatem obecnie część programu nauczania wymaganego w Anglii na egzaminie GCSE (dla 16-latków kończących edukację obowiązkową), nawet jeśli jest to niewielka jego część. W dokumentacji wymagania te umieszczone są na początku pierwszego rozdziału zatytułowanego „Dociekania naukowe”.

Repliki przyrządów historycznych w Instytucie Fizyki UMK w Toruniu

W 1988 roku, na obecnym Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UMK w Toruniu rozpoczęło działalność pierwsze tego typu w Polsce Wyższe Zawodowe Studium Nauczycielskie dla nauczycieli dwu przedmiotów – fizyki i matematyki oraz fizyki i chemii. W związku z przygotowywaniem nauczycieli do pracy w zreformowanej szkole, w latach

1997–2001 Pracownia Dydaktyki Fizyki IF UMK była kontraktorem i koordynatorem międzynarodowego projektu PHARE/TEMPUS JEP-12267 pt.: „Modernizacja dwukierunkowego kształcenia nauczycieli” [8]. Współpracując z wybitnymi dydaktykami nauk przyrodniczych i matematyki z krajów Unii Europejskiej, z takich Ośrodków Uniwersyteckich, jak King's College w Londynie (UK), Faculty of Science Education, Sheffield Hallam University (UK), Instytut Fizyki, Uniwersytet Carl von Ossietzky w Oldenburgu (D), „Galileo Galilei” Instytut Fizyki, Uniwersytet w Padwie (I), Instytut Matematyki, Uniwersytet w Marsylii (F) oraz Association of Science Education (UK) opracowaliśmy program kształcenia nauczycieli, który od roku akad. 2001/2002 jest realizowany na Międzywydziałowym Studium Matematyczno-Przyrodniczym na UMK w Toruniu. Zakłada się, że absolwent tego Studium będzie nauczycielem dwukierunkowym, kompetentnym merytorycznie, metodycznie i w zakresie wykorzystania technologii informacyjno-komunikacyjnej, a także aktywnym i twórczym w zakresie stosowania na lekcji efektywnych metod nauczania, włączając w to elementy historii nauki, w tym przyrodnicze eksperymenty historyczne. Repliki wyselekcjonowanych przez nas oryginalnych przyrządów historycznych zostały wykonane w warsztacie Instytutu Fizyki UMK na podstawie dokumentacji udostępnionej nam przez Zespół Badawczy Dydaktyki Szkoły Wyższej i Historii Fizyki Uniwersytetu w Oldenburgu. Dzięki temu mogliśmy zorganizować szereg unikalnych w skali kraju warsztatów eksperymentalnych nie tylko dla studentów i nauczycieli, ale również dla publiczności z Torunia i okolic w ramach „I toruńskiego festiwalu nauki i sztuki” oraz na XXXVI Zjeździe Fizyków Polskich w Toruniu zaprezentować wystawę pt.: „Jak eksperymentowano dawniej”. Zdjęcie ilustrujące charakter tej



Rys. 1. Fragment wystawy prezentowanej przez Pracownię Dydaktyki Fizyki na XXXVI Zjeździe Fizyków Polskich w Toruniu pt.: „Jak eksperymentowano dawniej”.

wystawy przedstawiamy na rys. 1 – widzimy prezen-tera w stroju z XVIII wieku, czyli z epoki, w której pochodzą pokazane przyrządy, a mianowicie pierwsza maszyna elektrostatyczna i pierwsze spektakularne zbiorniki elektryczności – butelki lejdejskie. Oprócz tego zrekonstruowaliśmy następujące przyrządy: rynnę Galileusza i zegar wodny, elektryzer z kulą siarkową Otto von Guericke, elektroskop kondensatorowy Volty, elektrofor do demonstracji figur Lichtenberga, duży stos ogniw, ogniwo Volty, wagę torsyjną Coulomba, termoskopy Rumforda, pryzmat wodny Goethego oraz przyrząd Witelona (XIII w.) do demonstracji prostoliniowości rozchodzenia się światła (zrekonstruowany w Toruniu na podstawie tłumaczenia z j. łacińskiego dzieła Witelona pt. „Perspectiva” [9]).

W tej pracy ograniczymy się do opisu edukacyjnych wartości replik z zakresu mechaniki (z początkowego okresu fizyki nowożytnej), ciepła oraz optyki.

Rynna Galileusza – odkrycie prawa spadku swobodnego

Galileusz, Galileo Galilei (1564–1642) – matematyk, fizyk, astronom i filozof włoski, profesor na uniwersytecie w Pizie i Padwie.

W 1602 r. odkrył prawo opisujące swobodne spadanie ciał. Chociaż powszechnie uważa się, że dokonał tego upuszczając różne przedmioty z krzywej wieży w Pizie, to w rzeczywistości Galileusz, chcąc ilościowo zbadać zagadnienie spadku swobodnego, posłużył się udoskonaloną przez siebie drewnianą równią pochyłą o długości 12 łokci (ok. 6,5 m), wysokości 1/2 łokcia (ok. 27 cm) i szerokości 3 cali (ok. 8 cm). Na jej powierzchni poleciał wyciąć półkolisty rowek (rynnę) o głębokości 1/2 cala, biegnący wzdłuż całej równi i wykleić go czystym i wypolerowanym pergaminem w celu nadania jej powierzchni należytej gładkości (rys. 2).

W tak przygotowanej rynnie staczał on twarde i gładkie kule wykonane z różnych materiałów – a głównie z brązu. Do wyznaczania czasu staczania się kul po równi Galileusz początkowo wykorzystywał ude-

żenia własnego pulsu, a następnie zbudował precyzyjny zegar wodny, którego dokładność zadziwia do dziś (0,1 sekundy).

Zmieniając kąt nachylenia równi mógł on zmieniać czas trwania ruchu kul. Początkowo równię unosił jednym końcem na wysokość pół łokcia, następnie na jeden łokieć, a na końcu na dwa łokcie, co pozwalało zmieniać kąt nachylenia równi w granicach od 2,5 do 9,5 stopni (rys. 3).



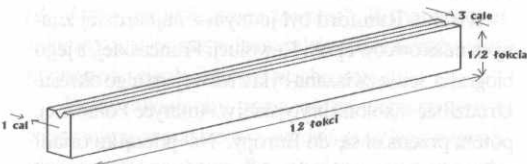
Rys. 3. schemat ustawienia rynny Galileusza do badania spadku swobodnego ciała.

Do podnoszenia końca rynny używał jako podstawy skrzyni o wymiarach $2 \times 1 \times \frac{1}{2}$ łokcia, tj. $1,1 \times 0,54 \times 0,27$ m, przypisując wymiarom skrzyni: 1/2 łokcia – kąt α_1 , 1 łokcia – kąt α_2 oraz 2 łokci – kąt α_3 . Dla każdego ustalonego położenia skrzyni puszczał kulę po całej równi i notował jej całkowity czas ruchu w rynnie. Pomiar powtarzano w 1/4 długości równi, a następnie dla innych wymiernych odcinków równi.

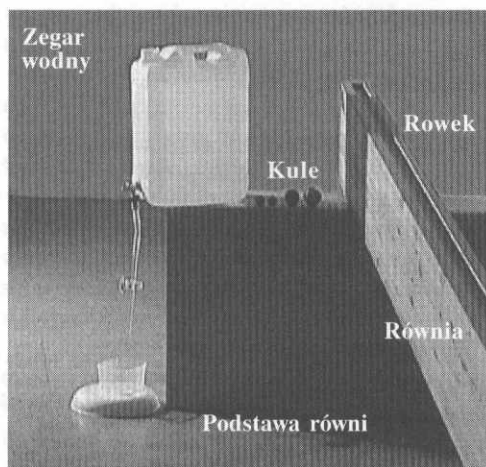
Wyniki dokonanych pomiarów zamieścił w wydanym przez siebie w 1638 r. traktacie zatytułowanym „Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno a due nuove scienze. Attenenti alla meccanica e movimenti locali”, co się tłumaczy jako „Dialogi i dowodzenia matematyczne na temat dwóch nowych gałęzi wiedzy, mechaniki i praw spadku swobodnego”. W swej pracy pisze: „Przy stokrotnym powtarzaniu doświadczeń znajdowaliśmy stale, że przebywane odległości miały się do siebie tak, jak kwadraty czasów i to dla każdego nachylenia belki, to jest rowka, w którym była kulka. Stwierdziliśmy także, że czasy spadku dla różnych nachyleń belki miały się do siebie dokładnie w stosunku, który (...)” Galileusz przewidywał i udowodnił.

Propozycja ćwiczenia dla uczniów pt. „Związek pomiędzy drogą i czasem dla ruchu ciał na równi Galileusza”

Na zdjęciu (rys. 4) przedstawiono zestaw doświadczalny, będący rekonstrukcją historycznego doświadczenia Galileusza do badania spadku swobodnego ciała. Oprócz równi Galileusza i zegara wodnego dysponu-



Rys. 2. Zasada konstrukcji rynny Galileusza.



Rys. 4. Rekonstrukcja doświadczenia Galileusza od badania spadku swobodnego ciał.

jemy czterema kulami wykonanymi z różnych materiałów: drewnianą i stalową o średnicy $d_1=26,2$ mm, plastikową o średnicy $d_2=37,2$ mm i aluminiową o średnicy $d_3=59,7$ mm.

Aby zrekonstruować zegar wodny, przygotowano naczynie z wodą, na dnie którego wykonano mały otwór, zakończony kranem. Woda spływająca wąskim strumieniem z naczynia podczas ruchu kuli zbierana była do małego kubka i ważona na wadze szalkowej. Po zważeniu, wodę ponownie wlewano do naczynia. W wyniku ważenia otrzymywano proporcje mas, a tym samym proporcje upływającego czasu (można powiedzieć, że „ważono czas”). Schemat używanego przez nas zegara wodnego przedstawiony został na rys. 5.

Aby otrzymać zależność drogi od czasu $s(t)$ wykonujemy po 10 pomiarów ruchu kul wzdłuż całej równi, a następnie wzdłuż $1/4$ jej długości dla kąta α_1 i posiadanych czterech kul.



Rys. 5. Schemat współczesnego zegara wodnego.

Na podstawie otrzymanych wyników pomiarów sprawdzamy zależność drogi od czasu odkrytą przez Galileusza w postaci:

$$l_1/l_2 \sim (t_1/t_2)^2$$

Na koniec przeprowadzamy dyskusję niepewności pomiarowych.

Przykładowe wyniki doświadczeń

W wyniku pomiarów stwierdzono, że *stosunek odpowiadających im mas wody tj. (kwadratów odpowiadających im czasów ruchu kulek)*:

$$l_1/l_2 \sim (m_1/m_2)^2.$$

W tabeli na następnej stronie przedstawiono obliczone stosunki długości rynny Galileusza oraz wyniki doświadczalne uzyskane dla czterech kulek wykonanych z różnych materiałów. Długość rynny Galileusza oznaczono jako L , natomiast średnice kulek spełniają zależność:

$$d_1 < d_2 < d_3.$$

Wnioski

Przeprowadzając powyższe doświadczenia można potwierdzić słuszność prawa spadku swobodnego ciała, odkrytego przez Galileusza. Niepewności pomiarowe „ważenia czasu” wynoszą od kilku do kilkunastu procent, na co największy wpływ ma opóźnienie reakcji człowieka otwierającego i zamykającego strumień wody wypływający z zegara wodnego. Ważne są też opory ruchu kulek w czasie toczenia się ich w rynnę.

Termoskop Rumforda – początek kinetycznej teorii ciepła

Sir Benjamin Thomson, hrabia Rumford (1753–1814) – wysoki urzędnik państwowy, fizyk brytyjski amerykańskiego pochodzenia, współzałożyciel Royal Institution w Londynie.

Hrabia Rumford był jednym z najbardziej znanych naukowców epoki Rewolucji Francuskiej, a jego biografia ściśle związana była z rozwojem tego okresu. Urodził się w kolonii brytyjskiej w Ameryce Północnej, potem przeniósł się do Europy. Na początku osiadł w Londynie, a później w Monachium, gdzie został ministrem wojny i dokonał licznych wynalazków tech-

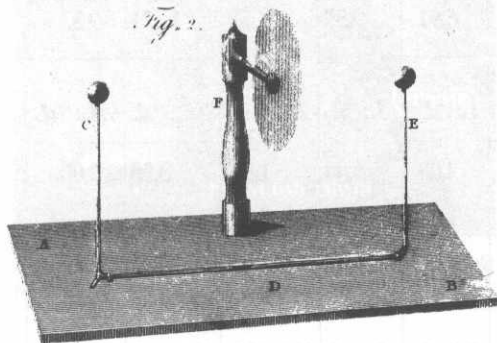
Pomiar I: Kulka drewniana o średnicy d_1	$L:3/4L$	$L:1/2L$	$L:1/4L$	$3/4L:1/2L$	$3/4L:1/4L$	$1/2L:1/4L$
teoretycznie obliczone stosunki długości L_i/L_j	1,33	2,00	4,00	1,50	3,00	2,00
doświadczalnie wyznaczone stosunki kwadratów mas m_i/m_j	1,36	2,07	4,29	1,52	3,16	2,08
względna niepewność pomiarowa [%]	8,83	6,91	9,55	8,56	11,21	9,33
Pomiar II: Kulka stalowa o średnicy d_1	$L:3/4L$	$L:1/2L$	$L:1/4L$	$3/4L:1/2L$	$3/4L:1/4L$	$1/2L:1/4L$
teoretycznie obliczone stosunki długości L_i/L_j	1,33	2,00	4,00	1,50	3,00	2,00
doświadczalnie wyznaczone stosunki kwadratów mas m_i/m_j	1,36	2,14	4,43	1,58	3,27	2,07
względna niepewność pomiarowa [%]	11,06	14,12	14,81	12,42	13,11	16,17
Pomiar III: Kulka plastikowa o średnicy d_2	$L:3/4L$	$L:1/2L$	$L:1/4L$	$3/4L:1/2L$	$3/4L:1/4L$	$1/2L:1/4L$
teoretycznie obliczone stosunki długości L_i/L_j	1,33	2,00	4,00	1,50	3,00	2,00
doświadczalnie wyznaczone stosunki kwadratów mas m_i/m_j	1,39	2,09	4,23	1,50	3,03	2,02
względna niepewność pomiarowa [%]	5,86	5,48	14,67	2,96	12,13	11,77
Pomiar IV: Kulka aluminiowa o średnicy d_3	$L:3/4L$	$L:1/2L$	$L:1/4L$	$3/4L:1/2L$	$3/4L:1/4L$	$1/2L:1/4L$
teoretycznie obliczone stosunki długości L_i/L_j	1,33	2,00	4,00	1,50	3,00	2,00
doświadczalnie wyznaczone stosunki kwadratów mas m_i/m_j	1,36	2,03	3,97	1,49	2,91	1,96
względna niepewność pomiarowa [%]	8,21	7,8	12,65	8,39	13,24	12,82

nicznych. Zainteresowanie wytwarzaniem prochu i uzbrojenia stanowiły dla niego bodziec do podjęcia badań z zakresu fizyki. W 1798 r. rozpoczął studia nad zagadnieniami ciepła i tarcia. Niektóre ze swoich dokonań w tej dziedzinie przedstawił w klasycznej już dzisiaj pracy „An Experimental Enquiry Concerning the Source of the Heat which is Excited by Friction” czyli „Eksperymentalne dociekania dotyczące źródła ciepła, które jest wzbudzane tarcieniem”. W tym samym roku wykonał jeden z najwcześniejszych pomiarów równoważności ciepła i energii mechanicznej.

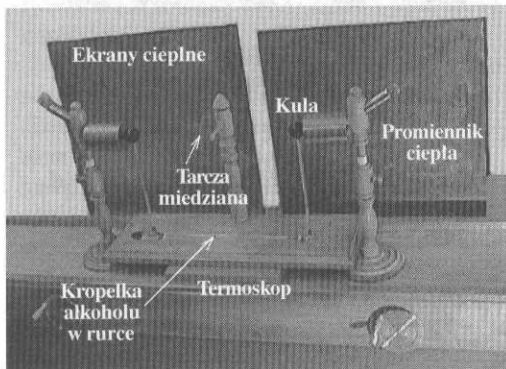
Przeprowadzony przez niego eksperyment z wierceniem armat ocenia się dziś jako jego najważniejszą pracę naukową. Rumford zauważył, że działa podczas wywiercania w nich otworów, stawały się cie-

płe. Według panującej wówczas teorii zjawisko to interpretowano jako wyzwalenie się materii ciepłej – „ciepłika” z metalu ([10], [11]). Rumford w swoim doświadczeniu użył tępego wiertła, a armatę schładzał wodą i w ten sposób udało mu się doprowadzić wodę do wrzenia. Według przyjętej teorii uwolnienie się takiej ilości ciepła musiałoby spowodować zmianę pojemności ciepłej materii, której Rumford jednak nie stwierdził. Za pomocą tego eksperymentu starał się on zaprzeczyć wyobrażeniu o ciepłe jako substancji i zamiast tego rozpowszechnić teorię o ciepłe powodowanym ruchem najmniejszych cząsteczek materii. Chociaż z dzisiejszej perspektywy doświadczenie to brzmi przekonująco, Rumford nie zdołał jednak przekonać do swej teorii sobie współczesnych.

W 1804 roku Rumford rozpoczął badania nad promieniowaniem cieplnym. Główny przyrząd, jakim się posłużył, nazwał termoskopem. Składa się on z rurki szklanej D, której oba końce zostały uformowane na kształt kul, a następnie poczernione. Pośrodku, wewnątrz szklanej rurki umieszczona jest zabarwiona kropla alkoholu (patrz rys. 6).



Rys. 6. Termoskop Rumforda



Rys. 7. Zdjęcie rekonstrukcji przyrządu Rumforda do badania promieniowania cieplnego.

Gdy tylko jedna z kul zostanie ogrzana, to znajdujące się w niej powietrze rozszerzy się i przesunie kroplę alkoholu. Natomiast jeśli w tym samym stopniu ogrzane zostaną obie kule, to ciśnienie powietrza w rurkach połączonych z kulkami również zwiększy się w jednakowym stopniu, więc kropla pozostanie w położeniu równowagi. Każdorazowo w tej samej odległości od kul umieszcza się promienniki ciepłe o kształcie cylindrów, wypełnione gorącą wodą. Mogą one być zrobione z różnych metali albo mieć różne pokrycia. Przez kręcenie odpowiednim pokrętkiem pozycje promienników względem termoskopu mogą być zmieniane za pomocą zębatek. Celem tego doświadczenia jest znalezienie odległości, w której kro-

pla ponownie znajdzie się w położeniu równowagi. Aby każdy z promienników miał wpływ jedynie na zwróconą ku niemu kulę, między kulami umieszczono miedzianą tarczę. Ponieważ termoskop jest bezduszny na promieniowanie ciepłe, należy osłonić go również przed ciepłem emitowanym przez eksperymentatora. Do tego służą dwie duże miedziane osłony (patrz rys. 7), pomiędzy którymi pozostaje mała szpara do obserwacji kropli alkoholu.

Ponieważ znanym już było, że promieniowanie ciepłe zmniejsza się z kwadratem odległości od źródła ciepła, więc jeśli promiennik przyjęło się za wzorzec, doświadczenie to umożliwiało określenie względnej emisji ciepła z różnych powierzchni badanych promienników.

Propozycja ćwiczenia dla uczniów pt. „Badanie względnej emisji ciepła różnych materiałów”

Dysponujemy czterema promiennikami: dwoma mosiężnymi, jednym stalowym i cynkowym.

Aby otrzymać zależność $Q(d)$ (gdzie Q – ilość emitowanego ciepła, a d – odległość od promienników do termoskopu) wykonujemy po kilka pomiarów pozycji kropli w położeniu równowagi (dla stygnących promienników) w następujących seriach:

1. dwa cylindry mosiężne w celu wyskalowania termoskopu,
2. cylinder mosiężny i stalowy,
3. cylinder mosiężny i cynkowy.

Na podstawie otrzymanych wyników badań wyznaczamy względną emisję promieniowania cieplnego dla wyżej wymienionych promienników.

Przykładowe wyniki doświadczeń

W tabeli na następnej stronie zamieszczone są kwadraty stosunku odległości d wyznaczone na podstawie wyników doświadczalnych uzyskanych dla trzech badanych promienników.

Wnioski

Z otrzymanych wyników widać, że emisja promieniowania cieplnego pochodzącego od cylindra cynkowego była wyższa od emisji cylindra stalowego. Niepewności pomiarowe powstają głównie na skutek opóźnień reakcji eksperymentatora oraz niejednoczesnego napełniania i ustawiania promienników, co może powodować, że ich temperatury są różne. Waż-

<i>POMIAR I (dla cylindra stalowego)</i>	d_1 [mm]	d_2 [mm]	d_3 [mm]
<i>cylinder miedziany – cechowanie termoskopu</i>	21,0	26,0	31,0
<i>cylinder stalowy</i>	23,5	28,5	46,0
<i>wyznaczone kwadraty stosunku odległości d_{st}/d_m</i>	1,25	1,20	2,20
<i>POMIAR II (dla cylindra cynkowego)</i>	d_1 [mm]	d_2 [mm]	d_3 [mm]
<i>cylinder miedziany – cechowanie termoskopu</i>	21,0	26,0	31,0
<i>cylinder cynkowy</i>	24,5	31,5	69,0
<i>wyznaczone kwadraty stosunku odległości d_c/d_{st}</i>	1,36	1,47	2,25

ne jest też symetryczne umieszczenie kropli w kapilarze i jednakowe ustawienie obu promienników względem kul termoskopu, co wymaga dużej staranności ze strony eksperymentatora.

Prostoliniowe rozchodzenie się światła – przyrząd opisany przez Witelona

Witelon, Witelo (ok. 1230 – po 1281) – jeden z najwybitniejszych europejskich uczonych epoki średniowiecza, pierwszy polski matematyk, filozof i przyrodnik o znaczeniu międzynarodowym (patrz rys. 8).



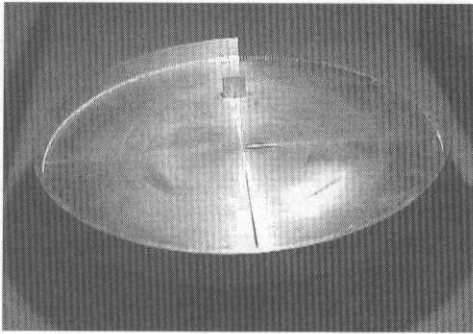
Rys. 8. Domniemany portret Witelona znajdujący się w Hallu Czterdziestu Uniwersytetu w Padwie.

Do demonstracji prostoliniowości rozchodzenia się światła używa się najczęściej w szkole przyrządu pod nazwą „camera obscura”. Skonstruowanie tego przyrządu przypisuje się Portugalczykowi Giambattista della Porta (1535–1615), który opisał go w swej książce „Magia naturalis” (wyd. 1564), jednakże spotykamy autorów wskazujących na jego znajomość przez Don Pannunce i również przez Leonardo da Vinci ([12]).

Mało kto jednak wie, że już we wczesnym średniowieczu wiadano i potrafiono doświadczalnie wykazać, że światło rozchodzi się po liniach prostych. Opis takiego doświadczenia został podany m. in. przez Witelona. Witelo, pochodzący ze Śląska, jak sam o sobie pisze był synem Polki (Ślązaczki) i kolonisty z Turynii („*Filius Thuringorum et Polonorum*”). Do naszych czasów zachowały się dwie jego rozprawy. Największą sławę zawdzięcza traktatowi z optyki pt. *Perspectiva*. Dzieło to zawiera pełny stan wiedzy z optyki w XIII w., a także szereg wiadomości na temat narządu wzroku, widzenia i optyki atmosfery. Wobec tego możemy uważać Witelona również za jednego z prekursorów optyki fizjologicznej.

Jego dzieło z dziedziny optyki – *Perspectiva*, stanowiąc najkompletniejszy wykład optyki w średniowieczu, służyło do początku XVII w. za podstawowe źródło ówczesnej wiedzy w tej dziedzinie. Do naszych czasów zachowało się około 30 rękopisów *Perspectivy*. Dzieło to zostało wydane drukiem w 1535 r. w Norymberdze oraz w Bazylei w 1572 r. O tym, że dzieło Witelona było powszechnie znane, niech świadczy fakt, że w 1604 r., wydając swój własny traktat o optyce, Jan Kepler nadał mu tytuł: *Ad Vitellonem Paralipomena* tj. *Uzupełnienie do Witelona*.

W księdze II *Perspectivy* [9] przedstawiona jest szczegółowo budowa i zasada działania przyrządu, za pomocą którego Witelo dowodził, że światło rozcho-

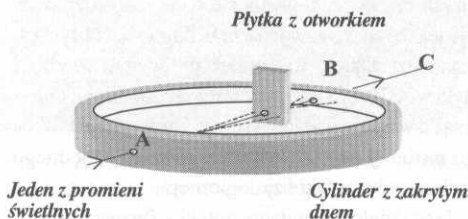


Rys. 9. Rekonstrukcja przyrządu Witelona.

dzi się prostoliniowo. Opis ten posłużył do wykonania wiernej rekonstrukcji tego przyrządu (rys. 9).

Przyrząd ten składa się z pustego cylindra z zakrytym dnem i płytki z otworkiem o średnicy 2,3 mm. W ścianie cylindra na wysokości otworu B płytki wywiercone są otwory A i C o takiej samej średnicy tak, żeby promień świetlny mógł przez nie przejść. Po prawej i po lewej stronie otworu C na wewnętrznej części cylindra naniesiona jest skala w stopniach.

Zasada działania przyrządu jest prosta. Ustawiamy źródło światła (Witelo używał promieni słonecznych lub świeczki) i płytkę tak, żeby promienie światła mogły przejść przez wszystkie 3 otwory (rys. 10). Następnie wyznaczamy rozwarłość wiązki światła po pra-



Rys. 10. Zasada budowy przyrządu Witelona i schemat pomiaru



Rys. 11. Zasada dowodzenia prostoliniowego biegu światła.

wej i po lewej stronie otworu C. Po dokonaniu pomiarów wyjmujemy płytkę z cylindra i powtarzamy pomiary (rys. 11). Rozwarłość wiązki świetlnej zwiększa się. Ponieważ po prawej stronie otworu C jest taka sama, jak po lewej, znaczy to, że światło rozchodzi się prostoliniowo.

Pryzmat wodny Goethego – odkrywanie tajemnic barwy

Johann Wolfgang von Goethe (1749–1832) – wielki poeta niemiecki, dramaturg, filozof przyrody, mąż stanu – minister górnictwa przy dworze księcia weimarskiego Karola Augusta.

Goethe, wszechstronnie wykształcony, otrzymał w 1775 r. stanowisko ministra górnictwa przy dworze księcia weimarskiego Karola Augusta. Sprzyjało to rozwinięciu przez Goethego wszechstronnych zainteresowań zagadnieniami przyrodniczymi i podjęciu przez niego ok. 1780 r. badań w takich dziedzinach jak botanika, anatomia, mineralogia, meteorologia, geologia i nauka o barwach. Wkrótce kieruje swoje zainteresowania także w stronę fizyki, w szczególności ku optyce. Zapoznaje się z osiągnięciami Newtona w tej dziedzinie i podejmuje własne badania nad zagadnieniem barwy, weryfikując jego idee. Zainteresowanie nauką o barwach wzbudziła u Goethego sztuka. Próbuje powtórzyć eksperyment Isaaca Newtona, dotyczący rozszczepienia światła przez pryzmaty, na granicach pomiędzy jasnymi i ciemnymi obszarami np. między oknem i ścianą dostrzegł barwne smugi. Na tej podstawie rozwinął własną romantyczną teorię powstawania barw na skutek konfliktu między światłem i ciemnością.

Warto dodać, że Goethe do swoich doświadczeń skonstruował własne pryzmaty. Były to pryzmaty ręczne, tzn. zaopatrzone w odpowiednie uchwyty oraz pryzmat wykonany ze szkła i napełniony wodą, który pozwalał na oglądanie większych i bardziej oddalonych obiektów. Swoje wyniki opublikował on najpierw w pracy „*Beyträge zur Optik*” czyli „*Przyczynki do optyki*” (1791), a potem w książce pod tytułem „*Zur Farbenlehre*”, czyli „*O nauczaniu o barwie*” (1810), która obejmuje część dydaktyczną, historyczną i polemiczną. W części historycznej Goethe zajmuje się historią nauki o barwach, zaczynając aż od czasów antycznych. W części dydaktycznej opisuje eksperymenty i wprowadza czytelnika w swoją teorię. W czasie eksperymentów obserwator patrzy przez pryzmat i widzi

powstające kolory na granicy jasnego z ciemnym. W części polemicznej Goethe sprzeciwia się poglądom Newtona na naturę światła.

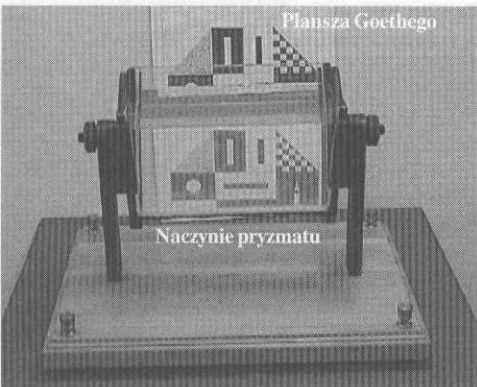
Sir Isaac Newton (1643–1727) – fizyk, matematyk, filozof i astronom angielski. Profesor fizyki i matematyki uniwersytetu w Cambridge 1669–1701, członek Royal Society od 1672 i jego prezes od 1703, członek Paryskiej Akademii Nauk.

Swoje poglądy na naturę światła Newton przestał w pracy pt. „*Theory about Light and Colors*” (1672), w której pisze m. in.:

„(...) I tak zostało odkryte, że prawdziwą przyczyną wydłużenia obrazu jest nic innego, jak to, że światło składa się z promieni o różnym stopniu łamliwości, które niezależnie od różnicy ich kąta padania, przechodzą ku różnym częściom ściany zgodnie ze swymi stopniami łamliwości...”

„(...) Najbardziej jednak zadziwiającym i cudownym złożeniem barw jest to, które daje białosc. Nie ma takiego rodzaju promieni, które same mogą ją wykazywać. Światło białe jest zawsze złożone i aby je otrzymać potrzeba wszystkich wymienionych barw pierwotnych w odpowiednich proporcjach...”

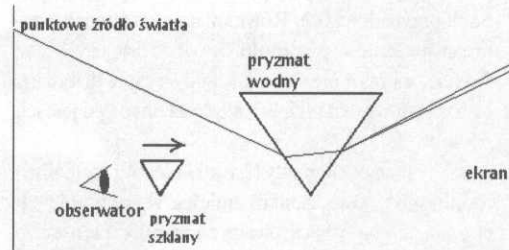
Goethe proponuje wykonanie następujących doświadczeń z wykorzystaniem pryzmatów ręcznych i pryzmatu wodnego (zdjęcie przedstawiające jego rekonstrukcję zamieszczono poniżej – rys. 12).



Rys. 12. Rekonstrukcja pryzmatu wodnego Goethego.

Napełniamy pryzmat czystą wodą tak, aby na sztybach znajdowało się jak najmniej pęcherzyków. Następnie oglądamy przez niego pomieszczenie, w którym się znajdujemy lub patrzymy przez niego na zewnątrz przez okno. Odpowiadamy na pytania: gdzie można zaobserwować powstawanie barw? W jakiej ko-

lejności występują te barwy? Teraz obserwujemy przez pryzmat różne czarno-białe wzory. Zastanawiamy się: gdzie należy umieścić planszę z wzorami? Śledzimy bieg promieni i staramy się zrozumieć w jaki sposób powstaje obraz urojony planszy oraz jak zmieniają się barwne wzory, gdy zmieni się odległość między planszą a pryzmatem. Wyjaśniamy, w jaki sposób tłumaczy istnienie barw współczesna teoria. Wykonujemy doświadczenie z różnymi czarno-białymi wzorami i wskazujemy krawędzie, przy których obserwujemy barwy. Pokrywamy jedną stronę pryzmatu wodnego różnymi szablonami i szeroki promień światła kierujemy na pryzmat, tak aby pochodził on przez otworki szablonu i obserwujemy powstawanie barwnego obrazu na ekranie (patrz rys. 13)



Rys. 13. Schemat idei Goethego obserwacji krawędzi widma pryzmatu wodnego przez mały pryzmat szklany. Po znalezieniu właściwej odległości barwy znikają.

Zastanawiamy się: jak można wyjaśnić to zjawisko? Następnie obserwujemy otrzymane widmo spektralne przez mały pryzmat, trzymany przed oczyma w różnych odległościach od ekranu. Jak wygląda to widmo oglądane przez ten pryzmat? Wyjaśniamy obserwowane zjawiska. W końcu zamiast pryzmatu wodnego posługujemy się pryzmatem ręcznym i znajdujemy położenie, przy którym efekt powstawania barw na ekranie jest najwyraźniejszy. Próbuje również odpowiedzieć na pytanie: dlaczego przez pryzmat, trzymany bezpośrednio przed okiem, widzi się proste krawędzie jako zakrzywione?

Goethe proponuje ponadto wykonanie doświadczenia z „mleczną wodą”. Pojemnik szklany napełniamy wodą i dodajemy kilka kropli mleka. Zaciemnimy pomieszczenie, a zapaloną świecę ustawiamy przed pojemnikiem z mleczną wodą. Tylną stronę pojemnika możemy dla wzmocnienia efektu przykryć czarnym kartonem. Obserwujemy, jakie zabarwienie przyjmuje woda z mlekiem. Przesuwamy świeczkę powoli wokół pojemnika i zwracamy uwagę na zmieniające się bar-

wy. Próbuujemy odpowiedzieć na pytania: jak można, wykorzystując efekt tego doświadczenia, wytłumaczyć niebieski kolor nieba i w jaki sposób można wyjaśnić zjawisko powstawania barw zgodnie z założeniami współczesnej teorii?

Podsumowanie

Na podstawie obserwacji nauczania w wielu krajach świata można stwierdzić, że nauczyciele przedmiotów przyrodniczych w pierwszym rzędzie troszczą się o fakty naukowe. Ich troska o uzasadnienie tych faktów jest natomiast drugorzędna i retoryczna. Wykazują niewielkie zainteresowanie lub całkowity brak zainteresowania dla skomplikowanych dróg, które doprowadziły do odkrycia praw i teorii współczesnych nauk przyrodniczych. Również na egzaminach z zakresu nauczania przedmiotów przyrodniczych na świecie, na ogół nie docenia się dygresji z dziedziny historii i filozofii nauki, bez względu na to jaki jest ich poziom.

Aby jednak elementy historii i filozofii nauk przyrodniczych z powodzeniem umieścić w programie nauczania, trzeba zwrócić uwagę na warunki klasowe, w których pracują nauczyciele. Zdajemy sobie dobrze sprawę z faktu, że odtworzenie eksperymentów historycznych w formie przedstawionej w tej pracy nie jest rzeczą łatwą, wobec tego proponujemy umieszczanie tego typu przyrządów w interaktywnych muzeach nauki, wykorzystywanych w trakcie edukacji pozaszkolnej. O konieczności powstawania tego typu muzeów w Polsce przekonuje nas w swym artykule Z. Gołąb-Meyer [14].

Ponadto, zawsze tzw. „kanon naukowy”, będący zawartością programowego materiału nauczania (a w szczególności dla klas humanistycznych we współczesnej, zreformowanej szkole) można umieścić w kontekście historycznym, aby pokazać uczniom realny obraz tego, czym jest nauka i co robią naukowcy. Odpowiednim do tego środkiem mogą być *studia przypadków*, gdzie pokazuje się nie tylko słuszne tezy debaty naukowej, ale i te niesłuszne.

Podziękowania

Autorzy pracy składają serdeczne podziękowania Wszystkim, którzy przyczynili się do powstania niniejszej pracy, a przede wszystkim:

Panu mgr. inż. Tadeuszowi Robaczewskiemu za ogromne zaangażowanie i nadzór w trakcie rekonstrukcji serii 13 przyrządów historycznych wykonywanej z ogromnym pietyzmem przez warsztat mechaniczny Instytutu Fizyki UMK

Panu prof. Andrzejowi Bielskiemu, za inicjatywę i nadzór rekonstrukcji przyrządu Witelona w warsztatach Instytutu Fizyki UMK, Toruńskim Zakładom Urządzeń Okrętowych TOWIMOR S.A., za przetoczenie odlewu przyrządu.

Naszym zdaniem nie tylko znajomość nauk przyrodniczych i ich metodologii, ale również świadomość pewności uzyskiwanych przez nie wyników powinna być współcześnie niezbędną częścią wykształcenia ogólnego każdego człowieka.

LITERATURA:

- [1] Red. Turlo J., *Edukacja matematyczno-przyrodnicza w dobie rozwoju technologii informacyjnych*, Mat. Konf. SciMath, Top Kurier, Toruń 2001, F Riess s. 41, M. Monk s. 91.
- [2] Herausg. P. Heering, *Welt erforschen, Welten konstruieren*, Physikalische Experimentierkultur vom 16 zum 19 Jahrhundert Isensee-Verlag Oldenburg, 1998.
- [3] Riess Falk, Heering Peter, *Reader zum demonstrationspraktikum für alle lehrämter*, Oldenburg University, Physics Dept., 1999.
- [4] Błasiak W., Godlewska M., Turkiewicz D., *Zainteresowanie uczniów fizyką – wyniki badań porównawczych*, Wiedza fizyczna i jej przekaz, Wyd. Nauk. WSP, Mat. Konf., Kraków, 57, 1999.
- [5] Monk M., Osborne J., *Placing the history and philosophy of science on the curriculum: a model for the development of pedagogy*, Science Education 81 (4), 1997.
- [6] Hodson D., *Towards a philosophically more valid science curriculum*, Science Education 72, 1988.
- [7] DFEE (Ministerswo Edukacji i Zatrudnienia), *Science: The National Curriculum for England*, London, 1999.
- [8] Turlo J., *Modernisation of two-subject physics and mathematics teacher education*, Ed. R. Pinto, Elsevier, 2001, 401.
- [9] L. Bieganowski, A. Bielski, R. S. Dygdała, W. Wróblewski, *Witelona Perspektywy księga II i III*, Studia Copernicana, t. XXIX, Ossolineum, Wrocław, 1991.
- [10] A. K. Wróblewski, *Prawda i mity w fizyce*, Wyd. PAN, Ossolineum, Wrocław 1982.
- [11] A. Drzewiński, J. Wojtkiewicz, *Opowieści z historii fizyki*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 1995.
- [12] Ed. L. Ch. Pereira, *Light and Information*, Proc. of GIREP Conference, Braga 1993.
- [13] <http://men.waw.pl/> dot. projektów edukacyjnych.
- [14] Gołąb-Meyer Z., *Pozaszkolne nauczanie fizyki*, Wiedza fizyczna i jej przekaz, Wyd. Nauk. WSP, Mat. Konf., Kraków, s. 171, 1999. ■