FIZYKA
w Szkole z Astronomią

CZASOPISMO DLA NAUCZYCIELI

361 (LXIV) indeks 35810X **Nr 2 marzec/kwiecień 2019** CENA 27,50 zł (w tym 5% VAT)

Medycyna przyszłości
HEMODYNAMIKA OBLICZENIOWA

Słońce
– nasza dzienna gwiazda

Co to jest fizyka
i po co jest w szkole

Kinematyka w praktyce
– zadania z ruchu jednostajnego

Centaury
– między Jowiszem a Neptunem

Ustalanie wieku starych drzew i innych obiektów zabytkowych
Od dendrochronologii do datowania radiowęglowego

ISSN 0426-3383
03
9 770426 338902

Co to jest fizyka? – esej dydaktyczny

Spadła na polski system edukacji kolejna reforma, w dużej mierze na własne życzenie. Fizyka jest, niestety, jedną z pierwszych ofiar tej reformy: trzy lata gimnazjalne wciśnięte w końcówkę szkoły podstawowej, nauczyciele fizyki, których (o dziwo!) nie było w szkołach podstawowych a teraz nagle być muszą, i uczelnie (szczególnie te państwowe), nie przygotowane do przekwalifikowania nauczycieli.

Grzegorz P. Karwasz, Tomasz Wróblewski

Ryc 1. Strona „Fizyka i zabawki" założona w 1997 roku na Akademii Pomorskiej pozostaje nadal jednym z najczęściej uczęszczanych zasobów dydaktycznych na UMK. Ten sukces zawdzięcza prostocie narracji, choć ceną tej prostoty jest pewna lakoniczność opisów. Lay-out: E. Rajch.

Ale o systemie edukacji będzie na końcu. Najpierw postawmy pytanie, jak poloniści i matematycy: po co ta fizyka (no, i religia)? Odpowiemy na końcu, ale wcześniej zadamy pytanie: co to jest fizyka?

Co to jest fizyka?

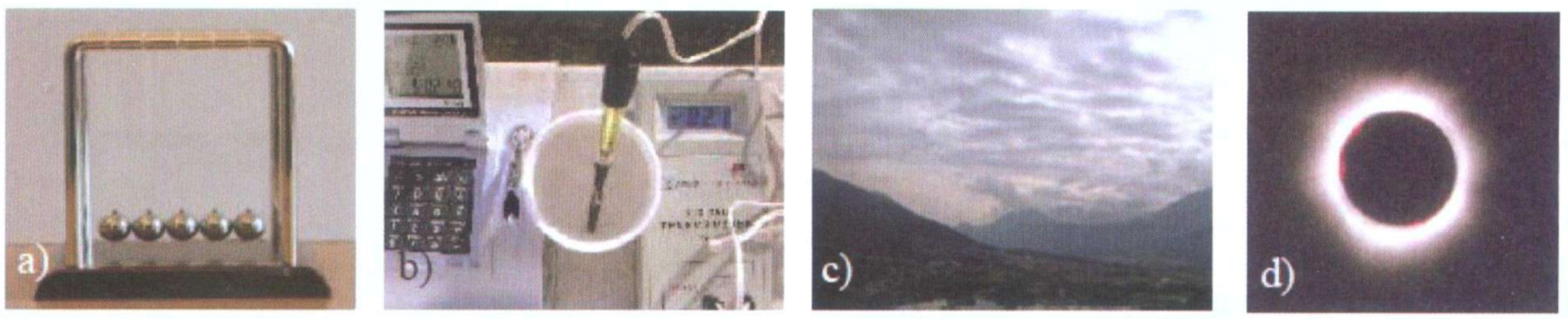
Trochę żartem, trochę serio, w „Fizyce zabawek" [1] odpowiadamy, że fizyka, według takiego brodatego myśliciela, Arystotelesa (wszyscy ówcześni Grecy byli brodaci) dwa i pół tysiąca lat temu, to jest to wszystko, co nas otacza. Słowo „fizis" odnajdujemy i w wychowaniu fizycznym i w „fizjonomii". Fizyka jest więc nauką o otaczającym nas świecie, czyli o naturze.

Dobrze! Ale i biologia, i astronomia, i chemia uczą o otaczającym nas świecie. I rzeczywiście, astronomia i nauka o zwierzętach (zoologia) były już u Arystotelesa. Ale jego dzieło „Fizyka" zawiera rozważania o ciałach materialnych w ogólności, o ich ruchu, o przestrzeni i o czasie (zagadnienia podjęte przez Einsteina w Teorii Względności).

Pisze Arystoteles w *Fizyce* [2]:

„Dalej,: nikt nie potrafi wyjaśnić, wskutek czego ciało wprawione w ruch gdzieś się musi zatrzymać [tak, bo istnieją siły „oporu" ruchu, jak siła tarcia]; dlaczego zatrzyma się raczej w tym niż w innym miejscu? [to rzeczywiście jest trudne do policzenia] A zatem ciało albo się będzie znajdować w spoczynku, albo się będzie poru-

Nie jest tak w przypadku tzw. zjawisk *chemicznych*, zmieniających własności reagujących substancji. I tak, wymieszanie metalicznych kropelek rtęci z żółtym proszkiem siarki prowadzące do powstania czerwonego siarczku rtęci to zjawisko *chemiczne*. Stopienie siarki lub rosnący słupek rtęci w termometrze lekarskim (kiedyś tylko takie istniały) – to natomiast zjawiska fizyczne. Dzisiaj, rozgraniczenia na zjawiska *fizyczne, astronomiczne, chemiczne*, czy nawet *biologiczne* musimy uznać za nieco sztuczne.



Fot. 1.1. Zderzające się kulki, stygnąca woda w szklance, chmury na niebie, zaćmienie Słońca to zjawiska *fizyczne*.

Ryc. 2. „Co to są zjawiska fizyczne" – odpowiedź z „Toruńskiego po-ręcznika do fizyki" [3].

[1] Ucząc się chemii, jesteśmy przekonani o „zachodzeniu" reakcji kwasu z zasadą: $NaOH + HCl \rightarrow NaCl + H_2O$. W rzeczywistości, należy mówić o równowadze, bo opisana reakcja w fazie ciekłej zachodzi między jonami, a aby otrzymać NaCl, trzeba odparować wodę (dziękujemy za uwagę p. prof.. M. Nodzyńskiej z UP w Krakowie).

[2] Można ponownie rozdzielić zasadę od kwasu, ale poprzez elektrolizę przy pomocy specjalnej przegrody z nafionu.

szać w nieskończoność [= I zasada dynamiki Newtona], jeżeli tylko nie stanie mu na drodze jakieś inne silniejsze ciało [=III zasada dynamiki Kartezjusza].

Wydaje się też, iż ciała poruszają się w próżni dzięki temu, że ona ustępuje [prawda, nawet „próżnia" kosmiczna jest pełna neutrin, fotonów, ciemnej masy i ciemnej energii, ale one praktycznie nie przekazują pędu]; a ponieważ ta właściwość próżni występuje wszędzie w jednakowym stopniu [= zasada kosmologiczna izotropowości przestrzeni], przeto ciało może poruszać się we wszystkich kierunkach." (215a).

Czyli, fizyka rozważa ogólne zależności o świecie zewnętrznym, i to jest jej pierwsza funkcja.

2 Nauczycielka fizyki w VII klasie zadała pytanie: co to są zjawiska fizyczne? Odpowiedziałem (GK), że płynące chmury, zamarzająca woda i spalający się węgiel. Nauczycielka zaprotestowała, że to ostatnie to zjawisko chemiczne, bo następuje zamiana jednej substancji na inną, czyli stan wyjściowy jest inny niż początkowy. Nie zgodziłem się z nią, i nie zgadzam do dziś. Zresztą, piszemy (GK) o tym w I rozdziale „Toruńskiego po-ręcznika do fizyki" [3], rozważając zjawiska odwracalne i nieodwracalne.

Spalanie węgla rzeczywiście jest zjawiskiem chemicznym, ale jest ono odwracalne (np. w procesie fotosyntezy), jak w zasadzie każda reakcja chemiczna[1]. A wśród zjawisk fizycznych też są takie, które są nieodwracalne, jak na przykład wymieszanie ciepłej i zimnej wody – już się ich nie da ponownie rozdzielić[2].

Cytując „Po-ręcznik", rozgraniczanie na zjawiska fizyczne, chemiczne, biologiczne, astronomiczne jest nieco sztuczne. Biologia jest nauką przyrodniczą, podobnie jak fizyka, ale praw matematycznych, na razie (a może nigdy) nie potrafimy w niej sformułować. W języku angielskim (włoskim, francuskim) wszystkie te przedmioty zaliczamy do *Science*, czyli nauk ścisłych, w odróżnieniu od *Humanities*, czyli nauk humanistycznych. Ale, od razu dodajmy, niczym się te dwa bloki nie różnią: i jedne i drugie powstają w umyśle człowieka.

Królowa nauk a nauka o chodzeniu

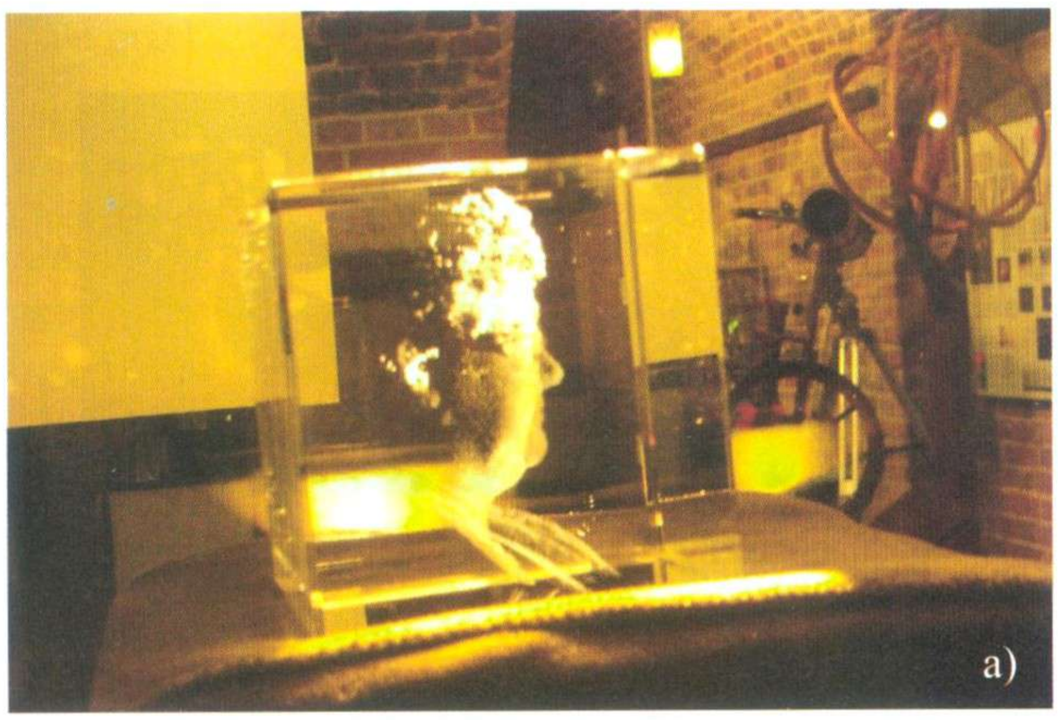
Za królową nauk podaje się matematykę. Rzeczywiście, Egipcjanie, jak to wynika z papirusu „Rhind." trzy tysiące lat temu umieli dodawać ułamki zwykłe, obliczać objętość ściętego ostrosłupa, przybliżać liczbę π. Jedna z glinianych tabliczek z Mezopotamii, YBC 7289, sprzed prawie 4 tysięcy lat, zawiera rozwinięcie $\sqrt{2}$ w ułamki o mianowniku 60, a rysunek przedstawia, przypuszczalnie, dowód twierdzenia Pitagorasa. Inna tabliczka, Mul. Apin, zawiera rodzaj encyklopedii astronomicznej. W IV wieku p.n.e. Grecy sformułowali pojęcia czterech stanów skupienia, atomów, próżni itd.

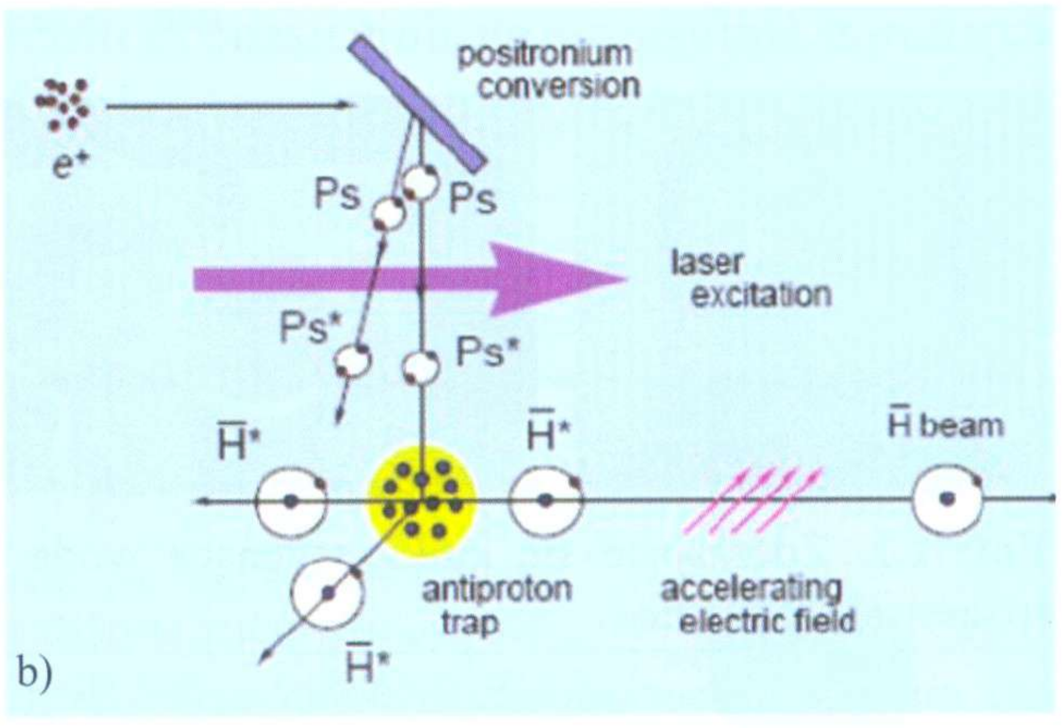
Matematyka, bez wątpienia, musiała się pojawić jako umiejętność dokonywania praktycznych obliczeń – np. dla wyliczenia podatków w zależności od posiadanego poletka. A fizyka?

Fizyka, pojawia się w mózgu człowieka jak tylko niemowlę otwiera oczy. Mózg niemowlaka musi szybko zrozumieć, że soczewka oka wytwarza na siatkówce obraz odwrócony. Musi zrozumieć, że obraz ten odpowiada, na przykład, twarzy matki i że twarz ta jest wypukła. Przekonanie jest tak silne, że oglądając na wystawie „Fiat Lux" [5] wypalony w szkle profil twarzy, widzowie są absolutnie przekonani, że osoba przedstawiona „patrzy" na nich, mimo że widzą profil wklęsły, a nie wypukły.

Stając w kojcu dziecko wcale nie wyrzuca złośliwie przedmiotów, tylko sprawdza jak działa prawo grawitacji: czy czasem nie zadziała antygrawitacja i misiek nie podskoczy sam do kojca. Dziś wielkie laboratorium w CERN-nie sprawdza, zob. fig. 3b, czy na antymaterię działa antygrawitacja: jak na razie wyniku nie ma [5].

Pierwsze kroki dziecko stawia z szeroko rozstawionymi stopami, bo rozumie, że w ten sposób środek ciężkości nie wychodzi poza płaszczyznę podparcia. Rzucając piłką, lub tocząc koło, wiadomo, że nie zawrócą one nagle, jak to dzieje się na filmach animowanych z kotem i myszą. Prawa zachowania pędu (lecąca „przed siebie" piłka) i momentu pędu (toczące się koło) mamy wbudowane w naszą najgłębszą podświadomość.





Ryc. 3. (a) Fizyka dla niemowlaków: noworodek, macając twarz matki sprawdza, że jest ona wypukła. Pozwala mu to skorelować obraz z obojgu oczu z rzeczywistym obiektem. Twarz kobieca „patrzy" na prawo, na ścianę, ale zwiedzający, oglądający eksponat z lewej strony są przekonani, że kobieta patrzy na nich. Eksponat i pomysł wykorzystany na wystawie „Fiat Lux", GK, Toruń 2007. (b) Fizyka dla naukowców: poszukiwania antygrawitacji w CERN. Anty-elektrony (pozytony, e+) w materiale porowatym wychwytują elektron i są emitowane jako atom pozytonium (Ps). Atom ten w stanie podstawowym żyje bardzo krótko (10-7s), dlatego musi zostać wzbudzony za pomocą lasera. W komorze reakcji Ps dryfuje razem z antyprotonami z akceleratora. Pozyton z Ps* łączy się z antyprotonem i tworzy antywodór H. Teraz już tylko trzeba sprawdzić, czy antywodór spada czy się wznosi w polu grawitacyjnym Ziemi. Ale jest to trudny eksperyment [6].*

W interaktywnej dydaktyce, którą wprowadzamy w Polsce już ponad 20 lat, korzystamy z całej serii doświadczeń, uświadamiających uczniom, że w codziennym poruszaniu się korzystają z praw fizyki.

1) Po pokazaniu, że metalowa kula po pochyłym stole przyspiesza („Wszyscy zamykamy oczy i słuchamy! Co ta kula robi?") pokazujemy kaczki na równi [1]. „I znów słuchamy! Dlaczego kaczki nie przyspieszają?" Wybieramy uczennicę, a ta z zamkniętymi oczyma sprawdza, jakie podeszwy mają kaczki. „Chropowate, prawda? A teraz wszyscy nogę na stół i sprawdzamy, jakie mamy podeszwy."
2) Po pokazaniu „wańki- wstańki" [1], ale zanim wyjaśnimy jak działa, wybieramy ucznia i stajemy przed nim. „Przechyl się w moim kierunku, spokojnie! Ja cię złapię!" Oczywiście, uczeń wyciąga ręce przed siebie, jak tylko zaczyna tracić równowagę. Czuje to instynktownie. Resztę klasy prosimy o obserwację. Bezbłędnie identyfikują, że kolega traci równowagę, „gdy środek ciężkości wychodzi poza płaszczyznę podparcia (wyznaczoną przez podeszwy butów).
3) A samo chodzenie, to unikanie upadku: wyciągamy nogę przed siebie, kiedy grozi nam upadek. „Uwaga! na lekcji wychowania fizycznego to przećwiczycie".
4) Na Księżycu, gdzie grawitacja jest słabsza (ile razy?) taki sposób chodzenia nie jest efektywny – przechylanie się do przodu jest zbyt powolne. Astronauci, po spróbowaniu różnych sposobów, nauczyli się przemieszczać za pomocą skoków kangura. Uczniowie w Strzelnie też takiego sposobu się nauczyli – film, przezabawny jest dostępny w Internecie.
5) Doświadczenie, na które sobie pozwalamy od czasu do czasu (jest trochę niebezpieczne dla ucznia a od prowadzącego wymaga dużej siły) to „wiszący ptak". Na rękach zgiętych w łokciach podnosimy (lekkiego) ucznia, pokazując, że wystarczy trzymać go w pobliżu środka ciężkości (uwaga, trzeba ucznia podtrzymywać za kości biodrowe – dlatego to doświadczenie nie jest polecane).

Fizyka jest matematyczna, ale też doświadczalna. Fizyka wymaga równań, ale przede wszystkim zrozumienia zagadnień. Prawo Newtona mówi, że ciała raz puszczone w ruch poruszają się wiecznie? A w naturze tak nie jest? Lekko pochylamy stół, popychamy kulkę, i już tak jest! A jak pochylimy stół bardziej, to kulki nie trzeba „rozpędzać" – bo to jest przykład ruchu *jednostajnie przyspieszonego*.

Znaczenie fizyki wykracza jednak daleko poza nią samą.

Fizyka i inne nauki

Fizyka, jako nauka „bardzo" podstawowa, nie zajmuje się sekwencjonowaniem DNA, ale stwarza metody do tego rodzaju badań. Sama struktura DNA została odkrywa nie za pomocą mikroskopu, ale *dyfraktogramu rentgenowskiego,* jak na zdjęciu w naszej wystawie wirtualnej „Na ścieżkach fizyki współczesnej". Genotypy, w postaci pasków

Ryc. 4. (a) Fizyka to zabawa: kominiarz, co wchodzi po linie (eksponat z Berlina), wymaga szczególnego dobór siła tarcia statycznego i posuwistego, ale dzieci o tym nie muszą wiedzieć. (b) Fizyka jako pomiar: „A teraz, nie patrzcie na piłkę ping-pongową, ale na tę dolną, cięższą – czy odbije się na tę samą wysokość?"; eksponaty z „Fizyki zabawek"; scenariusze „Z górki na pazurki" GK, foto Maria Karwasz (Katowice, 2010).

(a raczej sekwencji TACG) to obraz dyfuzji fragmentów DNA w polu elektrycznym, czyli *elektroforezy*. A do obrazowania tej dyfuzji używa się *fluorescencji*. Tylko że dziś, robią to automaty, tak że fizycy nie są już potrzebni – mogą realizować inne wyzwania.

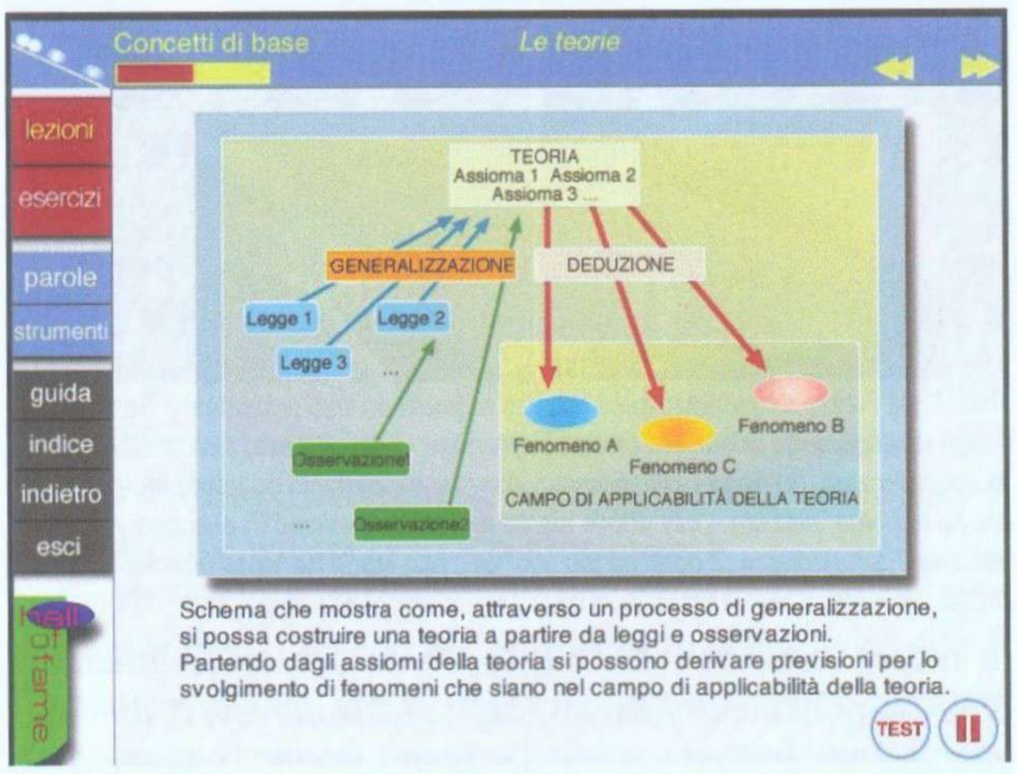
Pytanie pasjonujące Arystotelesa (z *O niebie*), jakie jest życie gwiazd, uzyskało odpowiedź dopiero 100 lat temu. Systematyczne badania kolorów gwiazd (czyli ich widm) rozpoczął 150 lat temu włoski jezuita, Angelo Secchi. Dziś wiemy, jakie pierwiastki chemiczne znajdują się w najodleglejszych gwiazdach – bez podróżowania do nich.

Strukturę wewnętrzną kuli ziemskiej znamy bez wiercenia – na podstawie propagacji fal sejsmicznych – podłużnych i poprzecznych [7]. Pytanie pasjonujące zimowych wędkarzy, dlaczego woda zamarza tylko na powierzchni do dziś nie ma dobrego wyjaśnienia. Stwierdzenie „dlatego, że lód jest lżejszy od wody" niczego nie wyjaśnia. Zazwyczaj ciała stałe są cięższe niż ich ciecze. Dlaczego woda ma największa gęstość w temperaturze 4°C? Obliczenia metodami *chemii kwantowej* [8] dają częściowo odpowiedź. Woda może w fazie ciekłej tworzyć aglomeraty (tzw. klastery). Na pewno istnieją one w fazie gazowej, bo zostały zaobserwowane doświadczalnie. W fazie ciekłej mogą być one mało stabilne i rozpadać się ze wzrostem temperatury. Być może (nie wiemy), w temperaturze 4°C są one najbardziej liczne – drobiny wody, upakowane w klasterach, zajmują wówczas mniejszą objętość. Poniżej 4°C drobiny zaczynają układać się w sieć krystaliczną lodu. Być może. Na razie jeszcze tego nie wiemy (niepewność obliczeń jest zbyt duża).

Dlaczego nauczanie fizyki jest trudne?

Fizyka jest nie lubiana nie dlatego, aby nie była ciekawa. Fizyka jest bardzo trudna dla *nauczyciela*: niełatwo ją przekazać. Każdy z nas miał jakiegoś wykładowcę, zazwyczaj wybitnego naukowca, który coś tam mamrotał pod tablicą. Z nauczaniem fizyki jest jak z grą na pianinie lub skrzypcach: dziecko ćwiczy gamy i pasaże tak długo, aż skutecznie znienawidzi muzykę. Kiedy ją wreszcie zrozumie, za późno jest na samodzielne granie.

Zadaniem nauczyciela byłoby więc głównie przekazanie piękna fizyki. Dużo ważniejsze jest to niż dokładne cytowanie prawa Newtona (w oryginalnej pracy Newtona jest on znacznie prostsze niż w podręcznikach). Latem więc warto opowiadać o tęczy a zimą o płatkach śniegu. Zresztą, większość dobrych podręczników fizyki, na różnym poziomie i w różnych krajach od tego się zaczyna.



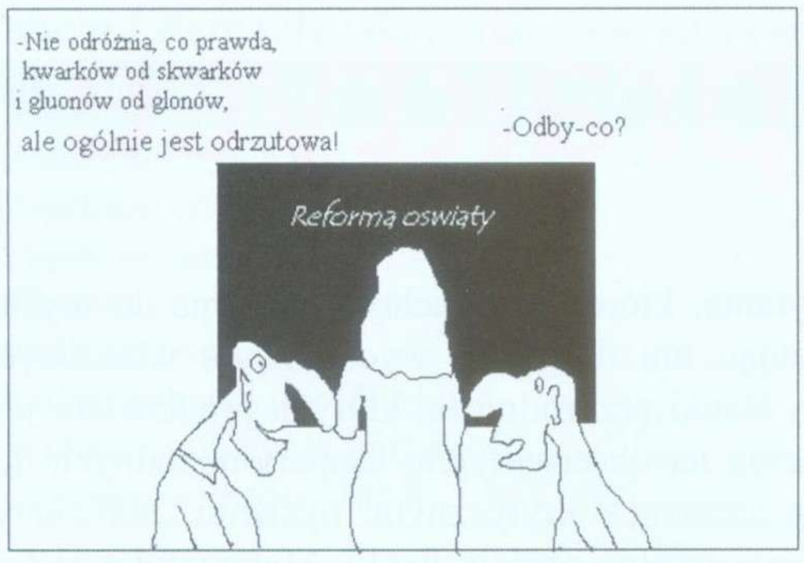
Ryc. 5. Struktura fizyki, jako nauki: teoria opiera się o aksjomaty, ale te wynikają z obserwacji, które poprzez prawa (Legge) prowadzą do uogólnień. Z kolei, drogą dedukcji, w zakresie stosowalności teorii, przewidywane są nowe zjawiska. U. Amaldi, F. Tibone,, Fisica interattiva, CD-Rom, Zanichelli, Bologna, 1997.

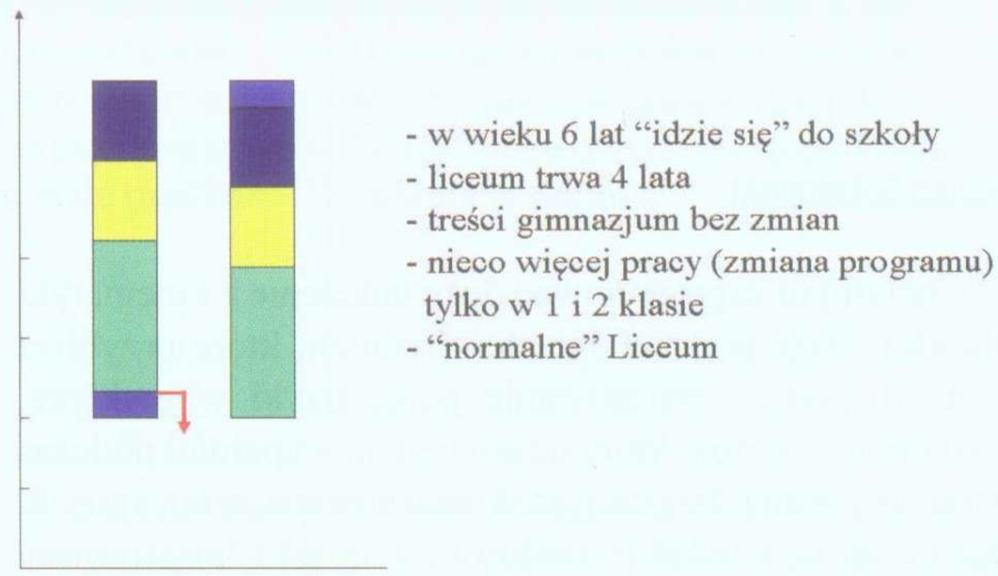
Trudność w nauczaniu fizyki wynikają z jej wielorakiego charakteru:

1 Fizyka to nauka doświadczalna, ale koniecznie potrzebuje teorii dla przewidywania nowych zjawisk. Matematyka nie musi mieć odniesienia do rzeczywistości (pole trójkąta to nie poletko nad Nilem) a biologia nie musi przewidywać nowych gatunków zwierząt (choć dziś prawie, że prawie, może je tworzyć). Fizyka *przewiduje* i sprawdza, np. istnienie fal grawitacyjnych.
2 Fizyka to nauka dedukcyjna (wnioskuje z ogólnych zasad ruchu, jak poleci pocisk) ale głównie indukcyjna (bada różne cząstki elementarne i z nich wnioskuje o istnieniu kwarków). Filozofia jest nauką dedukcyjną – Kantowi wystarczał pokoik w Królewcu i spacer na uniwersytet dla tworzenia genialnych traktatów. Historia (i politologia) z kolei to nauki indukcyjne – wiemy, jaka jest, dopiero kiedy się wydarzy. Fizyk musi więc operować i rozumowaniem i wyobraźnią.
3 Fizyka operuje liczbami, ale też słowami. W matematyce „zadania z treścią" są przez część uczniów nie lubiane. W fizyce każde zadanie jest z treścią słowną. Trzeba ją zrozumieć (czyli sprawnie operować językiem), przepisać na język matematyki, przeliczyć i ponownie przetłumaczyć na polski [9].
4 Fizyka przede wszystkim ma odniesienie do rzeczywistości – masa nie może być ujemna, prędkość większa od prędkości światła a temperatura niższa niż -273,15°C.
5 Fizyka wymaga też bezustannego *kojarzenia* i *dysponowania* informacją. Wzory na równanie kwadratowe dość szybko znajdziemy, ale długość fali światła widzialnego (380-760 nm, czyli jedna oktawa) musimy kojarzyć z energią fotonów (3,6-1.8 eV) dla szybkiego wyjaśnienia i obrazu w okularach dyfrakcyjnych i napięcia z ogniwa fotowoltaicznego.

Ale też trudności w nauczaniu fizyki mogą łatwo stać się jej atutami: mówiąc o rzucie ukośnym możemy sprawdzić w Wikipedii, jaki był zasięg strzał angielskich łuczników w historycznej bitwie pod Azincourt (1415) a jaki działa niemieckiego w oblężeniu Paryża w 1870 roku. Zwiedzając Akwarium w Gdyni można podziwiać węgorza elektrycznego a także super czułe detektory pola elektrycznego rekina młota (ma je na końcach tego „młota"), itd. Każdy uczeń ma inne zainteresowania i wystarczy na nie właściwie trafić. Z tego powodu w Belgii nauczyciele fizyki uczą też historii i religii (nazwisko podamy na życzenie).

Ryc. 6. Fizyka jako umiejętność obserwacji: zjawisko załamania światła (refrakcji) odpowiedzialne jest za „powstawanie" kolorów w: falach Morza Czerwonego (2003), śniegu w Alpach (2004), kandelabrze w Wersalu (2005). Kolory w okładce CD (polimer ukierunkowany), w dwóch witrażykach z Holandii i w wazie na berlińskim straganie powstają w inny sposób: w skutek selektywnej interferencji światła spolaryzowanego, selektywnej absorpcji w barwnikach, kolektywnych wzbudzeń plazmonów w nano-skupiskach złota (foto GK).





- trudności programowe gimnazjum
- trudności wychowawcze

Ryc. 7. Don Kichota i Sancha Pansy walka z wiatrakami: krytyka (GK) i winieta (TW) z 1997; wykład na Zjeździe PTF w Warszawie 2005 (GK): uratować system niskim kosztem, czyli translacja o jeden rok w dół (też bez odzewu). Dziś już nawet winiet nie rysujemy…

Fizyka, jako źródło kompetencji społecznych

Fizyka, jako nauka o realnym, teraźniejszym i lokalnym świecie (w odróżnieniu od filozofii, historii czy geografii, odpowiednio) uczy przede wszystkim umiejętności *obserwacji*. Siatkówka oka bez przerwy rejestruje obrazy; otrzymuje je również mózg. Ale mózg fizyka, a szczególnie dydaktyka, bez przerwy pyta: czy ten obraz przyda się na lekcji? A później, nocą, porządkuje obrazy i przypisuje je do *ścieżek poznawczych*. Ale równie ważna jest lektura, w tym podręczników innych przedmiotów – dla relaksu umysłowego.

Jeżeli więc wykorzystamy *pretekst* nauczania fizyki do przekazu umiejętności:

1) obserwacji
2) kojarzenia faktów
3) abstrakcji od zjawisk marginalnych
4) werbalizacji i narracji
5) stawiania pytań o strukturę świata
6) stosowania matematyki (i Internetu)

→ to uzyskamy nie tylko „wspólny język" z koleżankami/ kolegami z pokoju nauczycielskiego, ale przede wszystkim „wytworzymy" absolwentów, którzy znajdą wszędzie pracę – od szpitala powiatowego do giełdy w Nowym Yorku (nazwisko absolwenta podamy na życzenie).

Zakończenie

W 1997 roku, mając ponad 10 lat doświadczeń dydaktycznych we Włoszech (GK) niezwykle intensywnie protestowaliśmy przeciwko wprowadzeniu w Polsce gimnazjów, na wzór włoskich, ryc. 7a. Po 20 latach, system polski doszedł do jako takiej równowagi: programy gimnazjów mniej więcej się ujednoliciły i zniknęła z rynku podręczników cała seria firm bez żadnej tradycji wydawniczej. Wystarczyłoby obniżyć wiek szkolny do lat 6-ciu (Polska otrzymała na reformę systemu edukacji 14 mld euro, wystarczająco dużo, aby przygotować i szkoły, i przedszkola, i nauczycieli i rodziców) a zaoszczędzony rok dodać do liceum, zob. rys. 7. Ale jak w „Panu Tadeuszu", „hajże na Soplicę!" jest łatwiejsze niż przemyślana i społecznie uzgodniona reforma. Niestety, fizycy (ani inni dydaktycy) nie protestowali…

P.S. Czy coś można zrobić? Tak, wiele. Przede wszystkim powiedzieć nauczycielom, że problemy z nauczaniem fizyki wynikają z *systemu* a nie indywidualnych możliwości. Po drugie – uczynić zasoby dydaktyczne powszechne (a to rola głównie uczelni). Po trzecie, podzielić szkołę podstawową na dwie: 1-5 i 6-8. Podział – na przykład przez wydanie świadectw umożliwiających zmianę szkoły po 5° klasie i/lub wyraźne rozgraniczanie programowe (program zintegrowany „przyroda" 1-5, fizyka od klasy 6, chemia od 7-ej) i/lub rozgraniczenie personalne (1-2 nauczycieli w klasach 1-5, wielu od 6-tej) i/lub rozgraniczenie fizyczne (klasy 6-7 na drugim piętrze) i/lub rozgraniczenie graficzne (podręczniki 6-7 czerwone).

Kłopoty z edukacją mają wszystkie kraje – wystarczy zapytać (ale nigdy ich własnych ekspertów, bo trudności się skrzętnie ukrywa), jak sobie z tymi problemami radzą. Od błędów, jak od świnki, lepiej się zaszczepić…

Prof. Grzegorz P. Karwasz[1]
dr Tomasz Wróblewski[2]

[1]Instytut Fizyki, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, ul. Grudziądzka 5, 87-100 Toruń
[2]Instytut Fizyki, Akademia Pomorska w Słupsku, ul. Arciszewskiego 22B, 76-200 Słupsk

LITERATURA

[1] G. Karwasz, T. Wróblewski i in., *Fizyka zabawek*, CD-Rom, PAP, Słupsk, 2004, http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki/
[2] Arystoteles, *Fizyka*, przek. K. Leśniak, PWN 2010
[3] G. Karwasz, M. Sadowska, K. Rochowicz, *Toruński po-ręcznik do fizyki*, UMK, 2010
[4] E. Lutz, S. Ciliberto, *Information: From Maxwell's demon to Landauer's eraser*, Physics Today, Sept. 2015, s. 30.
[5] G. Karwasz, *Fiat Lux!" – czyli zabawy ze światłem*, Postępy Fizyki, 4/2010, s. 154 http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Publikacje_2010/Fiat_Lux_PF_2010.pdf
[6] L. Penasa i in. J. Phys: Conf. Series 505 (2014) 012031
[7] G. Karwasz, J. Chojnacka, *Wewnętrzny ogień, czyli o tektonice płyt Ziemi*, Geografia w Szkole, 3/2012, s. 28. http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Publikacje_2012/Geografia_1strona.pdf
[8] T. Wróblewski, G.P. Karwasz, *Protonated water clusters Hartree-Fock study of dissociation energies*, Eur. Phys. J. Special Topics 222, (2013) 2217 http://www.fizyka.umk.pl/~ks/2013/5_2013.pdf
[9] G. Karwasz, *Nauczanie fizyki – trudności matematyczne czy nieumiejętność komunikacji?*,Kognitywistyka i Media w Edukacji, 1/2013, 107 http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Publikacje_2013/14_2013.pdf
[10] G. Karwasz, *Co to jest fizyka*, wykład z Dydaktyki Fizyki, UMK, 2018, http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/filmy2/1a_dydaktyka%20fizyki_s.ppt