

Dydaktyka fizyki z elementami dydaktyki ogólnej i dydaktyki astronomii

Materiały pomocnicze do wykładów i laboratorium

**Grzegorz Karwasz, Andrzej Karbowski,
Krzysztof Rochowicz**

Toruń 2014

Dydaktyka fizyki z elementami dydaktyki ogólnej i dydaktyki astronomii
Materiały pomocnicze do wykładów i laboratorium

Materiały dydaktyczne Zakładu Dydaktyki Fizyki UMK

Zakład Dydaktyki Fizyki

Instytut Fizyki, Uniwersytet Mikołaja Kopernika
ul. Grudziądzka 5, 87 – 100 Toruń

Skład:

A. Karbowski, K. Służewski

Okladka i współpraca:

K. Służewski

© Copyright G. Karwasz, A. Karbowski, K. Rochowicz

Zakład Dydaktyki Fizyki UMK, Toruń, listopad 2014

Druk – Wydawnictwo Naukowe UMK
Materiały przygotowane przez Zakład Dydaktyki Fizyki UMK

Spis treści

I. Wstęp – uwarunkowania społeczne dydaktyki	5
1.1. Dydaktyka w nowoczesnym społeczeństwie demokratycznym.....	5
1.2. Zadania dydaktyki w epoce hiperinflacji informacji.....	6
II. Przedmiot i metodologia dydaktyki.....	7
2.1. Dydaktyka jako nauka o nauczaniu i uczeniu się.....	7
2.2. Przedmiot nauczania i dydaktyka przedmiotu	9
2.3. Dydaktyka jako nauka pro-pozytywna.....	10
2.4. Usieciowanie procesu nauczania.....	13
2.5. Definicja dydaktyki	14
III. Europejska tradycja naukowa i dydaktyczna.....	17
3.1. Arystoteles – ojciec nowożytnej nauki.....	17
3.2. Średniowieczne osiągnięcia naukowe	18
3.3. Kopernik: Wszechświat, którego granic znać nie możemy	19
3.4. Galileusz – fizyka zesła z nieba na ziemię	20
3.5. Kartezjańska metoda rozumowania	21
3.5.a Poznanie naukowe według Immanuela Kanta.....	22
3.6. Konsekwencje epistemologiczne fizyki współczesnej.....	25
3.7. Europejskie tradycje pedagogiki	27
3.8. Jean Piaget i teoria rozwoju poznawczego dzieci	28
3.8a. Beyond Piaget: fizyka dla dzieci	29
3.9. Konstrukttywizm i kognitywizm	31
IV. Organizacja szkolnictwa	33
4.1. Systemy edukacyjne we współczesnej Europie	33
4.2. System szkolnictwa w Polsce.....	35
4.3. Zadania dydaktyki w reformujących się systemach edukacji	37
V. Miejsce fizyki wśród innych nauk.....	39
5.1. Fizyka jako nauka o Naturze	39
5.2. Fizyka jako nauka doświadczalna	42
5.3. Fizyka a matematyka.....	44
5.4. Fizyka jako nauka jakościowa	45
5.5. Rewolucja naukowo-techniczna XIX i XX wieku	48
5.6. Metodologie badawcze współczesnej fizyki	49
5.7. Fizyka jako nauka interdyscyplinarna	52
5.8. Fizyka a nauki humanistyczne	55
5.9. Fizyka a język.....	58
5.10. Nauczanie fizyki a meandry nauki	59
5.11. Fizyka in statu nascendi	60
VI. Zasady dydaktyczne w epoce internetu	61
6.1. Zasady dydaktyki w ujęciu tradycyjnym	61
6.2. Zasada hyper-konstrukttywizmu	64
VII. Zastosowania fizyki w naukach przyrodniczych.....	71
7.1. Fizyka dla geografów	71
7.2. Efekt cieplarniany	75
7.3. Moment pędu i wirująca Ziemia	79
VIII. Dydaktyka astronomii.....	83
8.1. Cele.....	83
8.2. Wprowadzenie.....	83

8.3. Metodologia fizyki i astronomii na przykładzie wzajemnego wpływu obu dziedzin wiedzy.....	84
8.4. Nowe pomysły interdyscyplinarnego nauczania.....	87
8.5. Elementy astronomii w obecnej podstawie programowej.....	88
8.6. Metodologia w praktyce.....	89
8.7. Mieszkając na wirującej planecie.....	90
8.8. Astronomia w komputerze.....	91
8.9. Zakończenie.....	104
IX. Pracownia Metodyki Eksperymentu Fizycznego.....	105
9.1. Wstęp.....	105
9.2. Komputerowe badanie ruchu jednostajnego.....	106
9.3. Komputerowe badanie ruchu jednostajnie przyspieszonego.....	111
9.4. Komputerowe badanie ruchu jednostajnie opóźnionego.....	116
9.5. Komputerowe badanie zjawiska dudnień.....	120
9.6. Badanie zjawisk cieplnych wspomagane komputerowo.....	124

I. Wstęp – uwarunkowania społeczne dydaktyki

1.1. Dydaktyka w nowoczesnym społeczeństwie demokratycznym

Jak należy nauczać fizyki? Oczywiście dokładnie, to znaczy, po pierwsze, z zachowaniem wszystkich rygorów koncepcyjnych, matematycznych i interpretacyjnych jakich fizyka, jako chyba jedyna nauka, tak ściśle wymaga. Ten warunek nazwalibyśmy wymogiem metodologicznym. Po drugie dobrze, to znaczy tak, aby studenci na egzaminie spełnili wymagania, jakie wykładowca sam przed sobą też postawił. Ten wymóg wynika ze współczesnych uwarunkowań nowoczesnego społeczeństwa demokratycznego. I wreszcie, po trzecie, przy tym wszystkim studenci powinni się jeszcze fizyką zainteresować, ba, nawet pasjonować. Ten wymóg ma absolwentowi zapewnić sukces zawodowy.

Podejście takie wychodzi z milczącego założenia, że uniwersytet jest swego rodzaju skarbnicą wiedzy, a profesor kustoszem tej wiedzy. Student zaś, każdy bez wyjątku, miałby szansę (i powinien za nią podążać), aby takim kustoszem w przyszłości samemu zostać. Ktoś porównał fizyków pracujących w wielkich i zamkniętych dla świata laboratoriach do średniowiecznych mnichów, w ciszy klasztorów pieczołowicie przepisujących mądre księgi. Uczelnie wyższe, jeszcze od średniowiecza są ośrodkiem kulturotwórczym; zawód naukowca od zawsze jest powołaniem. Rola naukowca/ wykładowcy/ nauczyciela jako twórcy i kustosa kultury powinna przekładać się również na dydaktykę i pedagogikę.

Uczelnia wyższa a także szkoła wytwarza najdelikatniejszy produkt z istniejących: młodego człowieka i ponosi za ten produkt pełną odpowiedzialność. Jeżeli ten produkt, na końcu taśmy edukacyjnej jest wyraźnie „wybrakowany”, to winę za ten stan ponosi procedura produkcyjna, nie wadliwa materia pierwsza. Ze słabej gatunkowo stali można wytworzyć wiele narzędzi do najróżniejszych celów.

Należy więc odwrócić myślenie o dydaktyce: nie jest to nauka pomocnicza ale warunek *sine qua non* nowoczesnego, skutecznie ekonomicznie społeczeństwa. System edukacyjny powinien wytwarzać uczestników tego społeczeństwa, odnoszących osobisty (i zbiorowy) sukces w przyszłości. W podręczniku niniejszym przekładamy tę tezę na dyskusję o makroekonomicznych uwarunkowaniach systemów edukacji. Każdy z systemów społecznych, francuski, amerykański, niemiecki, ustawia priorytety edukacyjne w zależności od komplementarnej funkcji jakie edukacja ma spełniać w stosunku do reszty systemu. Prościej: w każdym społeczeństwie potrzebni są konsumenci, potrzebna jest tzw. „siła robocza” i potrzebne są elity państwowo-twórcze. Każdy z wymienionych krajów we własny sposób rozwiązuje każdy z tych problemów. System edukacji jest jedynie komplementarny.

Może więc nauczyciel powinien najpierw wyzwać pozytywne podejście i zainteresowanie uczniów a dopiero później, w drugim planie zajmować się przekazem wiedzy? Tak, ale tylko wtedy, jeśli to zainteresowanie ma służyć dalszym celom, które są nam potrzebne. Jeśli więc celem jest kształcenie inżynierów, proces dydaktyczny musi być praktyczny. Jeśli celem jest postęp ekonomiczny, nauczanie fizyki musi w studentach wykształcić poczucie służebnej roli nauki w stosunku do ekonomii. A wszystko to musi się dokonać z zachowaniem rygoru matematycznej poprawności fizyki...

W dydaktyce jest jeszcze drugie ograniczenie, obok powyższego, makroekonomicznego „aby się nam (na emeryturze) żyło dostatnio”. Jest nim wymóg współczesnych społeczeństw, o wysokim stopniu poszanowania tożsamości ontologicznej jednostki oraz poszanowaniu obowiązującego systemu prawnego. Otóż student, ten pojedynczy, staje się centrum systemu edukacji. Można by powiedzieć o zmianie systemu heliocentrycznego na homocentryczny. Poszanowanie indywidualnej, niepowtarzalnej roli, jaką każdy student i uczeń może współtworzyć w społeczeństwie, staje się naczelną zasadą demokratycznej dydaktyki.

1.2. Zadania dydaktyki w epoce hiperinflacji informacji

Podobno Thomas Edison, kiedy był dzieckiem, obiecał sobie przeczytać wszystkie książki świata. Jako dorosły wynalazł telegraf, żarówkę, gramofon, ale książek nie przeczytał. Jedno z empirycznych praw rozwoju informatyki przewiduje, że zdolności obliczeniowe komputerów podwajają się co 5 lat. Oznacza to, że w taki sam sposób zwiększają się możliwości magazynowania i przetwarzania wiadomości.

Przed II wojną światową, belgijski producent sody „Solvay” organizował kongresy fizyków. Rok po roku, na zdjęciach z tych kongresów widać podobne twarze – Albert Einstein, Maria Curie, Max Planck. Dziś, tylko w Polsce jest ponad 500 naukowców z tytułem profesora nauk fizycznych. Siłą rzeczy, nie tylko istniejący zasób wiedzy stał się przeogromny, ale i jego tempo przyrostu.

Z pomocą przychodzą nowe technologie. W elektronicznej bazie cytowań z dziedziny *science* znajduje się ponad 16 tysięcy czasopism. Czasy dostępu przeglądarek internetowych do danych zawierających miliony pozycji są rzędu ułamku sekund. Niestety, ilość odpowiedzi systemów wyszukujących też zawiera miliony pozycji. Informacja staje się, co prawda, powszechnie dostępna, ale łączenie poszczególnych elementów w jedną całościową *wiedzę*, stają się coraz trudniejsze.

Współczesny świat z zawrotnym tempem przemian ekonomicznych i społecznych – sekwencjami zupełnie nowych technologii oraz zmianami na scenach geopolitycznych wymaga od jednostki przyjmowania w ciągu jednego życiorysu najróżniejszych zadań. Obserwujemy zanikanie profesjonalnej klasy *polityków* a coraz częściej, w wielu rozwiniętych krajach Europy stanowiska rządowe zajmują osoby z wykształceniem z najróżniejszych sektorów życia ekonomicznego i społecznego. Na drugim krańcu piramidy społecznej, pojedynczy obywatele mają dostęp do coraz szerszej klasy dóbr konsumpcyjnych, do których zaliczyć należy i podróże, i wiedzę internetową. Powinni oni dysponować *umiejętnościami* konsumpcji tych dóbr.

Współczesny świat nakłada więc na procesy edukacyjne wielorakie zadania. Produkt systemu edukacji, czyli ukształtowany obywatel powinien:

- sprawnie *operować* wszech-dostępnymi zasobami informacji (przesiewać informację, porządkować ją, dokonywać uogólnień oraz wyciągać z wiedzy wskazówki operatywne)
- rozumieć wiedzę coraz bardziej *specjalistyczną*
- dysponować gruntowną *wiedzą ogólną*
- prowadzić samodzielnie autoedukację, dla dostosowania się do zmieniających się wymogów zawodowych i możliwości technologicznych życia codziennego.

Wszystkie te wymogi należałoby realizować w strukturze biologicznej *Homo sapiens sapiens* podobnej jak 110 tysięcy lat temu i w strukturze kulturowej niewiele odbiegającej od życia w starożytnym Rzymie. Dodatkową trudnością (?) jawi się konieczność kształcenia *całego* społeczeństwa, a nie tylko wybranych grup. Powszechne prawo do nauki jest wpisane do konstytucji wszystkich krajów Unii Europejskiej.

Zmiany paradygmatów nauczania stają się więc niezbędną koniecznością: zdecydowanie wyższa efektywność, w krótszym czasie i przy niższych kosztach. Z badań neurologicznych wynika, że istnieją jeszcze spore możliwości aktywizacji obszarów mózgu człowieka jedynie częściowo wykorzystywanych. W przeciwnym razie, przy narastających zasobach informacji, ograniczone możliwości percepcji jednostki ludzkiej staną się barierą dalszego rozwoju cywilizacyjnego i/lub stworzą poważne zagrożenia dla ludzkości¹.

¹ Tu odsyłamy czytelnika do zasobów literatury science-fiction, w szczególności dzieł St. Lema.

II. Przedmiot i metodologia dydaktyki

2.1. Dydaktyka jako nauka o nauczaniu i uczeniu się

Tradycyjnie, dydaktykę definiuje się jak naukę o nauczaniu i uczeniu się. Dwa podmioty procesu dydaktycznego – nauczyciel i uczeń są ze sobą ściśle związani, choć w dobie dzisiejszej wzajemne uzupełnianie się ich działań może odbywać się z różnie. W szkole tradycyjnej, między uczniem a nauczycielem występuje kontakt osobisty a w założeniu większość aktywności uczenia się przebiega w szkole. W dydaktyce XXI wieku funkcje nauczyciela i ucznia mogą być kompletnie rozdzielone – anonimowy uczeń korzysta z materiałów dydaktycznych umieszczonych w Internecie, przez autorów rzadko pracujących w szeroko pojętym zawodzie *edukatora* (nauczyciela, trenera, korepetytora, doradcy, wykładowcy uniwersyteckiego, doradcy metodycznego lub merytorycznego).

Przedmiotem dydaktyki nie są przekazywane treści same w sobie, choć dydaktyka wskazuje, jakie treści i w jaki sposób powinny być przekazywane. Przedmiotem dydaktyki są szeroko pojęte *sposoby* efektywnego nauczania. Celem dydaktyki jest uczynienie procesu nauczania i uczenia się możliwie efektywnym, według założonych kryteriów celów. O ile pojęcie efektywności nie budzi większych rozbieżności opinii, to pojęcie celów nauczania wymaga komentarza.

Historycznie, różne sposoby nauczania były uwarunkowane:

- podmiotami prowadzącymi nauczanie (szkoły wyznaniowe, Kościół terytorialny, władcy lokalni, zakony, szkoły rycerskie, instytucje państwowe, instytucje prywatne)
- zakresem przekazywanych treści
- sposobami i symbolami nauczania (zwoje Tory noszone w pudełku na czole lub mnemotechniczne wierszyki dotyczące znaków funkcji trygonometrycznych² i najważniejsze, *celami* nauczania.

Cele nauczania wynikają z powyższych uwarunkowań, ale też decydują o wyborze tych uwarunkowań. Inne sposoby nauczania dotyczą islamskich szkół religijnych, inne elitarnych państwowych uczelni we Francji jak Ecole Normale.

Kryteria celów należy pojmować bardzo szeroko. Cele mogą mieć charakter makroekonomiczny (np. w VII Programie Ramowym UE w Polsce „potrzebni są specjaliści w naukach inżynieryjno- technicznych”, lub jak w USA w latach 60-tych XX wieku „do końca dziesięciolecia wylądujemy na Księżycu³; należy podwoić liczbę naukowców w USA”), ideologiczny („wychowanie dla pokoju”⁴) albo nawet psychologiczny („kształcimy dzieci w sposób bezstresowy”).

Kryteria celów w znacznym stopniu mogą wpływać na *recepty* rozwiązań edukacyjnych proponowanych przez dydaktykę. Miałoby to, podobnie jak w innych naukach, niekorzystny wpływ na *obiektywność* wyników naukowych dydaktyki.

Dydaktyka powinna więc, uwzględniając uwarunkowania społeczno- ekonomiczne, opierać się głównie na powiązaniu *treści* przekazywanych z możliwościami *percepcyjnymi* odbiorcy.

² W pierwszej [ćwiartce układu kartezjańskiego] wszystkie są dodatnie, w drugiej tylko sinus, w trzeciej tangens i cotangens a w czwartej cosinus.

³ Słynne przemówienie J. Kennedy’ego na Uniwersytecie w Argonne 12 września 1962 r.

⁴ Wnioskodawcą uchwały ONZ o wychowaniu dla pokoju w latach 80-tych XX wieku była Polska.

Zarówno treści przekazywane zmieniają się (rozwijają) ustawicznie jak i możliwości percepcyjne odbiorcy. Ustawiczne zmiany treści nie dotyczą bynajmniej tylko literatury i historii, ale również nauk matematyczno- przyrodniczych, tak tradycyjnych jak fizyka jak nowych (informatyka). Zmienia się percepcja odbiorcy – jego nastawienie do zdobywania wiedzy i możliwości zrozumienia treści - kształtowana przez jego środowisko kulturowe, dostęp do środków technicznych (Internet, TV), motywacje itd.

Proces nauczania, od zawsze, jest nierozdzielnie związany z procesem *wychowania*, rozumianym jako przekazywanie wzorców wartościowania i zachowania. Związek ten obowiązuje tak we wczesnych okresach rozwoju, gdzie nauczyciel jest wzorcem osoby dorosłej jak i nauczaniu dorosłych, gdzie nauczyciel staje się ekspertem z dobrowolnego wyboru słuchacza. W polskiej organizacji szkolnictwa, funkcje wychowawcze i przekazu treści są często separowane – doradcy metodyczni i psychologowie szkolni to dwie różne osoby. Podobnie jest w szkolnictwie wyższym, gdzie przez *pedagogikę* rozumie się głównie wychowanie a dydaktyka jest przypisana organizacyjnie przedmiotom kierunkowym.

Nie do końca ta separacja zainteresowań *pedagogiki* i *dydaktyki* odpowiada tendencjom światowym. W szeregu prac z końca XX wieku wskazywano na konieczność uwzględniania w procesie nauczania *funkcji pedagogicznych* przekazu wiedzy. Pojawiło się pojęcie „pedagogical contents knowledge” (PCK) jako wymóg stawiany przed dydaktykami. Nacisk na wiedzę *operatywną* obok wiedzy *przedmiotowej* pojawia się w wielu programach nauczania. „PCK” należy jednak rozumieć szerzej – przekaz wiedzy przedmiotowej powinien być podporządkowany możliwościom pojęciowym w określonym wieku rozwojowym.

Przedmiotem dydaktyki fizyki jest nauczanie przedmiotu, ale w szerokim powiązaniu z:

- i) naukami humanistycznymi, wyznaczającymi cele kulturowe,
- ii) z naukami społecznymi, wyznaczającymi cele operatywne systemów szkolnictwa,
- iii) naukami szczegółowymi, ustalającymi zasób treści do przekazania.

W analogii z telekomunikacją, na dydaktykę składa się tak *nauczanie* (przekaz wiedzy) jak i *przyswajanie* wiedzy (odbior i rejestracja aktywna lub bierna). W analogii z *ekonomią*, dydaktyka zajmuje się *maksymalizowaniem* efektów nauczania przy minimalizowaniu *kosztów*, gdzie przez koszty rozumiemy tak makroekonomiczne nakłady finansowe i organizacyjne jak wysiłek indywidualny nauczyciela i ucznia. W analogii z naukami przyrodniczymi, dydaktyka poszukuje ogólnych prawidłowości efektywnego nauczania i wysuwa wnioski istotne dla obecnych i dla przyszłych treści i systemów nauczania. Dydaktyka jako nauka o obiektach niematerialnych („wiedzy”) korzysta z ogólnej wiedzy o informacji w środkach społecznego (i indywidualnego) przekazu. W szczególności silne są związki tak z pedagogiką, jak z psychologią a szczególnie pedagogiką i psychologią rozwojową oraz z interdyscyplinarnymi naukami o przyswajaniu informacji – kognitywistyką, korzystającą z osiągnięć neuropsychologii, informatyki, teorii informacji, i nowoczesnych technik diagnostyki mózgu wywodzących się z fizyki i medycyny.

Reasumując, dydaktyka wypracowuje rozwiązania w zakresie *treści, metod i środków* ale też w zakresie *celów nauczania* oraz *organizacji* nauczania. Współpracuje w tym zakresie tak z pedagogiką jak naukami szczegółowymi; w zakresie organizacji szkolnictwa uwzględnia również aktualne uwarunkowania społeczno-ekonomiczne.

W tym szerokim ujęciu trudno przecenić rolę dydaktyki: to ona decyduje o przyszłym sukcesie społeczeństw. Jak pisał S. Staszic „Taka Rzeczpospolita będzie stała jak jej szkoły”.

2.2. Przedmiot nauczania i dydaktyka przedmiotu

Dydaktyka zwana ogólną zajmuje się problemami efektywności nauczania wspólnymi dla różnych dziedzin wiedzy. Dydaktyka ogólna podaje reguły, w odpowiedni sposób rozwijane w nauczaniu poszczególnych przedmiotów. Dydaktyka ogólna określa:

- *zasady* dydaktyczne, tj. ogólne sposoby postępowania w procesie nauczania; zasadą taką jest np. zasada stopniowania trudności
- *metody* dydaktyczne, tzn. ogólne scenariusze działań dla przekazu określonej porcji wiedzy/umiejętności; metodą jest np. samodzielna praca ucznia z tekstem
- *formy* organizacji procesu dydaktycznego, jak np. wykład, rozwiązywanie zadań, laboratorium.

Do zadań dydaktyki ogólnej, wspólnie z pedagogiką oraz innymi naukami społecznymi należy też określenie *celów* nauczania/kształcenia, jak to omawialiśmy w par. 1.1 i 1.2. Ogólne cele i zasady dydaktyczne winny być modyfikowane w zależności od przedmiotu nauczania, grupy docelowej i zakresu materiału. Nauczyciel/ wykładowca musi wykazywać się opanowaniem wszystkich tych zasad, nie tylko do nauczania wybranego przedmiotu na różnych szczeblach, w różnych tematykach, ale przede wszystkim w możliwych przyszłych, zmiennych uwarunkowaniach tak społecznych jak indywidualnej percepcji ucznia.

Dydaktyki szczegółowe, we wzajemnych uzgodnieniach, po określeniu celów i przy zachowaniu wszystkich zasad dydaktycznych a korzystając z wybranych metod i form mają za zadanie zdefiniowanie *treści* na poszczególnych szczeblach nauczania. Treściami nauczania mogą być np. trzy zasady dynamiki Newtona, na poziomie wiedzy podstawowej, zasady zachowania w mechanice na nieco wyższym stopniu jako uogólnienie praw Newtona lub zasady mechaniki Hamiltona na uniwersyteckim poziomie nauczania.

Dydaktyki szczegółowe określają też *środki* dydaktyczne i *pomoce* dydaktyczne. Środkiem dydaktycznym jest zarówno kreda i tablica w tradycyjnym wykładzie uniwersyteckim jak multimedialne modele fizyczne w internetowym sposobie nauczania. Pomocą dydaktyczną jest pojedynczy eksperyment fizyczny, kolekcja minerałów, zielnik ze zbiorami kwiatów itd.

O ile zasady dydaktyki ogólnej wiążą się ściśle z metodologią pedagogiki, to poszczególne dydaktyki przedmiotowe muszą również respektować przyjęte paradygmaty poznania naukowego. Przykładowo, inne są metodologie weryfikacji w kosmologii a inne w badaniach mikrostruktury stopów. W porównaniu z kosmologią, badania metalurgiczne są bardziej bezpośrednie – próbka umiejscowiona jest pod mikroskopem przez badacza. Kosmologia opiera się w dużej mierze na modelach i ekstrapolacji w czasie i przestrzeni: Wielki Wybuch był wydarzeniem jednorazowym i to odległym w czasie.

Szczególnie istotna w dydaktyce fizyki jest konieczność stosowania zróżnicowanych metod, form i środków dydaktycznych. W stosunku np. do matematyki, w nauczaniu fizyki niezbędne są doświadczenia (metoda laboratoryjna, forma zajęć – np. drobne doświadczenia do samodzielnego wykonania), w stosunku do biologii – niezbędne są obliczenia matematyczne, z zachowaniem całej ścisłości procedur. Fizyka, w stosunku do nauczania np. języków obcych dysponuje też zróżnicowanymi środkami dydaktycznymi. Z tych powodów, skuteczne nauczanie fizyki na poziomie szkolnym wymaga szczegółowego i wszechstronnego przygotowania, szerokiej wiedzy ogólnej, dobrego przygotowania matematycznego ale również wiedzy z innych dziedzin nauk przyrodniczych, gdzie metody fizyczne znajdują szerokie zastosowania.

2.3. Dydaktyka jako nauka pro-pozytywna

Dydaktykę, szczególnie przedmiotową, można traktować w dwojaki sposób. W standardowym podejściu obiektem badań naukowych dydaktyki jest efektywność nauczania za pomocą różnorodnych metod. Badacz proponuje różnym grupom uczniów różne sposoby wyjaśnienia tego samego pojęcia/ zjawiska a następnie porównuje za pomocą testów efektywność tego nauczania: stopień zapamiętania, stopień zrozumienia, trwałość wiedzy, umiejętność jej praktycznego wykorzystania, umiejętność dalszego rozwijania wiedzy itd.

Nie negując celowości tego rodzaju badań należy zauważyć, że tego rodzaju działania mają charakter głównie *diagnostyczny*: przygotowanych zostaje wiele różnych sposobów nauczania, mimo że badacz *a priori* przypuszcza, że niektóre z tych sposobów są mało efektywne. Innymi słowy, parafrazując, to jakby lekarz powiedział pacjentowi: „Moim zdaniem pan jest chory”. Przykład takich nieudanych prób dydaktycznych pokazuje rysunek poniżej, zaczerpnięty z jednego z doktoratów z dydaktyki fizyki.

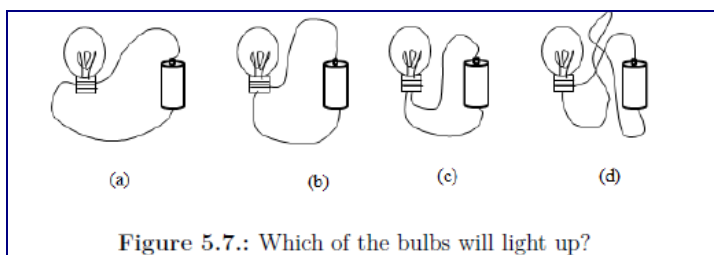
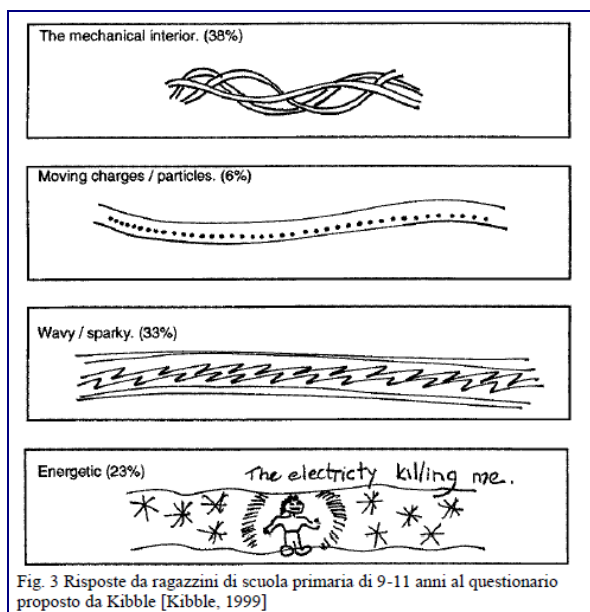


Figure 5.7.: Which of the bulbs will light up?

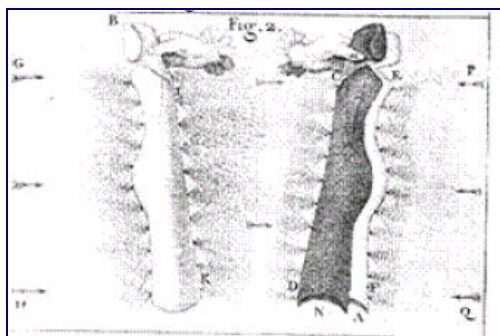
Rysunki te są na tyle nieczytelne (brakuje pokazania, gdzie na obudowie żarówki są podłączone elektrody), że uczeń w każdym przypadku będzie miał trudności z wyborem właściwej odpowiedzi, czyli efektywność nauczania będzie niska. Ta niska efektywność wynikać będzie bardziej z niewłaściwie postawionego *pytania* a nie z błędów rozumowania ucznia. Innymi słowy, za podstawową zasadę dydaktyczną, w warunkach powszechności nauczania należy przyjąć zasadę stawiania odpowiednio jasnych pytań. Parafrazując, nie ma niewłaściwych odpowiedzi ucznia, a są jedynie niewłaściwie do jego poziomu postawione pytania. W tradycyjnej dydaktyce zasada ta odpowiadałaby zasadzie *stopniowania trudności*.

W nawiązaniu do demokratyczności i indywidualnego traktowania ucznia, niewłaściwie postawione pytania – niejasne lub za trudne, o ile nawet są poprawne przedmiotowo (fizycznie, biologicznie), na pewno nie są poprawne *pedagogicznie*. W nowoczesnym społeczeństwie wydaje się ważniejsze ukształtowanie w uczniu przekonania, że poradzi sobie on (prawie zawsze) z (prawie każdym) problemem, niż ukształtowanie przekonania, że nauczyciel jest od niego „mądrzejszy”.

Przykładów niewłaściwie postawionych problemów można przytoczyć więcej. W jednym z badań dydaktycznych przeprowadzonych w Singapurze pytano uczniów w wieku 9-11 lat, jak wyobrażają sobie przepływ prądu elektrycznego przez przewodnik. Oczywiście, dzieci w tym wieku nie dysponują ani odpowiednim aparatem pojęciowym (wolt, amper), ani wiedzą historyczną (doświadczenie Symera z przyciągającymi się lub odpychającymi skarpetami jedwabnymi i wełnianymi, zob. kolejny rysunek), ani współczesną wiedzą o nośnikach prądu w metalach i półprzewodnikach. Stąd odpowiedzi dzieci są najróżniejsze, ale zasadniczo wszystkie błędne, zob. rysunek poniżej.

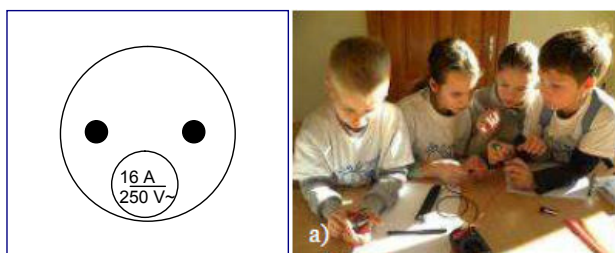


Pytania niewłaściwie postawione – w tym przypadku o przepływ prądu postawione w grupie wiekowej 9-11 lat, bez uprzednich wyjaśnień, uzyskują odpowiedzi w większości błędne. Tego rodzaju działania nie powinny stanowić głównego przedmiotu badań dydaktyki.



Doświadczenie R. Symmera (1759 r.) z przyciąganiem lub odpychaniem się pończoch, wełnianych i jedwabnych, wskazywały na obecność dwóch różnych typów ładunków. Redukowanie przepływu prądu do przepływu elektronów jest uproszczeniem, i to naukowo niepoprawnym. W cieczech, plazmie (np. w tzw. lampach neonowych) i w półprzewodnikach przepływają (w przeciwnych kierunkach) tak ładunki ujemne (np. elektrony) jak ładunki dodatnie (jony dodatnie w cieczech i plazmie, tzw. „dziury” w półprzewodnikach).

Wprowadzenie do elektryczności, nawet dla małych dzieci, w obliczu powszechnego dostępu do różnych źródeł napięcia (baterijek, sieci 230 V), nie może abstrahować od pojęć wolta i ampera. Zgodnie z zasadą pogłębłości, symbole te znajdziemy na każdej (zgodnej z normami UE) wtyczce urządzenia elektrycznego, zob. szkic poniżej.



Nauczanie kompetencji społecznych, przy okazji zagadnień elektryczności: umiejętność przeczytania oznaczeń na wtyczce pralki; samodzielny pomiar napięcia (do 10 V max!) przez dzieci. ©GK

Wprowadzenie do pojęć elektryczności, nawet na elementarnym poziomie powinno operować dwoma pojęciami:

- napięcia, które określa, w jakim stopniu źródło ładunków elektrycznych jest niebezpieczne,
- natężenia, określającego ilość „elektryczności”, która przepłynęła, czyli pośrednio skutek energetyczny prądu.

Wyjaśnimy to pokrótce. Wtyczne dydaktyczne UE, przyjęte w ostatnich dwóch latach również przez szkoły wyższe i uwzględnione w „Podstawie programowej” MEN obejmują:

- wiedzę
- umiejętności
- kompetencje społeczne.

Rozgraniczenie tych trzech funkcji sprawia w Polsce spore trudności: odnajdujemy ich ślad w postaci Programowych „uczeń zna prawo Newtona” - jako wiedza, „uczeń potrafi wyjaśnić prawo Newtona” – jako kompetencja (parafrazując nieco). Nie jest to rozgraniczenie, a podanie wtycznych bez sposobu realizacji w mowie potocznej określa się to jako „pobożne życzenie” – dydaktyka poprawna, ale nie-proponująca.

Jak rozgraniczyć wiedzę, umiejętności i kompetencje społeczne, np. na lekcji o elektryczności. Wbrew pozorom, nie jest to trudne ani koncepcyjnie ani w praktycznej realizacji:

- **wiedza**, to znajomość pojęć (i ich znaczenia) – napięcia i natężenia, wolta i ampera, wielkości typowych tych jednostek;
- **umiejętność**, to np. przeprowadzenie pomiaru napięcia baterijki – nowej i zużytej, zob. jak to realizowały dzieci we wczesnym wieku szkolnym na sobotnich warsztatach w Kaliszu;
- **kompetencja** społeczna to świadomość, jakie napięcia są dla człowieka niebezpieczne, jak ładunki elektrostatyczne mogą uszkodzić komputer, jaka moc musi być dostarczona z sieci dla zasilania kuchenki indukcyjnej, jak działa bezpiecznik zwłoczny w mieszkaniu.

Trzy zadania dydaktyczne zamieniają się w ten sposób z formalnych stwierdzeń, na różnorodność działań nauczyciela i ucznia, poszerzają grupę odbiorców zainteresowanych tematem (np. na gospodynie domowe) a przede wszystkim uczą nowego stylu przekazu i zdobywania wiedzy. Praktyczne odniesienia, zob. rysunki powyżej, *usięciowują* fizykę w świecie codziennym i czynią ją koncepcyjnie przystępną.

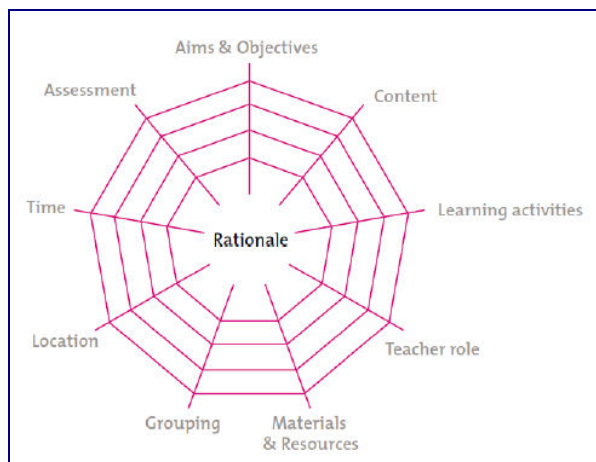
Dokonamy tu parafrazy stwierdzenia Alberta Einsteina, który powiedział podobno, że „wszystko należy wyjaśniać najprościej jak można, ale nie prościej”. Dla zainteresowania ucznia, podniesienia jego psychologicznego poczucia pewności w poruszaniu się po świecie wiedzy (i dla stałego rozwoju własnego nauczyciela), dydaktyk powinien próbować wyjaśniać świat „nawet prościej, niż można było to do tej pory”.

2.4. Usieciowanie procesu nauczania

System „dydaktyka” obejmuje ucznia, nauczyciela, metody, cele itd. Różnie to eksponują poszczególni autorzy, podkreślając np. *nauczanie* i *samokształcenie*, *metody* i *środki*, *cele* i *wartości* itd. Wincenty Okoń pisze o badaniach dydaktycznych, że jest to „system takich, odpowiednio powiązanych ze sobą czynności i narzędzi, które umożliwiają odkrywanie zależności między poszczególnymi elementami procesu dydaktycznego jako całości oraz ogólnych prawidłowości kształcenia i oświaty”⁵.

Van der Akker⁶ ujmuje to usieciowanie w następujący schemat: w środku zbiegających się pączęzyn jest *rationale*, czyli **powód**, uzasadnienie podjęcia procesu nauczania. Zgodnie z tym powodem, celem jest organizowana całość procesu nauczania. Innymi słowy, przed porannym wyjściem z domu, nauczyciel sam siebie zapytuje: „co chce dziś przekazać uczniom?”. Stąd poszczególne wiązki pączęzyn:

- time (czas) – dziś, przez godzinę, lub za miesiąc na lekcji pokazowej na zaprzyjaźnionym uniwersytecie?
- location (miejsce) – w laboratorium, w klasie, w muzeum nauki?
- grouping (grupowanie) – jaka klasa, jak ją podzielić, jakie role wyznaczyć uczniom?
- materials & resources (materiały i zasoby) – czym dysponuję w klasie, co mają przynieść uczniowie, jakie zasoby znalazłam/ em w sieci?
- teacher role (rola nauczyciela) – czy dziś klasówka, czy referaty uczniów?
- learning activities (aktywność uczenia się) – samodzielne doświadczenia, gra edukacyjna?
- content (treści) – tylko główne definicje? omówienie zastosowań? przykład zadań?
- aims & objectives (cele) – test końcowy gimnazjum? bezpieczeństwo pracy z prądem?
- assesment (ocena) – weryfikacja wyników i poniesionych nakładów.



Reasumując, stopień złożoności dydaktyk, ogólnej a jeszcze bardziej *przedmiotowych*, jest wieloraki. Trudno jest dostarczyć gotowe recepty do wszystkich możliwych kontekstów, treści i zadań edukacyjnych. Dydaktyka może pomóc, ale nauczyciel sam musi rozwiązywać problemy dydaktyczne, i to w ciągle zmieniających się uwarunkowaniach zewnętrznych.

⁵ W. Okoń, *Wprowadzenie do dydaktyki ogólnej*, Warszawa, 1987, str. 12.

⁶ J. van der Akker, *Curriculum perspectives: An introduction*. W: J. van den Akker, W. Kuiper & U. Hameyer (Eds.), *Curriculum landscapes and trends* (pp. 1-10). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003.

2.5. Definicja dydaktyki

Jak już wspomniano, dydaktykę definiuje się jako naukę o nauczaniu i uczeniu się, z greckiego *didaktós* = nauczający, pouczający⁷. I dalej za Słownikiem PWN: „dział pedagogiki, nauka o metodach nauczania i uczenia się”. Ten sposób definicji, wywodzący się z samego tylko greckiego słowa, nazwalibyśmy stwierdzeniem samym, czyli *tautologią*. Wincenty Okoń dodaje „dydaktyka jest nauką o kształceniu i samokształceniu, ich celach i treści oraz metodach, środkach i organizacji.”⁸

Liczni autorzy określają dydaktykę jako dział *pedagogiki* zajmujący się badaniem prawidłowości procesu nauczania i uczenia się. Franciszek Bereźnicki definiuje dydaktykę następująco. „Dydaktyka jako nauka o nauczaniu i uczeniu się wykrywa i wyjaśnia określone zależności między pewnymi czynnościami, treściami, metodami, formami i środkami oraz warunkami pracy nauczyciela i uczniów, a wynikami nauczania i na tej podstawie formułuje odpowiednie prawidłowości dotyczące procesu kształcenia, to jest procesu nauczania i uczenia się.”⁹

Z kolei dydaktyki przedmiotowe uważane są zazwyczaj za swoiste zastosowanie, „rzutowanie” (korzystając z określenia z rysunku technicznego) zasad dydaktyki ogólnej na nauczanie określonych przedmiotów. „Aby skutecznie realizować proces dydaktyczny nie wystarczy jednak znajomość ogólnych prawidłowości nauczania i uczenia się. Praktykowi w działaniu potrzebne jest zarówno ogólne zrozumienie procesów dydaktycznych, jak też znajomość konkretnych i swoistych cech nauczania poszczególnych przedmiotów.”¹⁰

Powyzsza definicja pomija zagadnienie wiedzy przedmiotowej nauczyciela, tak jakby nauczyciel w każdych warunkach był w stanie właściwie zmodyfikować sposób przekazu wiedzy przedmiotowej, korzystając ze „szczegółowych dyrektyw”, ale opartych o dość ogólne zasady. Prowadzi to do traktowania dydaktyk przedmiotowych jako dyscypliny pomocniczej w stosunku zarówno do dydaktyki ogólnej, jak do samego przedmiotu.

Z drugiej strony, dydaktyki przedmiotowe, w tym dydaktyka fizyki są (w Polsce) traktowane marginalnie w stosunku do innych działów fizyki. Wynika to ze sporego nieporozumienia: znajomość fizyki nie oznacza umiejętności jej przekazu. Przeświadczenie to bierze się z własnego doświadczenia dydaktycznego („pamiętam z liceum...), które jednak miało miejsce wiele lat wcześniej, i to w formie biernej. Parafrazując, wszyscy chodzimy do dentysty ale bardzo nieliczni próbują samodzielnie borowania zęba ...

W krajach wiodących w badaniach naukowych, w tym w fizyce, jak USA, RFN, Włoszech, Wielkiej Brytanii, dydaktyka fizyki stanowi oddzielną dziedzinę naukową. W Wielkiej Brytanii praktycznie każdy uniwersytet prowadzi własne badania naukowe w zakresie dydaktyki fizyki a dodatkowo, na poziomie ogólnym londyński Institute of Education. W USA wydawane są specjalistyczne czasopisma w zakresie dydaktyki fizyki, np. *American Journal of Physics*. W klasyfikacji PACS nauk fizycznych w pierwszej kategorii 00 Fizyki Ogólnej pod numerem 0.11. We Włoszech katedra uniwersytecka Dydaktyki Fizyki jest połączona z Historią Fizyki.

W wąskim rozumieniu niektórych autorów dydaktyka przedmiotowa wynika ze wskazówek dydaktyki ogólnej. W tym sensie dydaktyka byłaby nauką dedukcyjną, nieco jak teologia. Jak wskazuje lektura choćby klasyka, Jana Komeńskiego, jego dydaktyka jest inna: z uogólnienia

⁷ *Słownik wyrazów obcych PWN*, Warszawa 1972, str. 163

⁸ W. Okoń, *Wprowadzenie do dydaktyki ogólnej*, Warszawa, 1987, str. 55

⁹ F. Bereźnicki, *Dydaktyka kształcenia ogólnego*, Oficyna Wydawnicza „Impuls”, Kraków, 2007, str. 15

¹⁰ F. Bereźnicki, tamże, str. 16

dydaktyk przedmiotowych wynika dydaktyka ogólna. Innymi słowy, dydaktyka, jak fizyka, biologia, historia, jest nauką indukcyjną: wnioski ogólne są wyciągane na podstawie licznych obserwacji w różnych przedmiotach nauczania. We właściwie pojętej dydaktyce przedmiotowej, określone treści przedstawione określonymi metodami charakterystycznymi dla danego przedmiotu, ale dla dowolnej grupy docelowej, po zbadaniu ich efektywności standardowymi metodami dydaktyki ogólnej, stają się dla tej ostatniej materiałem „doświadczalnej” dla procesu budowania uogólnień. Zakładanie, że określone zastosowania dyrektyw dydaktyki ogólnej do nauczania określonych treści przyniesie *ogólnie* oczekiwane skutki jest niepoprawną supozycją. A z drugiej strony zagrożenie „przedmiotowe” dla dydaktyki: „jakoś się uda przekazać z fizyki każdą treść, a jak się nie uda, to wina studenta”.

Tu dochodzimy do właściwego rozumienia tak dydaktyk przedmiotowych, jak dydaktyki ogólnej. To określona metoda i szczegółowa treść danej dziedziny naukowej jest właściwym *obiektem* badań **dydaktyki**. Przykładowo, „Czy możliwe jest wykorzystanie pojęcia potencjału wektorowego do nauczania problemów nadprzewodnictwa na poziomie liceum”.¹¹ Lub z prostszych zagadnień: „Jak wyjaśnić zasadę sumowania się sił na poziomie gimnazjum, bez użycia pojęcia wektora?”; lub „Jak uczyć fizyki atomowej w I klasie szkoły zawodowej?”

Po tych wszystkich uwagach możemy podać własną, operatywną definicję dydaktyki.

Dydaktyka zajmuje się określaniem, diagnozowaniem i rozwiązywaniem trudności w procesie przyswajania wiedzy i umiejętności przez ucznia.

Innymi słowy, samo tylko badanie procesu nauczania, bez proponowania konkretnych rozwiązań dla trudności edukacyjnych byłoby podobne do badań elektryczności, ale bez podania reguł bezpieczeństwa, więcej – badań nie mających na celu żadnych praktycznych zastosowań. Dydaktyka nie jest więc nauką *diagnostyczną*, ale przede wszystkim *interwenującą*. Dydaktyka ma znaleźć „supły” w procesie przyswajania wiedzy przez ucznia i je rozplątać.

W związku z tym, w zakres przedmiotu *dydaktyka* wchodzi proponowanie nowych rozwiązań w zakresie:

- 1) treści nauczania
- 2) metod nauczania szkolnego, pozaszkolnego i pracy własnej ucznia
- 3) środków nauczania i pomocy dydaktycznych.

Uwagi te są szczególnie dla dydaktyki *fizyki*, gdzie stopień zaawansowania matematycznego, implikacje techniczne, szybki postęp w wielkich laboratoriach światowych zmusza do szybkiej aktualizacji treści, kompresowania treści dotychczasowych, podnoszenia efektywności, przy zachowaniu atrakcyjności przedmiotu dla ucznia, przy jednoczesnym zachowaniu rygoru poprawności naukowej.

Upowszechnianie się kształcenia średniego (treści fizyki współczesnej – atomowej, jądrowej, kosmologii są w I klasie wszystkich typów szkół) wymaga niezwykle elastycznego dostosowywania metod i środków do różnych grup odbiorców. Jednocześnie, specjalizacja w wyższych klasach szkoły średniej powoduje, że w niedalekiej przyszłości zdecydowana większość dorastającego społeczeństwa będzie opierała swą wiedzę, np. z mechaniki na wiadomościach uzyskanych w I^o klasie gimnazjum. Ponieważ wiadomości te są istotne np. przy prowadzeniu samochodów, tym większa odpowiedzialność (społeczna) spoczywa na nauczycielach i tym lepsze przygotowanie dydaktyczne muszą tym nauczycielom zapewnić uniwersytety.

¹¹ S. Barbieri, *Superconductivity explained with the tools of the classical electromagnetism. Educational path for the secondart school and its experimentation*. Tesi di dottorato, Università di Palermo, 2014

III. Europejska tradycja naukowa i dydaktyczna

3.1. Arystoteles – ojciec nowożytnej nauki

Arystoteles (384 – 322 p.n.e.) zebrał w swoich licznych dziełach (*Fizyka*, *O niebie*, *Zoologia*, *Etyka*, *Poetyka*, *Metafizyka* itd.) kilka wieków intensywnego rozwoju filozofii greckiej; dzieła te stanowią swoistą encyklopedię starożytnej wiedzy naukowej. Nowożytna krytyka Arystotelesa koncentruje się na domniemaniu o negatywnym wpływie, jaki wielowiekowe przywiązanie się pokoleń filozofów do dzieł Stagiryty, wywarło na rozwój nauki. Przysłowiowe *Ipse dixit* [On powiedział] zamykało dyskusję naukową. Lektura wielu fragmentów dzieł Arystotelesa uwidacznia jednak jego wielką intuicję.

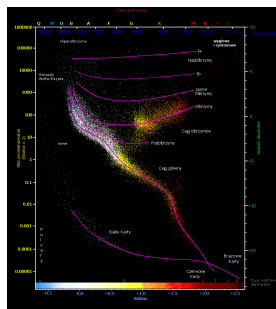
„My bowiem pojmujemy gwiazdy jako ciała proste i jednostki rozłożone wprawdzie w pewnym porządku, lecz zupełnie nie żyjące, podczas gdy trzeba wiedzieć, że one rozwijają działalność i cieszą się życiem”¹².

Dopiero od stu lat, dzięki zastosowaniu metod spektroskopii optycznej i tysiącom nocy spędzonych przy teleskopach przez kobiety-astronomów wiemy, że gwiazdy podlegają ewolucji: powstają, spalają się, zamierają lub wybuchają. Oczywiście, rozumowanie Arystotelesa opierało się na spekulacji myślowej, ale nie dysponował on dwoma tysiącami lat intensywnego rozwoju astronomii obserwacyjnej i astrofizyki.

Podobnie w kwestiach fizyki. Arystoteles nie zdefiniował matematycznie pojęć pędu, energii, potencjału, ale operował nimi w wyjaśnianiu procesów i zjawisk. Jego *energeion* w węższym znaczeniu miał sens energii *potencjalnej*; w szerszym – ukrytą, przyszłą, potencjalną zmienność stanu ciała: „akt działania”¹³. Zauważmy, że dzisiejsze znaczenie *energii* jako *możliwość* wykonania przez ciało pracy, sformułowane zostało dopiero w połowie XIX wieku.

Arystoteles, nie tylko kompilował wiedzę ale i uważnie obserwował przyrodę. Jego wnioski dotyczące krzywych lotu wyrzuconych przedmiotów (krzywych balistycznych), mimo że odbiegające od matematycznych zależności, niezłe oddawały sytuacje rzeczywiste. Arystoteles twierdził, że ciała po osiągnięciu najwyższego punktu trajektorii, gwałtownie spadają w dół. Matematycznie krzywa balistyczna (w próżni) jest parabolą; rzeczywiste trajektorie, np. piłki futbolowej mogą znacznie od paraboli odbiegać. Ba! wskutek tzw. efektu Magnusa, tor kręcącej się piłki może bardziej przypominać krzywą Arystotelesa niż parabolę. Nie bez powodu piłka futbolowa, golfowa, tenisowa nie mają gładkich powierzchni; wskutek oporu powietrza, szczególnie przy rotacji piłki, ich trajektorie są trudniejsze do przewidzenia.

Wniosek dla uważnego nauczyciela z porównania idei Arystotelesa z fizyką współczesną jest następujący: wszelkie racjonalne poszukiwania prawdy naukowej zasługują na szacunek.



Według Arystotelesa gwiazdy są istotami żyjącymi – my wiemy o tym dopiero od 1912 roku, tj. od czasu sporządzenia tzw. diagramu Hertzsprunga – Russella. Przedstawia on zależność mocy promieniowania gwiazdy od jej temperatury; historyczny teleskop z Harvardu, na którym dzięki pracowitości Henrietty Swan Leavitt i innych kobiet astronomów zostały zebrane dane, leżące u podstaw diagramu H-R, teleskop znajduje się obecnie w Obserwatorium UMK

¹² Arystoteles, *O niebie*, PWN Warszawa, 1980, tłum. P. Siwek, str. 83

¹³ Zob. W. Tatariewicz *Układ pojęć w filozofii Arystotelesa*, Marburg, 1910, PWN Warszawa 1978, str. 104

3.2. Średniowieczne osiągnięcia naukowe

Okres średniowiecza uważa się za czas regresu nauki. W rzeczywistości był to czas rozpowszechnienia się wiedzy z niewielu ośrodków na całą dzisiejszą Europę. Podobnie pozorny jest duży wkład przypisywany uczonym arabskim; w średniowieczu przyswoili oni wiedzę starożytną, a wskutek zawieruch wojennych w basenie Morza Śródziemnego wiele dzieł greckich filozofów przetrwało jedynie dzięki pośrednictwu arabskich uczonych.

W średniowieczu pojawiły się takie użyteczne wynalazki jak młyn wodny czy guziki w ubraniach. Z uczonych-fizyków wymienimy dwóch: Witelona (1237-1300?), urodzonego przypuszczalnie w Legnicy oraz Jeana Buridiana (1300-1358?), rektora Uniwersytetu w Paryżu. Obaj byli zakonnikami.

Buridian, w sprzeczności do Arystotelesa, który twierdził, że do poruszania się ciał niezbędne jest stałe działanie popychającej siły, wprowadził pojęcie *bezwładności*, „impetus”. To on jako pierwszy sformułował I prawo Newtona – ciało bez działania siły porusza się ze stałą prędkością. Dzięki Buridianowi, Kopernik nie musiał wyjaśniać, dlaczego planety (i Ziemia) poruszają się wiecznie, o ile przed miliardami lat zostały raz wprawione w ruch.

Pojęcie bezwładności, czy „sił” bezwładności, nie jest w dzisiejszej dydaktyce fizyki niezbędne; mówimy o siłach pozornych lub układach nieinercjalnych. Ale z kolei definicja układu inercjalnego jako takiego, do którego stosuje się I prawo Newtona, jest swego rodzaju tautologią. Pojęcie „bezwładności” należy raczej zastąpić pojęciem zachowania pędu, czyli w polskiej etymologii „impetu”, przez co wracamy do Buridiana...

Witelona traktat o optyce *Perspectiva* był zapewne obowiązującym podręcznikiem akademickim aż do czasów Keplera, który do niego napisał komentarz. Witelona badał prostoliniowe rozchodzenie się światła, w szczególności prawo odbicia światła i powstawania obrazów w zwierciadłach cylindrycznych i sferycznych, zaprojektował peryskop, był bliski sformułowania prawa załamania światła. Jego dzieło nie ma jednak charakteru nowożytnych prac doświadczalnych, ani nawet traktatów Arystotelesa a przypomina swą aksjomatyczną narracją *Geometrię* Euklidesa.

Witelo omawia nie tylko optykę jako naukę fizyczną, ale opisuje też budowę oka, optyczne zjawiska atmosferyczne, a nawet psychologię widzenia. Ta ostatnia szczególnie jest ciekawa, odwołująca się nie do „złudzeń” optycznych, ale do arystotelowskiej zdolności *osądzającej* duszy ludzkiej. Pisze on o widzeniu dwu-ocznym: „kiedy wzrok widzi jakąś dostrzegalną dla zmysłów powierzchnię, natychmiast *zdolność osądzająca duszy* powie, że patrzący widzi bryłę, choćby wzrok nie dostrzegł rozciągłości ciała w głąb.”¹⁴



Witelo jest, obok Kopernika, jedynym polskim uczonym, którego (wymyślony) portret został umieszczony w historycznej sali rektoratu Uniwersytetu w Padwie.

„W którą stronę patrzy kot?” Złudzenie optyczne mówi nam, że jest zwrócony nosem do nas. W rzeczywistości maska kota wypalona w bryle szkła jest zwrócona ku ścianie. Witelo nie nazywa tego złudzeniem, ale zdolnością osądzającą duszy.

¹⁴ Witelo, Perspektywy IV, twierdzenie 63, Studia Copernicana, Witelona Perspektywy, Księga IV, Przekład na język polski ze wstępem i komentarzami Przekład z języka łacińskiego Witold Wróblewski, Wstęp, opracowanie przekładu i komentarz Lech Bieganski, Andrzej Bielski, Witold Wróblewski, Wydawnictwo Instytutu Historii PAN, Warszawa 199, strona 153

3.3. Kopernik: Wszechświat, którego granic znać nie możemy

Powszechnie cytowane stwierdzenie o Koperniku (1473-1543) „Wstrzymał Słońce, ruszył Ziemię” niezupełnie odpowiada napisowi (po łacinie) wyrytemu na cokole pomnika w Toruniu. Napis ten głosi: „Wstrzymał Słońce i niebo” [celioque]. Tak!, gdyż ogrom wirującego nieba znacznie przekracza rozmiary Słońca.

De revolutionibus, wydrukowana w nakładzie paruset egzemplarzy, została określona jako jedna z najmniej czytanych książek w historii. I rzeczywiście, tekst początkowo filozoficzny i grecko-humanistyczny, już w drugiej księdze zagęszcza się tabelami, pozycjami gwiazd, obliczeniami, schematami geometrycznymi itd. Jest to nowożytny traktat naukowy.

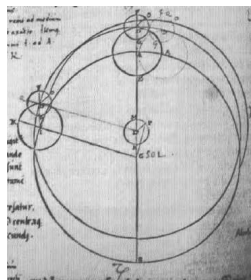
Dyskutuje Kopernik szczegółowo różne aspekty, od kulistości Ziemi do trudności w zauważeniu ruchu gwiazd (czyli ich tzw. paralaksy) „Jeżeli nic podobnego nie dostrzegamy u gwiazd stałych, dowodzi to, że się znajdują niezmiernie wysoko nad nami, co sprawia, że nawet orbita rocznego ruchu albo raczej jej brak zanika dla naszego wzroku. [...] Bo o tym, że nawet od najwyższej z planet, tj. od Saturna, jest jeszcze ogromnie daleko do sfery gwiazd stałych, przekonują nas ich migoczące światła.”

Dzieło Kopernika jest zdecydowanie pierwszym nowożytnym traktatem naukowym – opartym o rzetelne obserwacje (Kopernik obserwował osobiście większość istotnych zjawisk astronomicznych, zaćmienia Słońca i Księżyca, koniunkcje planet, jakie zdarzyły się za jego życia. Obserwacje te poparte zostały solidnym aparatem matematycznym; Kopernik jest autorem również tablic, przypominających dzisiejsze tablice trygonometryczne. Nauka, dla Kopernika, nie ma więc charakteru aksjomatycznego, jak dla Euklidesa, ani spekulatywnego, jak to było u Arystotelesa, ale polega na stawianiu jasnych pytań, nawet jeśli nie ma na nie (chwilowo) odpowiedzi. Pytanie Kopernika, dlaczego woda nie spływa z Ziemi, jak spływa z globusa, znalazło odpowiedź w newtonowskim pojęciu grawitacji. Poszukiwania korekt do orbit kołowych Ziemi i planet znalazło odpowiedź dopiero w eliptycznych orbitach Keplera.

Lekcją dydaktyczną z analizy życiorysu i dokonań Kopernika jest stwierdzenie, że odważnie zadane pytania prowadzą do zaskakujących odpowiedzi, choć często niezwykle prostych. Podobną odwagą w stawianiu pytań wykazał się 500 lat później Albert Einstein. Przypisywanie Kopernikowi roli burzyciela porządku naukowego odbiega od lakonicznej, ale niezwykle logicznej narracji *De revolutionibus*. Kopernik jest natomiast bez wątpienia twórcą nowożytnego metodologii naukowej, opartej tak na doświadczeniu, jak na analizie teoretycznej. Kopernik też jest przykładem pokory badacza, który przyznaje: „Wszechświata, którego granic nie znamy, a przypuszczalnie nawet znać nie możemy”.



Napis na pomniku Kopernika w Toruniu głosi: „Wstrzymał Słońce i niebo, ruszył Ziemię”



Kopernik wiedział, również z własnych obserwacji, że planety nie krążą dookoła Słońca po orbitach kołowych. Stąd jego poszukiwania *epicykli*, jak to było w teorii Ptolemeusza.

3.4. Galileusz – fizyka zesła z nieba na ziemię

O Galileuszu (1564-1642) powiedziano: „Fizyka zesła z nieba na ziemię po równi pochyłej Galileusza”¹⁵. O ile dzieło Kopernika było wielkim traktatem, matematycznym i trudnym, Galileusz udostępnił wiedzę o fizyce przeciętnemu odbiorcy w tamtych czasach. Galileusz ustanowił też paradygmat współczesnego przyrodoznawstwa: powtarzalne doświadczenie, jasno opisane, pozwalające na jednoznaczne wnioski.

To dopiero Galileusz, 400 lat temu dostarczył „namacalnych” dowodów na prawdziwość systemu kopernikańskiego i stworzył bazę współczesnej fizyki (kinematyki, akustyki, optyki). Galileo, syn lutnika, poszukiwał związków liczbowych między wielkościami fizycznymi, na wzór pitagorejskich zależności między częstotliwościami harmonicznymi (długością struny). Jego sposób narracji przypominał nadal dialogi Platona, jak w następującym cytacie, opisującym zależność drogi w ruchu jednostajnie przyspieszonym $s = \frac{1}{2} at^2$.

...Ale to stwierdzenie ogólne nie ma żadnej wartości, jeśli nie wiadomo o jakich proporcjach różnie prędkość, wniosek nieznaną aż do naszych czasów dla wszystkich filozofów, a odkryty i wykazany przez Akademika, naszego wspólnego przyjaciela: który w niektórych swoich rękopisach, jeszcze nieopublikowanych a pokazanych w zaufaniu mnie i niektórym swoim przyjaciołom wykazuje, jak przyspieszenie ruchu prostoliniowego spadających ciał odbywa się w porządku kolejnych liczb nieparzystych, to znaczy zaznaczywszy jakie i ile równych czasów chcemy, jeśli w pierwszym czasie, ruszając ze stanu spoczynku, przybędzie określony odcinek, na przykład długość lufy, w drugim czasie trzy lufy, w trzecim pięć, w czwartym siedem, i tak sukcesywnie w porządku kolejnych liczb nieparzystych, co w sumie jest tym samym, co powiedzieć, że odcinki przebyte przez ciało, ruszając ze spoczynku, mają się do siebie w proporcji podwojonej w stosunku do czasów, w jakich te odcinki są mierzone, lub możemy powiedzieć że odcinki przebyte mają się do siebie jak kwadraty czasów.”¹⁶

Ilustracją tej zależności matematycznej, trafiającą do wyobraźni uczniów jest równia pochyła, wzdłuż której są zawieszane dzwonki w odległościach 1:3:5:7:9. Kulka puszczona po równi (najlepiej w ciemnościach) uderza w dzwonki w równych odstępach czasu, co jest dla widowni zaskoczeniem. Ba! najpierw słuchamy, później mierzymy odległości między dzwonkami. W równi skonstruowanej na UMK jednostką pomiarową jest długość buta, nr 38.

Galileusz odkrył również, za pomocą własnoręcznie zbudowanej lunety, góry i doliny na Księżycu, cztery satelity krążące dookoła Jowisza oraz fazy Wenus. Wszystkie te obserwacje mogą być powtórzone za pomocą amatorskiej lornetki i powinny stać się kanonem dydaktycznym każdego nauczyciela fizyki, na każdym poziomie nauczania. Dwa rozgraniczenia ruchu – na jednostajny i przyspieszony, dokonane przez Galileusza, a pokazane za pomocą toczącej się po pochylonym stole szklanej kulki, to natomiast pierwsze doświadczenie, na pierwszej lekcji fizyki na każdym poziomie.



Rozważania Galileusza o ruchu przyspieszonym stały się dla nas podstawą skonstruowania „ścieżki” poznawczej, najpierw w formie wystawy interaktywnej, później w formie wykładu interaktywnego, w którym uczniowie sami odkrywają prawa fizyki. Postawione zagadnienia to: - jak ciała się poruszają? Dlaczego? Po sformułowaniu praw ruchu i stwierdzenia niezależności spadku od masy ciała, ścieżka dydaktyczna komplikuje się, na stacyonary, odbijanie, itd. Scenariusze i realizacja autor.

¹⁵ E. M. Rogers, Fizyka dla dociekliwych, PWN 1972

¹⁶ Galileo Galilei, Dialogo dei Massimi Sistemi, Oscar Mondadori, 1996, str. 231-232, tłum. autor

3.5. Kartezjańska metoda rozumowania

O ile Galileusz stworzył metodologię nowoczesnego, doświadczalnego przyrodoznawstwa, Kartezjusz (wł. Rene Descartes, 1596-1650) w „Rozprawie o metodzie”¹⁷ sprecyzował ogólny sposób rozumowania, stosowalny do wszystkich nauk. Kartezjusz pisał tak:

„Pierwszem jest aby nie przyjmować nigdy żadnej rzeczy za prawdziwą, dopóki nie poznamy jej oczywiście jako takiej: to znaczy, aby unikać starannie pośpiechu i uprzedzenia i nie pomieszać w swoim sądzie nic, tylko, co się przedstawiło memu umyśłu tak jasno: wyraźnie, iż nie będzie miał żadnej możliwości poddania tego w wątpliwość.

Drugim, aby każdą z rozpatrywanych trudności podzielić na tyle części, na ile się da i ile będzie potrzeba dla lepszego jej rozwiązania.

Trzecim, aby prowadzić myśli po porządku, zaczynając od początku najprostszycy i najłatwiejszych do poznania, i pomału, jak gdyby po stopniach, wstępować aż do poznania bardziej złożonych i przyczem należy przypuszczać porządek nawet między temi, które nie tworzą naturalnego szeregu.

Ostatnim, aby wszędzie czynić wyszczególnienia tak dokładnie i przeglądy tak powszechne, aby był pewny, iż nic nie opuściłem.”

Le premier était de ne recevoir jamais aucune chose pour vraie que je ne la connusse évidemment être telle, c'est-à-dire d'éviter soigneusement la précipitation et la prévention, et de ne comprendre rien de plus en mes jugemens que ce qui se présenterait si clairement et si distinctement à mon esprit que je n'eusse aucune occasion de le mettre en doute.

Le second, de diviser chacune des difficultés que j'examinerais en autant de parcelles qu'il se pourrait et qu'il serait requis pour les mieux résoudre.

Le troisième, de conduire par ordre mes pensées, en commençant par les objets les plus simples et les plus aisés à connaître, pour monter peu à peu comme par degrés jusques à la connaissance des plus composés, et supposant même de l'ordre entre ceux qui ne se précèdent point naturellement les uns les autres.

Et, le dernier, de faire partout des dénombrements si entiers et des revues si générales que je fusse assuré de ne rien omettre.

Kopia pierwszego wydania „Rozprawy o metodzie R. Descartesa [Leyden, 1637; books.google.fr, hasło katalogowe wywołania BCULVD2178290]. Egzemplarz tej pracy istnieje (w bibliotece Uniwersytetu w Stanford) może więc być realnym odnośnikiem do konstruowania wiedzy o metodzie pracy naukowej wg Kartezjusza.

W dyskursie Kartezjusza zwracają uwagę cztery postulaty: 1) konieczność kwestionowania wiedzy niesprawdzonej, 2) dzielenia problemu na zagadnienie elementarne, 3) rozwiązywania problemów poczynając od najprostszycy, 4) syntezy rozwiązań i kontroli ich kompletności. Wykładnia Kartezjusza postępowania poznawczego okazuje się niezwykle adekwatna również dla dydaktyki współczesnej. Stanowi właściwą bazę metodologiczną do przeorientowania kształcenia z przekazu wiedzy na jej *konstruowanie*. To konstruowanie winno odbywać się krok po kroku; używając języka matematyki – metodą kolejnych przybliżeń. Każdy krok rozumowania wiąże się z koniecznością wyboru – jak na ścieżce w lesie – w lewo lub prawo. Kolejny krok weryfikuje dokonany wybór.

Metoda Kartezjusza zakłada w szczególności ścisłą logikę dwuwartościową: TAK lub NIE, jak to skodyfikował jeszcze Arystoteles. Zasada ta jest istotna i w dydaktyce i w pedagogice: każda odpowiedź ucznia rodzi określone konsekwencje logiczne/ moralne. Nie istnieje, jak w niektórych ekscentrycznych filozofiach (ale i mechanice kwantowej), „może tak a może tak”.

Zwraca też uwagę konieczność poszukiwania związków logicznych, nawet tam gdzie nie są one oczywiste. Innymi słowy, Kartezjusz unika obecnych np. w niektórych interpretacjach fizyki współczesnej „ukrytych zmiennych”. Logika jest ścisła i dychotomiczna.

¹⁷ Pełny tytuł „Rozprawa o metodzie naukowej i jej zastosowanie do optyki”. R. Descartes, Discours de la méthode: pour bien conduire sa raison, et chercher la vérité dans les sciences, Imprimerie de Ian Maire, Leyde, 1637, str. 29

3.5.a Poznanie naukowe według Immanuela Kanta

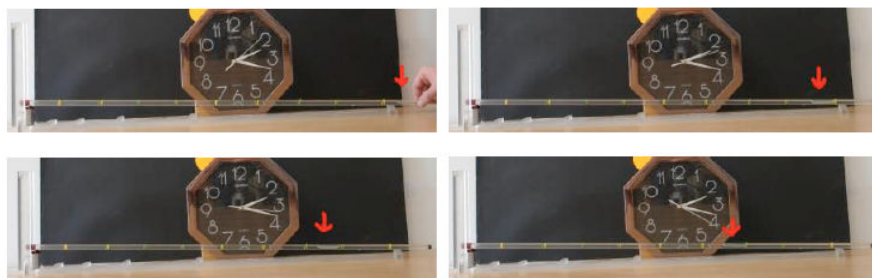
Paradygmat współczesnej metody naukowej, po Galileuszu i Kartezjuszu został poszerzony na ogólną teorię poznania przez Immanuela Kanta (1724-1804), wykładowcy na Uniwersytecie w Królewcu. W ciągnącej się od czasów Platona dyskusji o możliwości poznania „rzeczy samych w sobie” Kant zwrócił uwagę na decydującą rolę podmiotu poznania na wynik doświadczenia. Naukowiec pyta Naturę nie jak dziecko, ale jak sędzia, wymagający jednoznacznych odpowiedzi. Nie „co to?”, ale „prawda, że w dniu 5 marca o godzinie 17 tej na ulicy Długiej zamordowałeś nożem Jana Kotta?”

Cytując T. S. Kuhna, autora „Przewrotu kopernikańskiego”, „rozwiązywanie problemów przypomina o wiele bardziej dziecięce łamigłówki, w których chodzi o znalezienie na rysunku zwierzęcia ukrytego w zaroślach lub w chmurach. Dziecko szuka na rysunku kształtów podobnych do znanych mu już zwierząt.”

Władysław Tatarkiewicz tak definiuje kantowski przewrót kopernikański: „Analogicznie wadliwe okazało się tradycyjne przeciwstawienie doświadczenia i apriorycznej myśli: myśl nie jest bowiem przeciwieństwem, lecz zasadniczym składnikiem doświadczenia.”¹⁸

Revolucja Kanta ma zasadnicze znaczenie dla całości dydaktyki a szczególnie dydaktyki fizyki: na początku doświadczenia stoi nasze wyobrażenie o jego wyniku. Uczeń musi więc umieć samodzielnie konstruować kategorie pojęciowe. Wrócimy do tematu przy okazji dyskusji związków dydaktyki fizyki z nauczaniem języka ojczystego.

Z filozofii Kanta wynika ważna zasada dla współczesnej dydaktyki fizyki: oparcia nauczania o doświadczenie „SPEA” (sytuacja – przewidywanie – eksperyment – analiza). Podstawą poznania naukowego, szczególnie w fizyce¹⁹, jest szczegółowo postawione pytanie, np. „czy kulki w oleju spadają ruchem przyspieszonym?” Przygotowujemy doświadczenie, przeprowadzamy pomiar, zapisujemy wyniki, po czym je analizujemy. W ustalonych regułach SPEA, np. dokładności pomiaru czasu stoperem, gęstości oleju, długości spadku, odcinków pomiarowych itd. odpowiedź powinna być tak albo nie. „Spadek w oleju nie jest ruchem jednostajnie przyspieszonym a raczej ruchem *jednostajnym*.” Metoda SPEA jest realizacją kartezjańskiego stopniowego rozwiązywania problemu, ale element przygotowanego wcześniej doświadczenia jest elementem oddającym metodę badawczą Kanta.



Szczegółowo przygotowane doświadczenie w metodologii SPEA dla sprawdzenia ruchu jednostajnego: odpowiednio długa rurka, mały pęcherzyk powietrza, wcześniej zaznaczone odcinki na rurce, niewielkie pochylenie rurki, niezbyt lepki olej, zegar w tle, zapis na wideo.

¹⁸ określenie cytujemy za „Historią filozofii” W. Tatarkiewicza, t.II, PWN Warszawa, str. 171

¹⁹ Oczywiście, zasada szczegółowo przygotowanego doświadczenia dotyczy również innych nauk. Ale stopień „przypadkowości” niektórych obserwacji, np. zwyczajów nieznanego ludu lub fauny w dżungli, jest większy niż w eksperymentach poszukujących bozonu Higgsa. Ale i w fizyce (astronomii) przypadkowe obserwacje, jak np. wybuch gwiazdy supernowej przez Keplera, są częste i niezwykle twórcze dla rozwoju nauki.

Właściwe używanie, a jeszcze bardziej *tworzenie* kategorii pojęciowych, jest niezwykle istotne w nauce, a szczególnie w fizyce. Fizycy starają się „zagwarantować” sobie niektóre określenia, które ogólnie należą do języka potocznego, jak np. „jednostajny” lub „jednostajnie przyspieszony”. Przez szacunek dla innych dziedzin naukowych, a także dla utrzymania autonomii rozwoju języka, ilość tych „rezerwowanych” kategorii powinna być jak najmniejsza. Nauczyciel nie powinien się oburzać, jeśli uczeń nie zawsze trafia w terminologię rezerwowaną: jednostajny \approx równomierny \approx monotony \approx powolny.

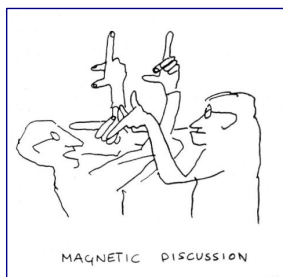
Jednocześnie nowe kategorie pojęciowe, ze ściśle określonymi własnościami niezwykle pomagają tak w uproszczeniu nauki jak w przyswajaniu wiedzy. Przykładem są wektory, które są uogólnieniem strzałek, jakie dzieci używają do opisu ruchu (zob. rysunki w par. 3.6a). Wektor, w matematyce „uporządkowana para punktów”, w fizyce staje się wektorem swobodnym i zaczyna mieć autonomiczne znaczenie. Autonomiczność znaczenia wektora prędkości (prądu rzeki) pokazujemy na poniższej sekwencji zdjęć: prędkość prądu rzeki sumuje się (wektorowo) z prędkością łódki (lub kry), niezależnie czy płyną one wzdłuż, czy w poprzek rzeki.



Fot. 4.4 Po Wiśle w Toruniu zimą żeglują tylko mewy na krze. Latem, łódka płynie w poprzek rzeki, ale jak mewy, też jest znoszona prądem (na tych zdjęciach w prawo).

Dalszym rozszerzeniem pojęcia wektora, jest pojęcie *iloczynu* wektorowego. Wprowadźmy jego definicję w sposób *konstruktywistyczny*, zadając pytanie: „Wynikiem sumowania dwóch wektorów jest inny wektor. A co jest wynikiem *mnożenia* dwóch wektorów? Jak sobie wyobrażacie wynik mnożenia dwóch strzałek?”

Sens wprowadzania nowych kategorii polega na możliwości redukcji większej ilości przypadków do jednej reguły, zdefiniowanej przez własności nowej kategorii. I tak, w elektromagnetyzmie, liczne reguły prawej lub lewej dłoni (zob. karykatura autorstwa prof. Bruno Touschka) mogą zostać zredukowane do własności iloczynu *wektorowego*: zwrot wektora \mathbf{c} , będącego iloczynem $\mathbf{c} = \mathbf{a} \times \mathbf{b}$ wynika z reguły śruby (prawoskrętnej), która nakłada wektor \mathbf{a} na wektor \mathbf{b} .



Nowe kategorie pojęciowe, jak np. iloczyn wektorowy, są niezwykle przydatne tak w rozwoju nauki jak w upraszczaniu przekazu dydaktycznego. Niezliczone reguły prawej lub lewej dłoni (obok karykatura autorstwa włoskiego fizyka jądrowego Bruno Touschka) mogą być zastąpione jedną, ogólną regułą *wektorowego* mnożenia wektorów.


W ten sposób, jednoznacznie określony jest zwrot siły Lorentza $\mathbf{F} = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$, siły elektrodynamicznej $\mathbf{F} = I(\mathbf{l} \times \mathbf{B})$, wektora indukcji magnetycznej \mathbf{B} dookoła przewodnika liniowego (z prawa Biota-Savarta) $d\mathbf{B} = \mu_0 I (\mathbf{l} \times \mathbf{r}) / 4\pi r^3$, momentu pędu $\mathbf{L} = m(\mathbf{r} \times \mathbf{v})$, momentu siły $\mathbf{M} = (\mathbf{r} \times \mathbf{F})$.

Znaczenie Immanuela Kanta dla nowoczesnego przyrodoznawstwa wynika z jego jeszcze jednej intuicji: przewidzenia sądów syntetycznych *a priori*. Kant podzielił sądy na dwa rodzaje – analityczne i syntetyczne. Tylko te ostatnie wnoszą coś istotnie nowego do naszego rozumienia przyrody. „Sądy analityczne są to takie, które w orzeczeniu wypowiadają to tylko, co jest zawarte w podmiocie zdania, czyli to, co należy do definicji podmiotu bądź daje się z definicji jego wyprowadzić. [...] Sądy analityczne objaśniają wiedzę już posiadaną, sądy syntetyczne zaś rozszerzają wiedzę.”²⁰

Typowym przykładem sądu analitycznego jest odpowiedź na pytanie: „Co to jest grawitacja?” „-Przyciąganie ziemskie” Etymologicznie – *gravitare*, czyli ciężać. Tego rodzaju odpowiedź nie pozwala na żadne istotne, dalsze wnioski. Sądy analityczne tego rodzaju należy uznać za *tautologie*: „W skład masła wchodzi masło” [według normy masła 81% to tłuszcz z mleka].

Drugim podziałem sądów według Kanta jest rozróżnienie sądów *a posteriori* i sądów *a priori*. Pierwsze są uzyskane na podstawie doświadczenia, drugie mają źródło tylko w samym umyśle. Tak pisze W. Tatarkiewicz „Natura sądów analitycznych łatwa jest do zrozumienia, tak samo i natura sądów syntetycznych *a posteriori*, jedne bowiem analizując tylko pojęcia, a drugie opierają się po prostu na doświadczeniu. Ale pozostają sądy syntetyczne *a priori*, które przedstawiają się zagadkowo. Jakże to jest możliwe wypowiadać o przedmiocie coś, co nie jest ani zawarte w jego pojęciu, ani zaczerpnięte z doświadczenia? A właśnie te sądy stanowią jądro wiedzy [...] Przeświadczenie, że istnieją sądy syntetyczne *a priori*, Kant czerpał z dwóch nauk: z matematyki i z czystego (jak się dziś mówi: matematycznego) przyrodoznawstwa.”¹⁶.

Najbardziej rewolucyjnym w historii nauki sądem syntetycznym *a priori* było bez wątpienia sformułowanie praw Maxwella, a w szczególności wynikających z nich fal elektromagnetycznych, jak to parafrazuje rysunek poniżej



Pan Bóg powiedział:

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \rho / \epsilon_0$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

I stało się światło!

James Clerk Maxwell.

Ryc. 2.6. Prawa Maxwella w postaci tzw. różniczkowej. Odwrotność iloczynu stałych $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ [SI] i $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ [SI] jest równa kwadratowi prędkości światła w próżni, $1/\mu_0 \epsilon_0 = c^2$. Nie musisz tych równań rozumieć, ale dzięki nim mamy telefony komórkowe, radio i TV

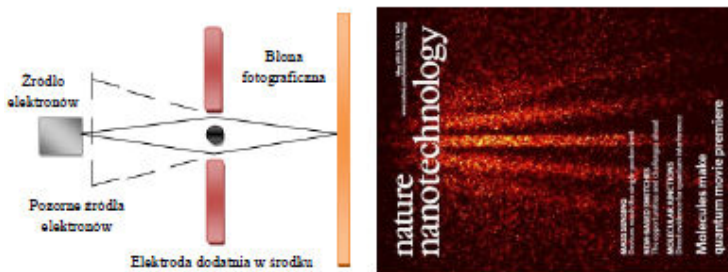
Innym jeszcze sądem uogólniającym, ale nie wynikającym z doświadczenia, jest Ogólna Teoria Względności Alberta Einsteina. Pytanie, czym się (nie) różni spadająca winda od ruchu jednostajnego, doprowadziło Einsteina, po kilkunastu stronach rozważań matematycznych, do przewidzenia precesji orbity Merkurego i zakrzywienia promienia światła w pobliżu Słońca (a dokładniej: zakrzywienia dwa razy większego, niż to wynikałoby z teorii Newtona). Wniosek zaskakujący: pole grawitacyjne deformuje czasoprzestrzeń!

²⁰ W. Tatarkiewicz, „Historia filozofii”, t.II, PWN Warszawa, str. 165

3.6. Konsekwencje epistemologiczne fizyki współczesnej

Początek XX wieku w zasadniczy sposób zmienił nasze mniemania o możliwości odkrywania (i zrozumienia) świata. Swego rodzaju redukcjonistyczna („nie wszystko da się odkryć”) rewolucja miała miejsce w matematyce, fizyce, astronomii. W 1900 roku David Hilbert postawił zadanie zamknięcia matematyki w spójną całość, opartą o skończoną liczbę, wzajemnie niesprzecznych aksjomatów. W 1931 Kurt Gödel pokazał, że nie można udowodnić, że arytmetyka jest zarówno spójna jak i kompletna.

Rewolucja w fizyce rozpoczęła się również w 1900 roku, poprzez sformułowanie przez Maxa Plancka hipotezy kwantów energii promieniowania elektromagnetycznego. Jeżeli fala elektromagnetyczna w niektórych zjawiskach (np. fotoelektrycznym) zachowuje się jak cząstka, to może i elektron zachowuje się jako fala? To znaczy, można na wiązce elektronów wykonać doświadczenie interferencyjne, jak to zrobił w 1809 roku Young z wiązką światła przechodzącą przez dwie szczeliny? Tak, i to nie tylko na wiązce elektronów, ale nawet na wiązce ciężkich cząsteczek ftalocyaniny, zob. foto poniżej.



Rys. 2.73. a) Schemat układu do obserwacji interferencji elektronów (lub atomów) pochodzących z dwóch pozornych źródeł elektronów; b) prążki obserwowane w interferencji drobin ftalocyaniny (Uniwersytet w Wiedniu, 2012, na zdjęciu okładki czasopisma „Nature”)

Z doświadczenia interferencyjnego dla elektronów, które bez wątpienia są cząstkami prawie punktowymi, wynika poważna trudność interpretacyjna. Jeżeli pojedynczy elektron przelatuje przypadkowo ale przez *jedną* szczelinę, jak zespół elektronów daje obraz dokładnie odpowiadający interferencji fali płaskiej na *dwoch* szczelinach. Albo jeden elektron przelatuje przez dwie szczeliny naraz, albo następny elektron dysponuje informacją, przez którą szczelinę „musi” przelecieć, aby powstał na ekranie obraz interferencyjny.

Trudność powyższa jest przykładem ograniczenia naszej możliwości zdobywania wiedzy przez Naturę samą w sobie. Doświadczenie z elektronami można przeprowadzić tak, że wiemy, przez którą szczelinę każdy z nich przeleciał, ale wówczas obraz interferencyjny znika a powstają tylko cienie dwóch oddzielnych szczelin. Różne interpretacje mechaniki kwantowej poszukiwały *mechanizmów* tego zjawiska. Problem wydaje się jednak poważniejszy niż jedynie *dualizm* falowo-kwantowy, gdzie raz w monecie widzimy reszkę, raz orzełka. Doświadczenie z elektronami sugeruje, że mimo sformułowanego przez twórców mechaniki kwantowej poprawnego opisu *matematycznego*, samego zjawiska zrozumieć *nie możemy*, tak jak to wcześniej pisał Kopernik.

Równaniem, które poprawnie opisuje „zachowanie się” elektronów jest dobrze znane równanie Schrödingera:

$$\hat{H} \Psi(r, t) = i \hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(r, t)$$

gdzie H jest operatorem Hamiltona (ma znaczenie energii) a Ψ jest „funkcją falową elektronu”. Niewiele nam jednak, dydaktycznie, takie stwierdzenie mówi.

Skrótowe wyjaśnienie znaczenia funkcji falowej w równaniu Schrödingera należy zastąpić precyzyjniejszym: kwadrat $|\Psi(x, t)|^2$ modułu funkcji falowej oznacza prawdopodobieństwo znalezienia elektronu w danym miejscu x w danej chwili t . Innymi słowy, *gdybyśmy* wykonali doświadczenie, a dokładniej - *wiele doświadczeń* dokładnie w tych samych warunkach, to pewna część elektronów byłaby w punkcie określonym przez współrzędne (x, t) .

Parafrazując, gdzie w danej chwili „naprawdę” jest pojedynczy elektron, to do czasu wykonania przez nas doświadczenia, on tylko to wie. Wiele różnych interpretacji mechaniki kwantowej nadaje funkcji falowej inne interpretacje. Dla nas, równanie Schrödingera jest jednym z przejawów, że Naturę potrafimy opisać matematycznie, ale nie do końca potrafimy sobie ją wyobrazić.

Dodatkowe, a raczej alternatywne ograniczenie wynika z zasady nieoznaczoności Heisenberga: nie możemy jednocześnie z dowolną dokładnością wyznaczyć i pędu, i położenia cząstki. Zauważmy, że do dziś trwają dyskusje, czy iloczyn nieoznaczoności położenia i pędu $\Delta x \Delta p$ jest rzędu stałej Plancka h , czy tej stałej podzielonej przez π czy przez 2π . Mamy swego rodzaju niejasność w nieoznaczoności...

Szczególna Teoria Względności Einsteina nałożyła na naszą wiedzę o Wszechświecie kolejne ograniczenie, ale też dając ciekawą wizję alternatywną. Z uwagi na skończoną prędkość światła, niezależną od prędkości obserwatora, nie potrafimy zajrzeć dalej we Wszechświat, niż to wynika z przemnożenia prędkości światła 300 tys. km/s przez wiek Wszechświata, około 13,87 mld lat. To tak jak na rysunku, w którym w XVII wieku naigrywano się ze średniowiecznych przekonań kosmologicznych. Niestety, średniowieczni uczeni mieli rację: za daleko w głąb Wszechświata zajrzeć się nie da!

Nie mówiąc już o tym, że ograniczeniem nałożonym na naszą osobistą eksploatację Wszechświata jest II prawo Newtona – trzeba sporo czasu (i energii) aby rozpędzić się do prędkości pod-swiatłowej! Z kolei spekulacyjne podróże w zawiniętej jak dywan czasoprzestrzeni wymagają zamiany ogromnych mas na energię: natychmiastowa podróż na Jowisza pochłonie masę Marsa ?!



Coraz to bardziej skomplikowane zagadnienia – w mechanice kwantowej np. teleportacja a w kosmologii ciemna energia i ciemna masa pokazują, że mimo umiejętności poprawnego *opisu* zjawisk, mamy coraz większe kłopoty w ich *zrozumieniu*. Te inherentne ograniczenia, nie metodologiczne lecz ontologiczne na nasze poznanie Świata stawiają również nauczyciela w mniej stresującej sytuacji. Na każde pytanie ucznia może on odpowiedzieć: „Chwilowo nie wiem, ale i naukowcom się to często zdarza”.

3.7. Europejskie tradycje pedagogiki

Pedagogika, rozumiana głównie jako nauka o *wychowaniu*, leżąca tak w sferze nauk humanistycznych, czyli nauk o kulturze, jak w sferze nauk społecznych, w czasach nowożytnych podlegała również głębokim zmianom paradygmatów. Przypomnijmy, że w czasach średniowiecznych i również przez kilka następnych wieków powszechnym nauczaniem zajmowały się jedynie organizacje wyznaniowe.

Wśród twórców pedagogiki i dydaktyki wymienić należy przede wszystkim Jana Komenskiego (1592-1670), ostatniego z przywódców ruchu religijnego tzw. „Braci czeskich”, który pracował w Lesznie, a po spaleniu jego domu przez mieszkańców (po Potopie szwedzkim) przeniósł się do Amsterdamu. Jego „Wielka dydaktyka” jest w porównaniu z innymi dziełami tamtej epoki dziełem na wskroś religijnym. Tak Komenski definiuje cele szkoły: „Szkoły są warsztatami ludzkości, albowiem bezwątpienia wpływają one na to, iżby człowiek rzeczywiście stał się człowiekiem: I. stworzeniem rozsądnym, II. stworzeniem panującym nad wszystkimi stworzeniami i nad sobą samym, III. stworzeniem, które ma stać się radością swojego Stwórcy. Komenski podał w swej obszernej pracy mnóstwo wskazówek dotyczących organizacji, treści, form szkoły. „Ułatwimy przeto zadanie szkołom, jeśli skracać będziemy treść nauki, co nastąpi, jeśli pomijając będziemy: I. to, co bezużyteczne, II. to, co jest obce, III. to, co jest drobiazgowo.”²¹

Różne szkoły filozoficzne proponowały odmienne podejścia do kształcenia, od wychowania zgodnego z naturą (J. J. Rousseau, Szwajcaria, 1712-1778), poprzez pedagogikę rozumianą jako kształcenie woli i charakteru, dla realizacji określonej roli w podziale zadań społecznych (J. F. Herbart, Prusy, 1776-1841), uczenie się przez działanie a szkoła jako komórka życia społecznego (J. Dewey, USA, 1859-1952), nauczanie oparte na wolności dziecka, jego kreatywności, ruchu i zabawie (M. Montessori, Włochy, 1870-1952). Za wyjątkiem idealizmu J. J. Rousseau, idee wymienionych pedagogów znalazły praktyczne wcielenia w narodowych i obcych systemach edukacyjnych w określonych okresach historycznych. Nadal różne elementy (dyscypliny Hebart i wolności dziecka Montessori) ścierają się we współczesnych systemach narodowych i działaniach pojedynczych szkół.



„Škola hrou,
ale rákoska je rákoska.”

„Szkoła jest zabawą, ale różeczka jest różeczka”
– parafraza pedagogiki Komenskiego z tablicy w Zakładzie Dydaktyki Fizyki UK w Pradze.



Pomoce dydaktyczne Montessori – uczenie się zależności przestrzennych (i matematycznych) przez praktyczną manipulację obiektami (foto Wikipedia).

²¹ J. A. Komenski, *Didattica magna*, str. 143,
<http://pbc.up.krakow.pl/dlibra/docmetadata?id689&from=publication>

3.8. Jean Piaget i teoria rozwoju poznawczego dzieci

W pierwszej połowie XX wieku, wraz z upowszechnianiem się wychowania przedszkolnego, zwrócono uwagę na psychologię rozwojową dzieci. Za twórcę tej dziedziny naukowej uważa się Jeana Piageta. Wyróżnił on cztery fazy w rozwoju poznawczym dzieci:

1° faza – do 2 roku życia – poznawanie świata poprzez zmysły,

2° faza – do 7 roku życia – następuje aktywizacja wyobraźni,

3° faza – 7-11 lat – dzieci pojmują proste związki przyczynowo-skutkowe, ale mają problem z pojęciami abstrakcyjnymi,

4° faza – od 12 roku życia – rozwój myślenia abstrakcyjnego.

Teoria Piageta wywarła spory wpływ na organizację cykli nauczania dzieci w systemach edukacyjnych wielu krajów. Wydaje się jednak ona sporym uproszczeniem; być może stosuje się od średniej w populacji w różnych warunkach społecznych i kulturowych. Obserwacje zachowań pojedynczych dzieci, w korzystnym środowisku kulturowym wskazują jednak, że dzieci się zdolne do rozumowania abstrakcyjnego na bardzo wczesnym etapie rozwojowym.

Poniżej parę przykładów.

Paweł (lat 2 ½): „Libka [rybka] ma kol'ce, widelec ma kol'ce, sycy [wszyscy] mają kolce”

Maja (lat 2 ½) rysując najpierw góry o pionowych zębach, później poziome fale morza, rysując spiralę odpowiada na pytanie „Co to jest?” – „Na razie nie wiem!” Rysunek sam w sobie nie oznacza nic – odpowiednia kategoria pojęciowa zostanie mu przydzielona później. Ta sama Maja bawiąc się linkami o różnej długości wprawia je w ruch oscylacyjny a następnie w oscylacje kołowe, jakby sprawdzając zależność okresu wahań od długości linki.

Wydaje się, że umysł ludzki od bardzo wczesnego etapu rozwojowego zaczyna operować *wyobrażeniami* przedmiotów czyli kantowskimi „kategoriami pojęciowymi” a nie tylko konkretnymi przedmiotami. Dzieci na bardzo wczesnym etapie rozwojowym są zdolne do wykonywania/ planowania zadań badawczych, w celu sprawdzenia zależności przyczynowo-skutkowych, które w zaawansowanej pracy naukowej nazywamy prawami fizycznymi.

Poniżej przykład Piotrusia, który w wieku 2 ½ roku samodzielnie (spontanicznie organizując doświadczenie) odkrywa prawo zachowania energii mechanicznej: „kulka puszczonej po równi pod górkę sama wraca!”



Piotruś (niespełna 3 lata) odkrywa prawo zachowania energii: kula puszczonej z równi wraca „samoczynnie”; w rzeczywistości energia potencjalna kuli na początku równi zamienia się w energię kinetyczną w najniższym punkcie równi, po czym ponownie w energię potencjalną na drugim końcu, i tak cyklicznie, prawie jak *perpetuum mobile* (Idea i realizacja ekspozycji GK, Toruń, Festiwal Nauki 2007, fot. A. Karbowski)

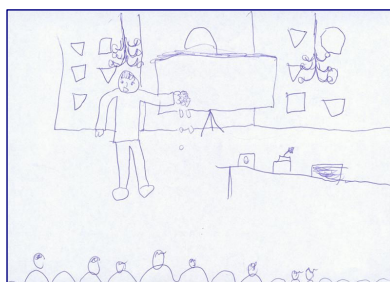
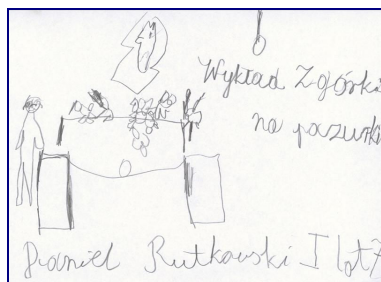
Z (krytyki) teorii rozwoju psychologicznego dzieci Jeana Piageta wynikają ważne wnioski dla praktyki nauczania fizyki na wczesnych etapach rozwojowych. Otóż, ponieważ prawa fizyki istotne są dla najprostszych nawet działań psychomotorycznych, jak chodzenie, skakanie, rzucanie przedmiotów, możliwe jest celowe wykorzystanie prostych doświadczeń i przedmiotów nie tyle do rozbudzania zainteresowania fizyką, co do kreowania ciekawości badawczej, w ogólności. Zadaniem nauczyciela jest jedynie stworzenie dziecku odpowiedniej sytuacji problemowej, wyzwalającej aktywność odkrywczą.

3.8a. Beyond Piaget: fizyka dla dzieci

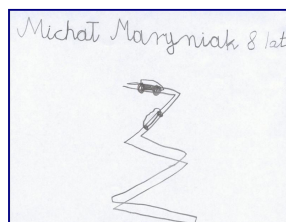
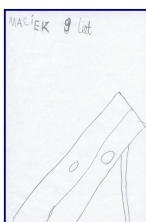
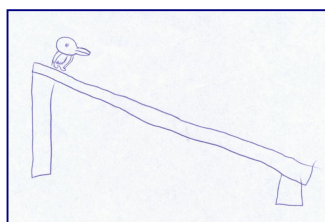
Współczesne środki dostępu do informacji oraz indywidualizacja nauczania wskazują, że dzieci potrafią wyjść poza schematy rozwojowe Jean Piageta. Dydaktyka fizyki na poziomie wczesno-szkolnym jest tego przykładem.

Spore możliwości poznawcze dzieci we wczesnym wieku szkolnym (oraz niedoskonałości powszechnej szkoły) leżą u podstawy sukcesu Uniwersytetów dziecięcych, inicjatywy obecnej od około 10 lat w wielu krajach Europy. Uniwersytety te to dodatkowe zajęcia w soboty i niedziele, dla zainteresowanych dzieci. Inicjatywa jest odpłatna. Szereg pokazów przeprowadzonych przez autora wskazuje na niezwykle wysoką efektywność dydaktyczną interaktywnego, konstruktywistycznego przedstawiania określonych tematów fizycznych. Tematyki te to np. zagadnienia ruchu (z wprowadzeniem pojęcia energii), elektryczność (z wprowadzeniem pojęcia wolta i ampera), dźwięki (analiza harmoniczna) itd.

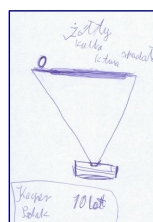
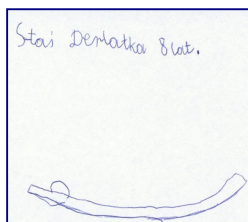
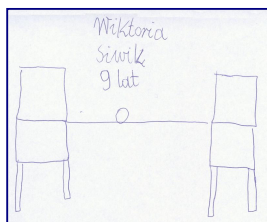
Dzieci 6-letnie w opisach doświadczeń z mechaniki, oglądanych pół roku wcześniej, oddają ich skomplikowany sens fizyczny, a nie tylko zaobserwowane obrazy, jak na rysunkach poniżej. Niektóre z relacji graficznych mają postać „zdjęcia zbiorowego”, ale są one w zdecydowanej mniejszości. Drugą z kolei grupę stanowią rysunki pojedynczych doświadczeń i to wcale nie tych najbardziej widowiskowych. Okazuje się, że dzieci zapamiętują bardzo dobrze *treść pojęciową* doświadczeń. Wreszcie pewna grupa rysunków to jedynie schematy zachodzących procesów, czyli zasadnicza treść prezentowanych *praw* fizycznych.



Weryfikacja rezultatów dydaktycznych wykładu „Z górki na pazurki” – reportaże dzieci przygotowane *ad hoc* po upływie 5 miesięcy. Pierwsza grupa rysunków to „fotografie zbiorowe”, ale nawet na nich można odnotować, że dzieci zauważyły doświadczenia kluczowe, nawet jeśli nie były to doświadczenia spektakularne: Daniel (7 lat) na pierwszym planie przedstawia doświadczenie z „zaczarowaną” kulką, która wtacza się pod górę, niezgodnie z przewidywaniami Arystotelesa.

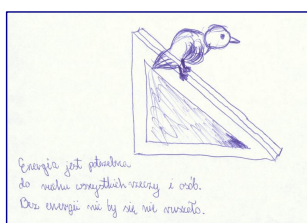
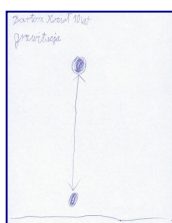
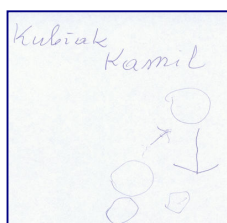


Weryfikacja rezultatów dydaktycznych wykładu „Z górki na pazurki” (cd). Kolejną grupą rysunków są te, odtwarzające doświadczenia kluczowe. a) schodzenie kaczek było ilustracją ruchu jednostajnego; b) staczenie się *kulek* po tej samej równi ilustruje ruch jednostajnie przyspieszony; c) doświadczenie z dwoma samochodzikami o różnych masach ilustruje niezależność przyspieszenia grawitacyjnego od ciężaru ciała.



Weryfikacja rezultatów dydaktycznych wykładu „Z góry na pazurki” (cd). Zaskoczeniem jest, że kilkoro z kilkunastu pytaných dzieci umieściło na rysunkach doświadczenia, które były niezwykle proste i zupełnie niewidowiskowe – kulki na wygiętej równi i w leжку „grawitacyjnym”. Te dwa doświadczenia stanowiły zasadniczą treść wykładu: „Jak energia potencjalna zamienia się w energię kinetyczną i *vice versa*.”

Podkreślamy, że dzieci wykonywały rysunki bez żadnego wcześniejszego instruktażu ani nie były o tym uprzedzone wcześniej: „- Narysuj, co zapamiętałaś z poprzedniego wykładu!”



Weryfikacja rezultatów dydaktycznych wykładu „Z góry na pazurki” (cd). Najwyższą ocenę za umiejętność podsumowania *praw* fizycznych otrzymują trzy powyższe rysunki. Dwa pierwsze przedstawiają *schemat* koncepcyjny doświadczenia ze spadającymi piłeczkami; trzeci, sądząc z charakteru pisma dziewczynki 12-letniej, stanowi najjaśniejsze możliwe podsumowanie treści, która leżała u podstaw wykładu.

Szczególnym zaskoczeniem były rysunki przedstawione powyżej. Dwa pierwsze, dzieci młodszych, pokazują *schematy* *praw* fizycznych spadania i odbijania się piłek. Strzałki nie pojawiły się na wykładzie w żadnej formie, są więc autonomicznym *rozszerzeniem* obserwowanego zjawiska na istniejące wcześniej w zasobie pojęciowym dziecka graficzne sposoby wyrazu. Wreszcie trzecia praca do najkrótsze możliwe streszczenie wykładu, którego ukryty temat mówił właśnie: „Dlaczego ciała spadają, zjeżdżają, podskakują”. Pomijamy w tej ilustracji jedynie kilka rysunków, głównie dzieci starszych, których treścią była zakorzeniona (i poprawna) pre-koncepcja” „Ciała spadają, bo działają na nie grawitacja”.

Niezupełnie zgodnie z teorią Piageta, nawet dzieci w wieku wczesno-szkolnym potrafią uogólniać zaobserwowane zdarzenia, czyli są zdolne do operowania kategoriami abstrakcyjnymi. Oczywiście, te operacje nie mają charakteru skomplikowanych rozumowań, jak w fizyce teoretycznej: dzieci rysują strzałki dla oddania procesu zderzenia, nie mając świadomości, że strzałki te można uogólnić na pojęcie wektora. Z drugiej zaś strony, operowanie tego rodzaju schematami dowodzi, że pojęcie wektora nie jest zbyt trudne. Niepotrzebna może być jedynie jego zbytnia formalizacja: „wektor ma cztery atrybuty – kierunek, zwrot ...”, trudna do zrozumienia nawet dla starszego ucznia.

Zadaniem odpowiedzialnego nauczyciela jest stymulowanie u ucznia jego możliwości samodzielnego zdobywania wiedzy, poprzez właściwe wykorzystanie zdolności – wizualnych, manualnych, słuchowych, pojęciowych, artystycznych, praktycznych itd.

3.9. Konstruktivism i kognitywizm

Dwie szkoły zrewolucjonizowały dydaktykę w drugiej połowie XX wieku. Są to konstruktivism i kognitywizm.

Terminem „konstruktivism” określane są dwa, współbieżne nurty socjologii i filozofii. Wśród twórców konstruktivismu społecznego (*social constructionism*, 1966) wymienia się Bergera i Luckmana²², uważających, że fenomeny świata społecznego są konstruowane we wzajemnych relacjach jednostek, negocjujących wspólnie znaczenia, jakie przypisują własnym i cudzym zachowaniom.

Wspomniany już konstruktivism pedagogiczny Piageta i Vygotsky’ego (*constructivism*), zawęży znaczenie tego słowa do (samodzielnego) konstruowania znaczeń przez ucznia, w procesie interakcji społecznej. Dwa ujęcia konstruktivismu powstawały niezależnie, oba podkreślają wagę interakcji społecznej. W interpretacji St. Dylaka to społeczne konstruowanie w edukacji polega na sprowadzeniu roli nauczyciela do tworzenia pomostów między obszarami wiedzy. „*Edukacja jest w swej istocie budowaniem mostów* - przy tej orientacji szkoła będzie przejmować inną rolę – mniej będzie źródłem informacji zaś bardziej miejscem weryfikacji i systematyzacji i utrwalania wiedzy”²³.

Konstruktivistyczne obszary wiedzy mają być tworzone wspólnie przez ucznia i nauczyciela. Konstruktivism wg St. Dylaka jednakże nie do końca przystaje do współczesnych sposobów *pozyskiwania* wiadomości, z Internetem, telewizjami dydaktycznymi oraz pauperyzacją dziennikarskiego przekazu informacji naukowych. Ilość informacji zdobywanych samodzielnie przez uczniów, nawet we wczesnym wieku szkolnym²⁴ przekracza możliwości efektywnego wykonywania przez nauczyciela funkcji porządkowania wiedzy. *De facto*, zdobywanie wiedzy zamienia się w *self-service* w ogólnoswiatowym supermarkecie, o praktycznie nieograniczonych zasobach. W konstruktivismie, jako modelu samodzielnego, niekierowanego zdobywania wiedzy maleje więc niewspółmiernie autorytet nauczyciela.

Konstruktivism jako preferowaną metodę nauczania deklaruje połowa polskich nauczycieli szkół gimnazjalnych²⁵. Konstruktivism, jak jest on postrzegany w polskiej literaturze przedmiotu, „zakłada, że wiedza jest konstrukcją umysłu ludzkiego i powstaje w wyniku własnej, różnorodnej aktywności podmiotu. Aktywność poznawcza człowieka polega na tym, że zdobywa on, przechowuje, interpretuje, tworzy i przekazuje informacje nadając im pewną subiektywną wartość, sens i znaczenie.”²⁶ Odnajdujemy tu oryginalne znaczenie nadane konstruktivismowi przez Piageta, w jego pracach nad psychologią rozwojową dzieci.

Autorytet, doświadczenie i szeroka wiedza nauczyciela mogą podnieść konstruktivism (społeczny) na wyższy poziom efektywności nauczania. Nie rezygnując z interaktywnego konstruowania wiedzy prawie-samodzielnie w grupie uczniów, nauczyciel powraca do aktywnego sterowania – zadając odpowiednie pytania nakierowuje poszukiwania uczniowskie na optymalną ścieżkę dostępu do wiedzy. Nowe podejście, łączące elementy modnego ostatnio w USA i EU nauczania przez zadawanie pytań (*inquiry-based teaching*), nauczania interaktywnego oraz konstruktivismu nazwaliśmy hyper-konstruktivismem. Przedstawione w poprzednim paragrafie przykłady lekcji z mechaniki zostały zrealizowane właśnie w tej koncepcji: uczniowie samodzielnie konstruują wiedzę, ale nauczyciel pilnie zapobiega dewiacji procesu poszukiwawczego na jałowe tory.

²² P.L. Berger, L.T. Luckman, *Społeczne tworzenie rzeczywistości*, PIW Warszawa 1986

²³ St. Dylak, *Nauczyciel konstruktivistą w szkolnej klasie*, UAM, 1996

²⁴ Zob. G. Karwasz, *Fizyka dla krasnoludków*, http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa_strona/?q=node/171

²⁵ *Creating Effective Teaching and Learning Environments, First Results from TALIS*, OECD 2009

²⁶ A. Kamińska, *Nauki przyrodnicze w edukacji wczesnoszkolnej*, Problemy Wczesnej Edukacji, 2011

Kognitywistyka (ang. Cognitive Science, czyli nauka o poznawaniu) jest nauką, która łączy ze sobą elementy psychologii, teorii poznania, neuropsychologii, nauk komputerowych. Jej przedmiotem są procesy przyswajania i przetwarzania informacji przez umysł człowieka a możliwymi zastosowaniami procesy sztucznej inteligencji. „Rewolucja kognitywna, tak jak była oryginalnie pomyślana, wymagała wirtualnie, aby psychologia połączyła swe siły z antropologią i lingwistyką, filozofią i historią, a nawet z dyscyplinami prawniczymi”²⁷ – pisze jeden z twórców kognitywistyki, Jerome Bruner (ur. 1915).

Kognitywistyka zajmuje się ogólnie procesami myślenia, a nie jedynie uczenia się. „Oto centralna hipoteza nauk kognitywnych: Myślenie może być najlepiej zrozumiane jako struktury reprezentujące w umyśle i procedury obliczeniowe przetwarzające te struktury.”²⁸ Reprezentacja to coś więcej niż kategoria pojęciowa – to przedmiot lub idea, obudowana w umyśle człowieka skojarzeniami, przypisana do pamięci, wywołująca określone emocje. Jak pisze P. Thagard, to nie nazwa campusu uniwersyteckiego lecz jego plan graficzny, historia mojego zamieszkania, moje miejsce studiów itd. stanowią pełną reprezentację pojęcia „campus”. Operacje na reprezentacjach to procedury, jakim są obiekty w umyśle poddawane. Przykładowo, jest wiele sposobów dodania w umyśle 13 + 28. Można dodać cyfrę po cyfrze, można do 28 dodać 3 i powiększyć wynik o dziesięć, można do 38 dodać 3. O ile ten najprostszy przykład daje kilka możliwości, w bardziej skomplikowanych operacjach umysłowych wariantów jest mnóstwo.

Następujące stwierdzenie J. Brunera stosuje się do nauczania fizyki. „Dobry nauczyciel to ten, który potrafi konstruować zadania (lub lepiej, dostarczać uczniowi niezbędnego doświadczenia), z których wynikają natychmiast i z absolutną bezwzględnością odpowiednie przedstawienie, tak jak upadek buta na podłogę na piętrze nad nami implikuje koniecznie upadek drugiego buta. Kiepski nauczyciel natomiast przygotowuje sekwencje tak zagmatwane, że jedynie geniusz potrafiłby zdać spójną relację, co nauczyciel chciał pokazać”²⁹

Skojarzenie kognitywistyki z *neuroscience*, przy zastosowaniu bardzo nowoczesnych metod detekcji słabych pól magnetycznych pozwoliło na przykład zdiagnozować problem dysleksji. To nie jest nieumiejętność rozpoznawania symboli graficznych, ani kojarzenia tych symboli z fonemami, ani nieumiejętność artykulacji głosowej fonemów. Okazuje się, że część mózgu odpowiedzialna za operacje na symbolach jest elektrycznie dość odległa od ośrodków artykulacji mowy (umiejętność czytania nie została nam dana przez ewolucję).

U dzieci normalnych sygnał rozpoznanie litery przez około 40 μs błądzi po swego rodzaju linii opóźniającej, tak aby ośrodek mowy zdołał się w tym czasie uaktywnić. U dyslektyków ta linia opóźniająca jest wyłączona. To nie dyslektycy są powolni w czytaniu, ale dzieci normalne! Niestety, brak pętli opóźniającej dezorganizuje sekwencję i dzieci dyslekcyjne gubią się w czytaniu. Receptą nie jest przyspieszenie ich operacji umysłowych, ale ich celowe, precyzyjne i rytmiczne *spowolnienie*.

Kognitywistyka powstała w okresie budowania pierwszych komputerów do użytku cywilnego i jej osiągnięcia służą nie tylko w naukach humanistycznych ale przede wszystkim do tworzenia sztucznej inteligencji. Lekcja dla dydaktyka z metodologii i przedmiotu badań kognitywistyki jest następująca: nie można żadnej z operacji umysłowych wykonywanych przez ucznia uznać za aberrację; wszystkie z nich mają za przyczynę ugruntowane, z jakiś powodów, procedury operacyjne w umyśle ucznia. Dobry nauczyciel, w warunkach komfortu pracy, byłby w stanie odszukać źródło tych procedur i je skorygować.

²⁷ J. Bruner, *Act of Meaning*, Harvard University Press, 1991, str. 3, tłumaczenie autora

²⁸ P. Thagard, *Mind. Introduction to Cognitive Science*, MIT Press, 2005 str. 11, tłum. autora, <http://books.google.pl/books?id=gjcR1U2HT7kC>

²⁹ J. Bruner, *On Knowing. Essays for the Left Hand*, Harvard University Press, 1964, str. 129, tłum. autora

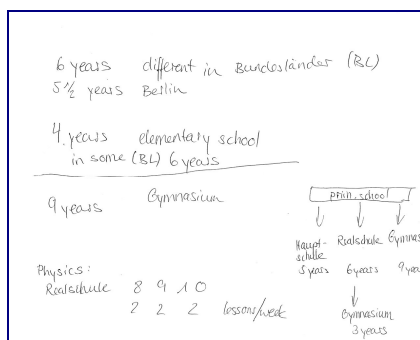
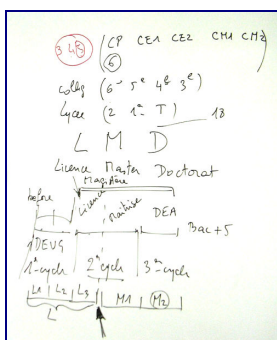
IV. Organizacja szkolnictwa

4.1. Systemy edukacyjne we współczesnej Europie

Narodowe systemy edukacyjne podlegają ustawicznym zmianom dostosowując struktury do zmieniających się wymogów rozwoju kulturowego i ekonomicznego. Niektóre cechy pozostają jednak dla Europy wspólne i wynikają z przedstawionych w poprzednim rozdziale tradycji dydaktyki, pedagogiki, a także demokracji. Zaliczyć do tych wspólnych cech należy w miarę jednolite treści nauczania i powszechność dostępu do wiedzy, ale skójarzoną też z selektywnym kształceniem elit narodowych oraz różnorodnością organizacyjną szkół.

Porównanie systemów oświatowych jest o tyle trudne, że przy obserwacji systemów „od wewnątrz” dominuje spostrzeganie wad i tu się odzwierciedla (pozytywnie) diagnostyczna rola dydaktyki. Obserwacja „z zewnątrz”, przez różnego rodzaju międzynarodowe testy efektów nauczania, też nie zapewnia obiektywności. Tak napisał w kwestii testów PISA porównujących poziom gimnazjalistów polski ekspert przy OECD: „Wyniki są uderzające. O ile ogólne średnie wyniki polskich uczniów podniosły się znacznie, różnica między uczniami szkół zawodowych i innych typów szkół pozostała prawie taka sama a nawet pogłębiła się dla 17-latków. Tak więc stratyfikacja polskich uczniów w systemie starej szkoły średniej pozostaje pod nową nazwą w wyższej szkole średniej³⁰.”

Poniżej porównujemy dwa sposoby widzenia systemu edukacyjnego – subiektywny, przez wykładowców uniwersyteckich, oraz wybrane statystyki międzynarodowe.

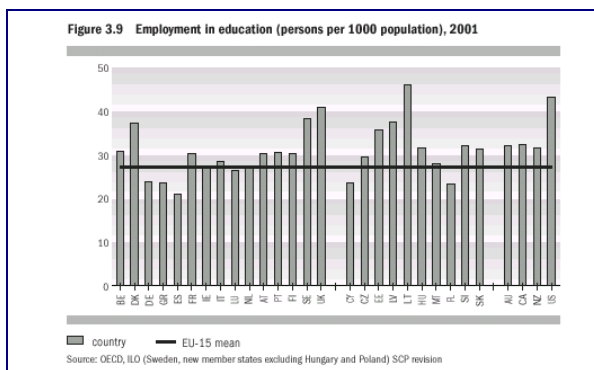


Struktura systemów edukacji widziana „od wewnątrz”, tj. w relacji wykładowców uniwersyteckich danego kraju. 1) system francuski, z 5-letnią szkołą podstawową, 4-letnim *college* i 2-letnim liceum. 2) system niemiecki z 4-letnią szkołą podstawową i 9-letnim gimnazjum. Materiały własne autora.

Mimo różnorodności porównań „od wewnątrz”, wszystkie z nich wskazują na krótką 4-5 lat szkołę podstawową, wiek skolaryzacji 5-6 lat i kilkuletnie gimnazjum (9 lat w RFN). We Francji krótkie liceum jest uzupełnione przez prywatne *ecole preparatoire*, zazwyczaj dwuletnie, które stanowią *de facto* niezbędny stopień przygotowawczy do zdania egzaminów wstępnych na elitarne *Ecole Centrale* i paryska *Ecole Normale*. Z tej ostatniej, liczącej w klasie *science*, tj. na kierunkach matematyka, fizyka, astronomia, biologia, geologia – łącznie 100 studentów na roku, wywodzi się większość kadry wszystkich francuskich wyższych uczelni na kierunkach ścisłych. Podobnie większość (2/3) kadry zarządzającej francuskiego przemysłu wywodzi się z paryskiej *Ecole Centrale*. Pozorna więc powszechność

³⁰ M. Jakubowski, H. A. Patrinos, E. E. Porta, J. Wiśniewski, The Impact of the 1999 Educational Reform in Poland, OECD Working Paper Np. 49, OECD Directorate for Education, EDU/WKP(2010)12 www.oecd.org/pisa/pisaproducts/45721631

wykształcenia, niestety w liceum o bardzo krótkim cyklu programowym, jest uzupełniania przez *elitarny* dostęp do najlepszych uczelni. Podobne koncepcyjne systemy, mimo pewnych różnic organizacyjnych, istnieją w Wielkiej Brytanii i USA.



Porównania międzynarodowe systemów edukacji - zatrudnienie w szkolnictwie w 2001 roku; w Polsce jest ono niższe o około 30-40% niż w Wlk. Brytanii, USA, w Szwecji i na Litwie. Źródło: OECD.

Systemy szkolne we wszystkich krajach mają swoje obiektywne wady, ale i elementy wzorcowe. We włoskim systemie najsłabszym elementem jest 3-letnie gimnazjum, ale 5-letnie liceum wyróżnaje powstałe zaległości. Program nauczania w liceum, nawet w klasach o profilu humanistycznym (*liceo classico*) obejmuje 11 godzin matematyki w cyklu, zob. zestawienie poniżej.

ARVESCOVILLE
COLLEGE
1917

SCUOLA CATTOLICA
LICEO - GINNASIO ARVESCOVILLE
'Paragieto Imperial-regio Decr. 25 genn. 1906)

DURATA DEGLI STUDI: 5 anni
TITOLO CONSEGUITO: Diploma di Maturita' Classica
PROSEGUITO DEGLI STUDI: Tutte le facoltà Universitarie

ORARIO SCOLASTICO: 7.55 - 12.20

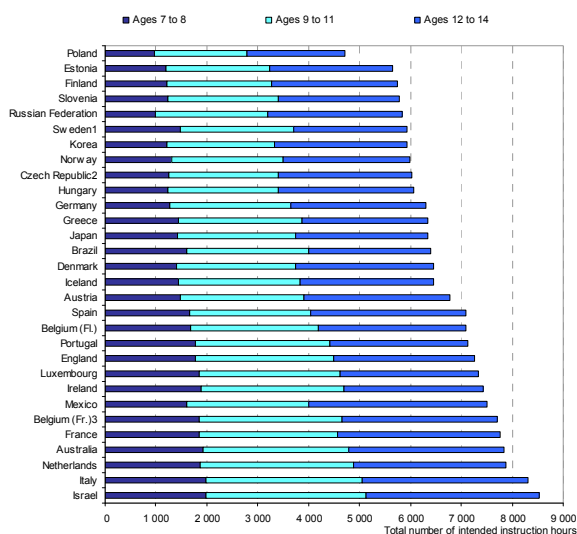
	IV	V	I	II	III
Religione	2	2	2	2	2
Lingua e Letteratura Italiana	5	5	4	4	4
Lingua e Letteratura Latina	5	5	4	4	4
Lingua e Letteratura Greca	4	4	3	3	3
Lingua e Letteratura Tedesca	4	4	-	-	-
Lingua e Letteratura Inglese	2	2	-	-	-
Storia	2	2	3	3	3
Geografia	2	2	-	-	-
Filosofia	-	-	3	3	3
Matematica	2	2	3	2	2
Fisica	-	-	-	2	3
Scienze Naturali, chimica, geografia (e laboratorio)	-	-	5	4	2
Storia dell'arte	-	-	1	1	2
Educazione Fisica	2	2	2	2	2
Totale ore settimanali	30	30	30	30	30

Wszechstronne porównanie systemów edukacyjnych wskazuje, że w każdym z rozwiniętych krajów UE tworzą one systemy *spójne*. System niemiecki oparty jest o 9-letnie gimnazjum i silne szkolnictwo zawodowe, system francuski z 2-letnim liceum i *ecole preparatoire* ukierunkowany jest na kształcenie elit intelektualnych, system włoski z 5-letnim liceum zapewnia bardzo dobre przygotowanie ogólne, słabsze natomiast przygotowanie akademickie. Zalety/wady systemów edukacyjnych znajdują odbicie w działaniu systemów ekonomicznych i ich konkurencyjności na międzynarodowym rynku podziału pracy.

4.2. System szkolnictwa w Polsce

System szkolnictwa w Polsce został określony przez reformę zapoczątkowaną w 1997 roku, w okresie gdy ministrem edukacji był prof. Handke, geolog z Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Ideą reformy było uwolnienie programowe oraz rozbieżność 8-letniej szkoły podstawowej na dwa oddzielne cykle, przypominające włoski system z 1929 roku (okres rządów Mussoliniego, reforma ministra Gentiliego, profesora uniwersyteckiego filozofii).

Reforma wynikała ze zmian przygotowujących gospodarce i system prawno-organizacyjny do wejścia Polski do UE. Deklarowanym celem było wydłużenie obowiązkowego (ale i jednolitego) cyklu nauczania do lat 9-ciu (stąd gimnazjum) oraz zapewnienie pluralizmu kulturowego. Efektem zmiany cyklu nauczania było znaczne poprawienie wyników testów międzynarodowych: uczestniczyli w nich uczniowie jednolitego cyklu, a nie zróżnicowani na szkoły zawodowe i ogólnokształcące, jak poprzednio.



Ilość godzin szkolnych w przedziale 7-14 lat w zestawieniu OECD 2010.

Źródło: „Education at a Glance 2010: OECD Indicators”

http://www.oecd.org/document/52/0,3746,en_2649_39263238_45897844_1_1_1_1.00.html#4962010071P1G021.XLS

Niestety, jak to wynika z zestawień OECD, zmiany organizacyjne nie wiążą się ze zwiększonymi nakładami na edukację, również w kategoriach ilości godzin szkolnych. W zestawieniu ilości godzin szkolnych w przedziale wiekowym 7-14 lat Polska zajmuje ostatnie miejsce wśród porównanych 30 krajów OECD.

Deklarowany pluralizm programowy doprowadził natomiast do dość paradoksalnych realizacji. Szkoły prywatne i tzw. społeczne nie odniosły spodziewanego skutku edukacyjnego, tak na skalę lokalną jak krajową. Dopiero w ostatnich latach w szerszy sposób zaistniały w Polsce szkoły katolickie (w Austrii stanowią one 40% wszystkich szkół). Czołowe miejsca w rankingach zajmują od lat te same licea, o ugruntowanych tradycjach, z dużych miast, jak Gdynia, Szczecin, Warszawa, Toruń (w tym ostatnim Liceum przy UMK).

Za porażkę reformy należy uznać kwestię pluralizmu *treści* nauczania. *De facto* zamienił się on w walkę firm wydawniczych o klienta; w powszechnej opinii jakość podręczników ma

znacznie mniejsze znaczenie niż działania marketingowe wydawców. Pokazujemy to na wybranych przykładach prezentacji treści z fizyki. Lekcje elektromagnetyzmu z dwóch podręczników różnych wydawców, w porównaniu z przedstawionymi poprzednio podręcznikami niemieckim i francuskim, w polskim wydaniu są przeładowane szczegółowymi treściami, luźno jedynie służącymi do *konstruowania* koncepcji w umyśle ucznia.

I. Rodzaje oddziaływań w makro- i mikroświecie. Pola sił

że elektryczność i magnetyzm nie tylko wzajemnie z siebie wykluczają, ale są różnymi przejawami tej samej grupy zjawisk, którym nadaliśmy wspólną nazwę **zjawisk elektromagnetycznych**.

1.4. Elektryczność i magnetyzm – pojęcia względne

Wspomnieliśmy już, że w początkowym okresie poznawania zjawisk elektrycznych i magnetycznych uważano, że pole magnetyczne, podobnie jak elektryczne, ma swoje źródło – ładunki magnetyczne¹. Jak pamiętamy pozostawia tych ładunków spędył jednak na niczym. Natura materiałów magnetycznych posiadała natomiast, aż do czasu, kiedy tu Ampère wykonał opisane wcześniej doświadczenie. Wywnioskował on wówczas hipotezę: w materiałach magnetycznych **mnądy do czyszenia i niestanie krążące prądy elektryczne**. To właśnie te mikroprądy odpowiadają za właściwości magnetyczne substancji.

DOKŁADNIEJ

Wyobraźmy sobie ładunek q , który przemieszcza się z prędkością v równoległe do przewodnika, w którym płynie prąd o natężeniu I . Znajdując się w przewodniku swobodnie elektryczny, tzw. elektrony przewodnictwa, drążą w nim z prędkością \vec{v} (rysunki poniżej). Dla ułatwienia rozważań, założymy, że prędkość drążki elektronów i prędkość ładunku q są takie same: $\vec{v}_q = \vec{v}$. Łatwo zauważyć, że mówiąc o prędkości ładunku oraz prędkości elektronów, przejść musimy składowe odniesienia związane z przewodnikiem, w którym umieszcziliśmy obserwatora. Układ ten będziemy nazywać **laboratoryjnym**. Tam bowiem umieszczamy obserwatora, gdy ładunek q ładunków podczas doświadczeń laboratoryjnych.

W tym układzie odniesienia zaobserwujemy, że na ładunek q będzie działał jedynie siła Lorentza \vec{F}_L (Rys. a), związana z ruchem tego ładunku w polu magnetycznym \vec{B} , wytworzonym przez prąd przepływający w przewodniku ($\vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B}$). Jeśli ładunek q będzie spływał wzdłuż przewodu skierowany w stronę przewodnika (Rys. a). Obserwator w układzie laboratoryjnym wycaśnie wniosek, że ładunek q będzie przez przewodnik przyciągany, a przyczyną działania na niego siły jest fakt, że porusza się on w polu magnetycznym. W układzie laboratoryjnym pole elektryczne \vec{E} wokół przewodnika będzie równe zero, gdyż dla obserwatora związanego z przewodnikiem, przewodnik ten jest elektrycznie obojętny. Wynika to z faktu, że całkowity ładunek dodatni i ujemnych jonów, rozróżnionych równoważenie w metale, jest taki sam, jak całkowity ładunek ujemny elektronów przewodnictwa.

137

II. Od świata w skali mikro do makroświata

1.3.2. Pole magnetyczne

Pole magnetyczne nie poddaje się łatwej analogii z polami grawitacyjnym i elektrycznym, nie istnieje bowiem „masa magnetyczna”, która mogłaby być jego źródłem. Wprawdzie magnesy trwale oraz ziemskie pole magnetyczne były znane od najdawniejszych czasów, jednak dopiero badania doświadczalne, wykonane w XVIII i XIX wieku (Rozdz. 1.4.) pokazały, że **przyczyną powstania tego pola jest ruch nadełowanych cząstek**.

Już bardzo dawno temu zawiązano zawiązującą właściwości pewnych minerałów. Wskazywane z nich szkiełki, umieszczone na płytkach drewnianej, zawsze wskazywały te same kierunki. Właściwość tę wykorzystywali starożytni Chłircy, budując na niej przelotnie mieszkalni Ewropy pierwszej kompanii. Nazwa magnesy pochodzi, jak napisal rymski powie Labejczak (65-53 p.n.e.) od nazwy miotawcowce Magnesia, gdzie wydobywano ten mineral (magnetyt). Bardzo dawno stwierdzono również, że magnesy mają charakter biegunowy oraz wykazują pomiędzy sobą „oddziaływanie na odległość”. Nie zawiązono natomiast oddziaływań pomiędzy sprężystymi „wzajemnie siebie” magnetycznymi i ładunkami elektrycznymi.

W roku 1820 Hans C. Oersted (1777-1851) odkrył niezwykle interesujące zjawisko. Zauważył, że prąd płynący w przewodniku zmienia ustawienie umieszczonej w pobliżu igły magnetycznej. Teraz trudno już dobrać, czy był to przypadek, czy element zaplanowanego eksperymentu, niemniej drżki temu doświadczeniu po raz pierwszy stwierdzono, że **przebiegły prąd elektryczny w przewodniku tworzy powstanie wokół niego pola magnetycznego**. Wskazywał na tym odkrycia fizyk francuski André Marie Ampère (1775-1836) wykazał, że pole to ma charakter siły (Rys. 1.11.). Udowodnił także, że wokół prądu elektrycznego, powstaje pole magnetyczne podobne do pola magnesu trwałego. Ponieważ prąd elektryczny związany jest z przepływem ładunków, eksperymenty pozwoliły na wywiczenie ciego ogólnego wniosku: **pole magnetyczne powstaje w wyniku ruchu ładunków elektrycznych, np. elektronów wewnątrz przewodnika**.

Tak więc sprężystość Oersteda doprowadziło do powstania nowego działa fizyki, zwanego elektromagnetyzmem.

Zauważono również, że na każdą cząstkę nadełowaną, poruszającą się w polu magnetycznym, które to przecina linii pola, działa siła nazywana **magnetyczną siłą Lorentza**. Siła ta ma największą wartość wówczas, gdy tor cząstki jest prostopadły do linii tego pola. W przypadku gdy cząstki nadełowane poruszają się w przewodniku (prąd elektryczny), siłę tę nazywamy **siłą elektrodynamyczną**. Związaniem tej siły poruszała Faraday i zbudował w 1832 roku tzw. rotator – pierwowzór silnika elektrycznego.

134

Dwa przykłady podręczników do elektromagnetyzmu do liceum. W obydwu uderza nadmiar formalizmu oraz brak usieciowań interdyscyplinarnych i intersektorowych wiedzy.

Sposobem na ujednolicenie treści nauczania jest wprowadzona w 2012 roku Podstawa Programowa MEN. Niestety i ta, w opinii ekspertów, obniża kolejny raz wymagania stawiane uczniom. Szczególnie krytycznie należy ocenić wprowadzenie enigmatycznego przedmiotu o nazwie „Przyroda”, który dokładnie odwrotnie niż w Wielkiej Brytanii, zastępuje fizykę, chemię, biologię w ostatnich klasach liceum. Tak układ treści, zob. przykład poniżej, jak brak mitycznych metodycznych i brak przygotowanych nauczycieli stanowi poważne zagrożenie dla jakości nauczania.

C. Nauka wokół nas	17.1	17.2	17.3	17.4
17. Uczenie się	17.1	17.2	17.3	17.4
18. Barwy i zapachy świata	18.1	18.2	18.3	18.4
19. Cykle, rytmy i czas	19.1	19.2	19.3	19.4
20. Śmiech i płacz	20.1	20.2	20.3	20.4
21. Zdrowie	21.1	21.2	21.3	21.4
22. Piękno i uroda	22.1	22.2	22.3	22.4
23. Woda – cud natury	23.1	23.2	23.3	23.4
24. Największe i najmniejsze	24.1	24.2	24.3	24.4

Wybrane treści przedmiotu „Przyroda” w liceum według Podstawy Programowej MEN. Rubryki pionowe oznaczają aspekty fizyczne, chemiczne, biologiczne i geograficzne danego zagadnienia.

Reasumując, system szkolnictwa w Polsce pozostaje nadal (2014) zbiorem różnych kategorii podmiotów, słabo ze sobą współpracujących, szkoła jest oceniana w sposób formalny, brak dyskusji o formach i treściach, a dydaktyki przedmiotowe z trudem torują sobie drogę między formalizmem akademickim a codziennym pragmatyzmem działań pojedynczego nauczyciela.

4.3. Zadania dydaktyki w reformujących się systemach edukacji

Od ostatniej rewolucji naukowej, teorii kwantów i teorii względności minęło dopiero 100 lat, a już nowa rewolucja wykluwa się w kosmologii, teorii cząstek elementarnych i fizyce ciała stałego. Może okazać się konieczne, za 20 lat napisanie zupełnie nowych podręczników.

To tempo zmian uczy nowego podejścia do dydaktyki przedmiotowych: „tak, to prawda, ale za kilka lat może okazać się kompletnie zmienione”. Stosunek nauczyciela do przedmiotu (i swojej własnej wiedzy) powinien pozostawać cały czas krytyczny. Do przewidywania przyszłości potrzebna jest wiedza o przeszłości. Nowoczesne nauczanie dydaktyki musi więc porównywać przeszłe i obecne idee danej dziedziny naukowej i uwypuklać problemy otwarte i niejasne. Nauczyciel musi dysponować zarówno szeroką wiedzą przedmiotową jak wachlarzem rozwiązań metodycznych: środków, metod, pomocy dydaktycznych.

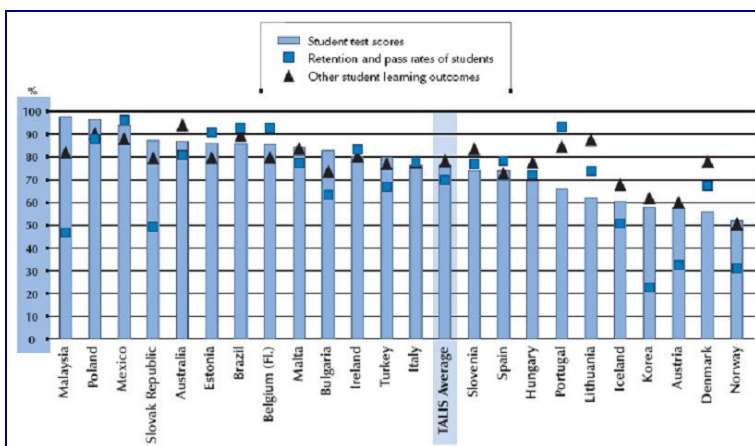
Takie rozwiązania proponują systemy oświaty w wielu krajach UE: nauczycielom zostają przydzielone nowe zadania dydaktyczne ale jednocześnie dostarczone nowe metody. Wiele z tych metod, jak multimedia i komputery w laboratoriach przyrodniczych są wspólne dla różnych dydaktyk przedmiotowych; stąd konieczność interdyscyplinarności dydaktyki nauk przyrodniczych.

Taką interdyscyplinarność uwzględniają proponowane na XXI wiek programy nauczania, np. w Wielkiej Brytanii, zob. zestawienie poniżej. W swoistych minimach programowych w zakresie *Science* nie ma podziału na chemię, fizykę, astronomię; punktem wyjścia rozważań jest struktura materii, jej cechy chemiczne i fizyczne, cykle chemiczne życia. Z zakresie fizyki omawiana jest energia, promieniotwórczość i promieniowanie elektromagnetyczne. Brak odniesień do „klasycznych” tematów fizyki, jak newtonowska dynamika, galileuszowa kinematyka itd. Propozycje te należy uznać za odpowiadające zmianom w zewnętrznym dla ucznia świecie informacji oraz zmianom w społecznej percepcji nauki.

SE1	Chemicals (the idea of a “substance”)
SE2	Chemical change (the atomic/molecular model)
SE3	Materials and their properties (linking structure and function)
SE4	The interdependence of living things
SE5	The chemical cycles of life
SE6	Cells as the basic units of living things
SE7	Maintenance of life
SE8	The gene theory of inheritance
SE9	The theory of evolution by natural selection
SE10	The germ theory of disease
SE11	Energy sources and use
SE12	The idea of radiation
SE13	Radioactivity
SE14	The structure and evolution of the Earth
SE15	The structure of the Solar System
SE16	The structure and evolution of the Universe

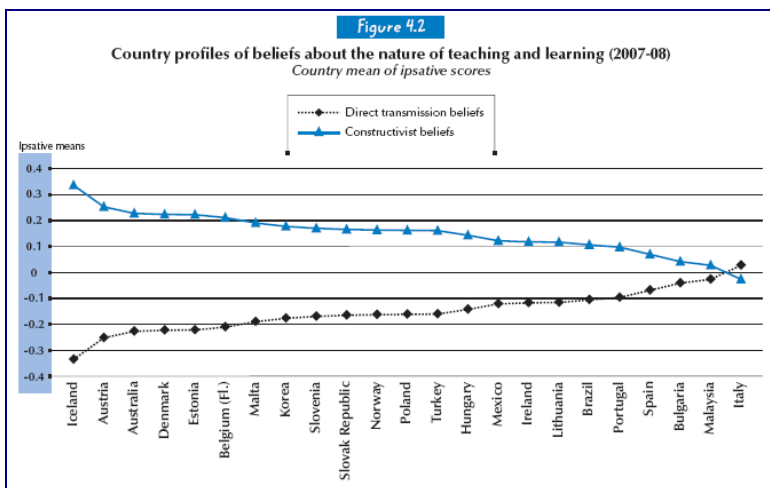
Źródło: R. Millar, *Twenty First Century Science: Insights from the Design and Implementation of a Scientific Literacy in School Science*, Int. J. Science Education, No. 3, 2011

W zakresie metod i organizacji szkolnictwa kraje przodujące wśród gospodarek światowych, Norwegia, Dania, Austria, Korea charakteryzują się zdecentralizowanym, demokratycznym sposobem zarządzania szkołą, zob. kolejne zestawienie. W zestawieniu tym, klasyfikującym systemy edukacji według metod oceny jakości nauczania (testy ocen uczniów, stopień promocji do klasy następnej, inne formalne metody oceny jak np. wyniki olimpiad) Polska plasuje się wśród krajów o najmniej elastycznym systemie oceny jakości nauczania, między Malesją a Meksykiem.



Kryteria oceny szkół (2007-2008): testy osiągnięć ucznia (słupki), ilość uczniów repetujących (kwadraty), inne wyniki uczniowskie, np. olimpiady (trójkąty). Polska zajmuje miejsce na początku stawki i to we wszystkich trzech kryteriach. Źródło: Raport TALIS, OECD 2009

Demokratyzacji systemów edukacji muszą towarzyszyć zmiany w indywidualnych postawach nauczycieli. Powszechnie postrzeganą jako tendencja pozytywna jest orientacja nauczycieli na działania konstruktywistyczne, zob. następane zestawienie.



Deklarowane postawy dydaktyczne nauczycieli. Źródło: Raport TALIS, OECD 2009

Większość polskich nauczycieli deklaruje postawy konstruktywistyczne; spore jest też zainteresowanie nowymi technikami nauczania oraz nasycenie środkami informatycznymi, tak uczniów jak szkół. W pozytywny sposób odróżnia to polską szkołę od tradycyjnych bardzo programów i form nauczania, np. we Włoszech. Pozytywne nastawienie polskich nauczycieli powinno jednak znaleźć pomoc w działaniach poza-szkolnych instytucji, jak centra nauki, ośrodki doradztwa metodycznego i wyższe uczelnie.

V. Miejsce fizyki wśród innych nauk

5.1. Fizyka jako nauka o Naturze

Starożytni grecy, od początku udokumentowanej filozofii, zajmowali się poszukiwaniem elementów pierwotnych w otaczającym świecie. Arystoteles w swojej „Fizyce” rozważał głównie zagadnienia ruchu ciał. Za przedmiot fizyki uważał on wszelką materię, a nawet więcej – Naturę, w odróżnieniu od nauki o bytach niepoznawalnych za pomocą zmysłów, którą to naukę nazwano poza-fizyką, czyli Metafizyką. Sam Arystoteles uważał optykę, harmonię i astronomię za nieco bardziej fizyczne dziedziny matematyki.³¹ W innym miejscu pisze: „Trzy są więc dziedziny filozofii teoretycznej: matematyka, fizyka i teologia.”³²

W średniowieczu na siedem sztuk wyzwolonych, dających tytuł magistra i pozwalających na studia uniwersyteckie prawa, medycyny lub teologii składały się:

- *trivium* (gramatyka, dialektyka, retoryka)

- *quadrivium* (arytmetyka, geometria, muzyka, astronomia).

Fizyka zaczęła wyodrębniać się z astronomii jeszcze w średniowieczu, w pracach wspomnianych J. Buridiana, Witelona, Rogera Bacona (Oxford, 1210?-1294). Ten ostatni był prekursorem przyrodonoznawstwa doświadczalnego: „Dwa są sposoby poznania, mianowicie przez argumentację i przez doświadczenie. Argumentacja prowadzi do wniosków, zmusza do ich wyciągania, ale nie daje pewności, nie usuwa wątpliwości. Umysł zaspokaja się jedynie oglądając prawdę, a do oglądania prawdy może dojść tylko w drodze doświadczenia. Bez doświadczenia niepodobna nic wiedzieć w dostateczny sposób.”³³ Jednocześnie Bacon podkreślał rolę matematyki w poznaniu: „Niepodobna znać rzeczy tego świata, jeśli się ich nie zna matematycznie”.

Wśród myślicieli średniowiecznych istotnych dla powstania nowoczesnego sposobu rozumowania naukowego, w tym dla fizyki, należy wymienić Wilhelma Ockhama (ok. 1300-1350), autora komentarza do „Fizyki” Arystotelesa. Ockham sformułował słynną zasadę, zwaną od jego imienia „brzytwą”: nie należy mnożyć bytów ponad konieczność.

Zasada brzytwy Ockhama znajduje odzwierciedlenie w ewolucji pojęć w fizyce. Pojęcia, pozornie wygodne jak ciepik (płyn transportujący ciepło) czy eter, są z zestawu pojęć fizyki usuwane, jak tylko okaże się (doświadczalnie lub teoretycznie), że nie są niezbędne. Jednym w kryteriów oceny idei fizycznych jest ich prostota.



W tym sensie, nawet teoria kwarków poddawana jest *epistemologicznej* krytyce. „Jeśli uświadomimy sobie, że do wyjaśnienia świata potrzebne są trzy generacje po dwa kwarki i dodatkowo trzy leptoni, z ich antycząstkami, osiem glonów, cztery bozony pośredniczące (W^+ , W^- , Z^0 , H), foton, 3 neutrina, to zaczynam tęsknić za filozofią Greków z ich czterema żywiołami – ziemią, wodą, powietrzem i ogniem” napisał jakiś czas temu redaktor „Scientific American”. Rysunek pochodzi z książki prof. A. Górala *Meandry fizyki*, MON, 1982

³¹ „Podobne dowody są dostarczane przez bardziej fizyczne dziedziny matematyki, jak optyka, harmonia, i astronomia. Te w pewnym stopniu są przeciwieństwem geometrii. O ile geometria bada linie fizyczne ale nie jest sama fizyką tak optyka bada linie matematyczne, ale nie jest ani fizyką ani matematyką.” Arystoteles, *Physics*, <http://books.google.pl/books?id=zd6x13pmiWoC>, str. 28, tłum. autora

³² Arystotele, *Metafisica*, Bompiani, R. S. S. Libri, Milano, 2004, str. 283, tłum. autora

³³ Za R. Tatarkiewicz, *Historia filozofii*, op. cit. , t. I, str. 256

Współczesne rozumienie zakresu przedmiotowego fizyki ograniczamy do przyrody nieożywionej. Tak wprowadzamy fizykę w I tomie „Toruńskiego po-ręcznika do fizyki”³⁴ dla gimnazjalistów: wychodząc od definicji fizyki jako nauki o zjawiskach odwracalnych.

Fizyka jako nauka

1.1 Zjawiska fizyczne

Czym zajmuje się fizyka? Odpowiadając, że zjawiskami „fizycznymi” popielniamy błąd logiczny zwany *tautologią*, czyli wyjaśnianiem pojęcia przez to samo pojęcie jak w stwierdzeniu, że w skład masła wchodzi masło (82%, sprawdź!) i woda.

Za zjawiska fizyczne tradycyjnie uważało się te, które nie prowadzą do żadnej zmiany oddziałujących *substancji*. Innymi słowy, zjawiska fizyczne to zjawiska powtarzalne i zazwyczaj odwracalne. I tak na przykład, dwie zderzające się piłeczki, stygnięcie herbaty w szklance, zaćmienie Słońca to zjawiska fizyczne. Piłeczki (o ile elastyczne) nie zmieniają ani kształtu, ani koloru po zderzeniu, zimną herbatę można ponownie podgrzać, a zaćmienie Słońca obejrzeć ponownie za kilka lat.

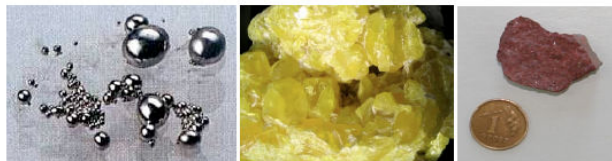
Nie jest tak w przypadku tzw. zjawisk *chemicznych*, zmieniających własności reagujących substancji. I tak, wymieszanie metalicznych kropelek rtęci z żółtym proszkiem siarki prowadzące do powstania czerwonego siarczku rtęci to zjawisko *chemiczne*. Stopienie siarki lub rosnący słupek rtęci w termometrze 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*.

Przytoczmy kilka *procesów* czyli zmian, jak reakcje chemiczne, stygnięcie, parowanie.

1° Po pierwsze, reakcje chemiczne są również odwracalne: np. wodorotlenek wapnia (czyli tzw. wapno gaszone) w zaprawie murarskiej powoli wiąże dwutlenek węgla z powietrza, zamieniając się w węglan wapnia. Z kolei węglan wapnia (czyli skala zwana „wapieniem”) podgrzany do 1100° C uwalnia dwutlenek węgla i zamienia się w tlenek wapnia (wapno palone), który z kolei wymieszany z wodą daje wodorotlenek wapnia (wapno gaszone), który w zaprawie murarskiej ponownie wiąże dwutlenek węgla z atmosfery i zamienia się z powrotem w węglan wapnia itd., itd. Podobne procesy planuje się wykorzystać do magazynowania pod ziemią spalin z elektrowni, celem zredukowania efektu cieplarnianego.



Fot. 1.2 Rtęć utarta z siarką daje szary siarczek rtęci - jest to przykład procesu *chemicznego*, naturalny siarczek rtęci, cynober jest różowy.

Ta definicja wyraźnie rozgranicza chemię i biologię od fizyki, mimo że dziś wiele dziedzin naukowych wzajemnie na siebie „zachodzi”. Co więcej, któryś z noblistów z chemii czy medycyny powiedział, że fizycy tworzą znakomite narzędzia badawcze, które później wykorzystywane są przez inne sektory nauki i praktyki.

³⁴ G. Karwasz, M. Sadowska, K. Rochowicz, *Toruński po-ręcznik do fizyki. Mechanika. Gimnazjum I klasa*, Wyd. Nauk. UMK, 2010.

Zawężenie fizyki do zjawisk odwracalnych i świata nieożywionego nie jest jednak jednoznaczne.

2° Po drugie, nie wszystkie procesy fizyczne są *odwracalne*. Wymieszanie litra wody ciepłej z litrem wody zimnej daje dwa litry wody letniej, ale ponowne ich rozdzielanie nie jest możliwe. Gorąca szklanka herbaty, stygnąc, ogrzewa (choć bardzo niewiele) powietrze w kuchni, ale letnie powietrze z kuchni nie podgrzeje wody w szklance do wrzenia. Wszechświat się rozszerza, a przy tym stygnie i nic nie wskazuje na to, aby miał się ponownie skurczyć.

3° Po trzecie, także procesy *fizyczne* mogą powodować przemiany jednej substancji w drugą. Pierwiastek chemiczny radon, radioaktywny gaz szlachetny, powstaje z rozpadu promieniotwórczego innego pierwiastka, polonu, przypominającego chemicznie siarkę. Fizycy pracujący na wielkich akceleratorach potrafią zamienić jeden metal w drugi - np. aluminium w sód, sód z kolei zamienia się (w procesie rozpadu promieniotwórczego) w gaz, zwany neonem itd. Dzięki nauce, to co było niemożliwe, staje się niesłychanie proste. W tym sensie fizyka współczesna urzeczywistnia marzenia średniowiecznych *alchemików*, zamiany jednej substancji w drugą (choć nie zawsze w złoto i bez użycia *kamienia filozoficznego*).



Fot. 1.3 Fizyka zajmuje się *procesami*. Wytwarzanie prądu elektrycznego w elektrowni geotermicznej, wiatrowej lub w ogniu słonecznym, to przykłady *procesów* fizycznych.

4° I wreszcie, po czwarte, zaćmienie Słońca to zjawisko *astronomiczne*, ale pamiętajmy, że ruch Ziemi wynika z prostych praw *fizyki*. Znając te prawa, przewidywanie zaćmień nie jest już wiedzą tajemną, ale da się *wyliczyć* na szkolnym kalkulatorze.

Fizyka współpracuje z innymi naukami przyrodniczymi, jak medycyna i biologia. Transport substancji biologicznych przez błony komórki zależy od obecności *jonów*. Wymiana jonów jest też podstawą działania baterijek elektrycznych i ogniw paliwowych, a te urządzenia zaliczamy do obszaru badań fizyki. Z osiągnięć zaawansowanej fizyki, jak widać na zdjęciach poniżej, korzysta współczesna *medycyna*.



Fot. 1.4 Nowoczesne techniki badawcze w medycynie – rezonans magnetyczny, tomografia optyczna oka (UMK), tomografia pozytonowa (Centrum Onkologii w Bydgoszczy) – to wszystko urządzenia skonstruowane przez *fizyków*.

Nie wchodząc w dyskusje z innymi naukami o wzajemnych granicach, przedmiotem zainteresowań fizyków są zarówno tendencje giełd papierów wartościowych jak procesy neurologiczne w mózgu. Lista zastosowań fizyki cały czas się poszerza. Stąd najbezpieczniej byłoby, za uczniami Arystotelesa wydzielić to, co fizyką nie jest: meta-fizykę a pozostałe nauki, włączając nauki humanistyczne uczynić przedmiotem zainteresowania i fizyki, i dydaktyki fizyki.

5.2. Fizyka jako nauka doświadczalna

Podobno Albert Einstein powiedział, że „to doświadczenie jest ostateczną weryfikacją teorii w fizyce”. Z drugiej zaś strony, kiedy w 1919 Arthur Eddington wyruszył z wyprawą do Afryki, aby w czasie zaćmienia Słońca sprawdzić Ogólną Teorię Względności, po czym przesłano Einsteinowi telegram, ten ostatni wcale się nie zdziwił: „Przecież wiedziałem, że moja teoria jest prawdziwa – byłoby mi głupio za Pana Boga”.³⁵

Weryfikacja teorii Einsteina była celowo przygotowaną wyprawą naukową – wiele odkryć w fizyce ma jednak charakter, przynajmniej pozornie, przypadkowy. Pozornie przypadkowy, bo w tle odkrycia jest zawsze uważna obserwacja zjawisk, które uwadze innych umknęły. Tak było na przykład z problemem dwóch różnych ładunków elektrycznych – banalne skarpety R. Symmera (ale i wiele innych doświadczeń, np. B. Franklina) zamknęły trwającą wiele dziesięcioleci dyskusję o jednym czy dwóch ładunkach elektrycznych. Nota bene, doświadczenie nietrudne do powtórzenia w klasie, np. za pomocą lekkiego szalika z jedwabiu, którego dwa naelektryzowane końce się odpychają.

Historia elektryczności ma więcej kluczowych doświadczeń. Luigi Galvani, lekarz, zaobserwował w czasie burzy kurczenie się świeżo wypreparowanych udek z nerwami kulszowymi³⁶, zawieszonych na żelaznym drucie. Powtórzył doświadczenie, dotykając udek srebrnym skalpelem i wyciągając wnioski o zwierzęcym pochodzeniu zjawisk elektryczności. Dopiero zabawne doświadczenie inspektora szkolnego, Aleksandra Volty, z dwoma monetami na końcu własnego języka, a później systematyczne badania z monetami cynowymi i srebrnymi, elektrodami cynkowymi i miedzianymi itd. udowodniły, *fizyczną* naturę elektryczności. Do dziś baterie oparte o reakcje elektrochemiczne są podstawą działania telefonów komórkowych, laptopów itd.

Prawdziwa zasługa Volty dla dalszego rozwoju fizyki polega jednak nie na tych spektakularnych, choć początkowo kompletnie bezużytecznych, wynalazkach. Volta, jako pierwszy, nadał „elektryczności” charakter *ilościowy*, mierząc za pomocą zwykłej wagi siłę przyciągania się dwóch naładowanych płyt metalowych. Stąd mamy jednostkę „volta”.

Galvani i Volta dostarczają nam przykład doświadczenia przypadkowego i jego systematycznej kontynuacji. Inny Włoch, podobnie jak Volta poddany Cesarstwa Austriackiego, Antonio Romagnosi (1761-1835), jako pierwszy przeprowadził doświadczenie typu: „zobaczmy, co będzie, gdyby...” Adwokat z zawodu, dysponował sporym stosem monet srebrnych (i cynowych) i zbudował ogniwo, w którym powstające napięcie elektrochemiczne było spore, a w efekcie duży był prąd płynący przez zamknięty obwód. Przy drucie umieścił kompas, i zaobserwował odchylenie się igły w momencie przepływu prądu.

Przypadek Romagnosiego jest pouczający z innego jeszcze powodu. Zgłosił on swą obserwację na konkurs ogłoszony w 1803 roku przez Napoleona, wysłał zwykłym listem. Praca wpłynęła, została oceniona (odrzucona), Ampere dał negatywną opinię „nonsensem jest twierdzić, że zjawiska magnetyczne i elektryczne mają podobną naturę”, a w sądzie konkursowym zasiadał również niejaki Oersted... Romagnosi po latach bezskutecznie dochodził pierwszeństwa swojego odkrycia: prace naukowe muszą być należycie udokumentowane, czytaj: opublikowane. Uwaga dotyczy również prac uczniowskich.

Działalność Faradaya jest przykładem innej jeszcze postawy doświadczalnika: poszukiwania zjawisk, gdzie inni nie pomyśleli. Po opublikowaniu odkrycia Oersteda (1817), pokazującego powstawanie pola magnetycznego wskutek przepływu prądu elektrycznego, wiele lat trwały

³⁵ Prof. E. Illenberger, Freie Universität Berlin, informacja prywatna, zob. J. Bernstein, *Einstein*, Fontana Press

³⁶ Zob. G. Karwasz, A. Karbowski, *Na końcu języka (Volty)*, Foton, 96, Wiosna 2007, str. 34

poszukiwania sposobu zamiany pola magnetycznego na prąd elektryczny. Niestety (a może „stety”) nie ma pełnej analogii między polem elektrycznym a magnetycznym, jak to dziś wiemy z równań Maxwella. Aby uzyskać prąd elektryczny, pole magnetyczne musi być *zmiennie*. I dopiero Faraday na to „wpadł”.

I wreszcie, znakomite doświadczenie z 1887 roku zmarłego w młodym wieku Heinricha Rudolpha Hertza (1857-1894) było przykładem długich *poszukiwań* zjawiska przewidzianego wcześniej *teoretycznie*. Mówimy, oczywiście, o falach elektromagnetycznych Maxwella przewidzianych jeszcze w 1873 roku, a zaobserwowanych dopiero przez H. R. Hertza w postaci mikro-iskierek w odbiorniku.³⁷

Wielkie doświadczenia prowadzone w światowych laboratoriach fizyki jak CERN są doświadczeniami ściśle *planowanymi*, wymagającymi sporych środków finansowych i jednoczącymi wysiłki tak teoretyków jak doświadczalników z wielu krajów. Nie zmienia to faktu, że największe odkrycia przychodzą zazwyczaj nieoczekiwanie. Tak było np. z detekcją mikrofalowego tła kosmicznego pochodzącego z okresu Wielkiego Wybuchu – jako zakłócenie w transmisji fal radiowych do satelitów (Wilkinson, Penzias 1963). Często odkrycia są dziełem wieloletniej pracy ale małego grona naukowców: tak zdarzyło się np. z potwierdzeniem emisji fal grawitacyjnych, po kilkunastu latach obserwacji jednej gwiazdy neutronowej^{38j}, PSR B1913+16.

Wreszcie, trudno przewidzieć tak wynik doświadczenia jak jego stosowność. W czasach Volty (1796 r.) jego ogniwo było bezużyteczne a źródłem światła przez blisko sto lat pozostawały ciągle kopzące świece. Wieloletnie badania szczególnego rodzaju gwiazd zmiennych, tzw. cefeid, zarówno blisko nas jak w odległych galaktykach, dostarczyły na początku XXI wieku niezbitych dowodów, że we Wszechświecie działają ogromne „moce” przyspieszające lub zwalniające jego rozszerzanie się. Na razie, przy braku innych pomysłów, fizycy nazywają przyczynę tej kosmologicznej zmienności „ciemną energią”.

Reasumując, bezpośrednie doświadczenie

– proste, z dwoma pileczkami lub złożone, ze zderzeniem wózków sterowanym przez komputer

- planowane według arkusza pracy albo improwizowane przez dziecko pozostawione samo sobie

- w klasie lub samodzielnie wykonane przez ucznia w domu

pozostaje w fizyce niezwykle istotnym elementem tak naukowym, jak dydaktycznym. Nawet najprostsze eksponaty, jak np. podwójny stożek pozornie wjeżdżający pod górkę³⁹ lub spadający ołowek⁴⁰ mogą wymagać skomplikowanych rozwiązań fizycznych⁴¹ i stymulować naukowców, nauczycieli, uczniów do dalszych twórczych poszukiwań.

I wreszcie, z własnej perspektywy różnorodnych prac doświadczalnych prowadzonych przez wiele lat, jak by nie postawić Naturze precyzyjnego pytania kantowskiego: Tak czy Nie?, Przyroda odpowiada „Ni”, co jest grą słów włoskiego „No” i „Si”. Może to i dobrze, że nasza wiedza o Naturze pozostaje otwartą księgą, w której każdy z naszych uczniów może zapisać nowe karty...

³⁷ Powstające napięcia w odbiorniku jak u Hertza są rzędu pojedynczych setek woltów, więc iskry nie są łatwe do zaobserwowania. Sposobem na ominięcie tej trudności jest użycie pomiędzy dwoma prętami antenowymi lampki neonowej (obecnie dostępne chyba jedynie w sztucznych zniczach), zob. A. Krzysztofowicz, G. Karwasz, *Doświadczenie Hertza (na deser)*, Foton **80** (Wiosna 2003) 66.

³⁸ R. A. Hulse i J. H. Taylor, Jr., *Astrophys. J. Lett.* 195, L51–L53 (1975); Nagroda Nobla z 1993 r.

³⁹ Zob. Karwasz i in. *Fizyka i zabawki*, CD-ROM, Pomorska Akademia Pedagogiczna w Słupsku, 2004

⁴⁰ Zob. R. Cross, *The fall and bounce of pencils and other elongated objects*, *Am. J. Phys.* **74** (2006) 26.

⁴¹ Zob. np. S. C. Gandhi and C. J. Eftimiou, *The ascending double cone: a closer look at a familiar demonstration*, *Eur. J. Phys.* **26 B** (2005) 681.

5.3. Fizyka a matematyka

Po uwagach dotyczących doświadczenia w fizyce, istotne jest określenie współlistnienia matematyki i fizyki. Trudności Arystotelesa z zaliczeniem harmonii i optyki do matematyki czy fizyki wcale dziś nie znikają. Pierwszy dział optyki nazywamy „optyką geometryczną”; harmonia skrzypiec jest oparta o zależności matematyczne między liczbami całkowitymi odkryte przez Pitagorasa ale harmonia fortepianu oparta jest o logarytmy o podstawie 1/12.

Dyskusji wymaga przede wszystkim sama struktura matematyki, która dla Kanta była najważniejszym przykładem nauki syntetycznej *a priori*, to znaczy odkrywczej, ale niekorzystającej z doświadczenia. Wielkość matematyki, zwanej często królową nauk polega na tym, że na podstawie czystego rozumowania dochodzi się do nowych, niezwykłych wniosków. Jako fizyk doświadczałbym dodać – wniosków, znakomicie opisujących świat realny. Tak jest np. we wspomnianych równaniach Maxwella czy równaniach mechaniki kwantowej, za pomocą których potrafimy nie tylko opisać ruch elektronu, ale również zaprojektować nowe związki chemiczne lub farmaceutyki.

Dydaktycznie, logiczna i dedukcyjna struktura np. geometrii, jest wzorem dla kształtowania sposobu rozumowania ucznia. Umiejętności wnioskowania, krok po kroku, żaden z internetowych środków dydaktycznych nie zastąpi. Lakoniczna struktura aksjomatów oraz konieczność stosowania ścisłej gramatyki języka ojczystego lub języków obcych w wyrażaniu pojęć matematycznych trudna jest do odnalezienia w innych naukach, nawet w fizyce.

Obiektem dyskusji wielu teoretyków jest, czy stosowalność matematyki do opisu świata realnego jest dowodem absolutnym jej poprawności czy też odzwierciedla strukturę naszego umysłu. Bardzo oryginalne zdanie miał w tej materii twórca mechaniki statystycznej W. Boltzmann. Uważał on, że to ewolucja biologiczna wyselekcjonowała *Homo sapiens* z jego wiedzą matematyczną jako gatunek, który się wyodrębnił: małpy, które nie potrafiły właściwie ocenić odległości, np. w rzucie ukośnym, przegrały w procesie ewolucji.

Nie do końca podzielając zdanie tego wielkiego fizyka, wydaje się że czaszka człowieka, wewnątrz swego wypukłego zwierciadła znakomicie odzwierciedla wszechświat zewnętrzny, tak z jego różnorodnością, jak zależnościami matematycznymi.

Obok dedukcyjno-syntetycznej natury matematyki należy wspomnieć o świecie realnym, jako źródle matematyki. Twierdzenie Pitagorasa, z niezliczonymi dowodami, jednym piękniejszym od drugiego, musiało być znane starożytnym Egipcjanom dla wyznaczenia z dużą dokładnością kąta prostego. Czynie to zapewne z proporcji 3:4:5, i to na odległościach rzędu podstawy piramidy. Zbyt duże było ryzyko konstrukcyjne... Podobnie skryba musiał umieć wyliczyć pole trapezowej działki nad Nilem, choćby dla ściągnięcia podatków.

Czyli matematyka miałaby strukturę doświadczalno- indukcyjną? Bynajmniej! Matematyka zazwyczaj wyprzedza potrzeby innych nauk. Liczby zespolone zostały „wymyślone” z czystej ciekawości, czym jest pierwiastek kwadratowy z liczby „-1”. Dziś, analiza obwodów elektrycznych, sinus sumy kątów, ruch elektronu byłyby *fizycznie* nie do wyliczenia: to znaczy, byłoby to możliwe, ale liczby zespolone, poprzez wzór Moivre’a, czynią skomplikowane operacje matematyczne niewiele trudniejsze niż matematyka liczb potęgowanych.

Niewiele jest w historii fizyki przypadków, gdy matematyka została „stworzona” na potrzeby fizyki: tak było z rachunkiem różniczkowym, gdyż trudno sobie wyobrazić prędkość w małym odcinku czasu; tak było z Ogólną Teorią Względności, w stworzeniu której Einsteinowi pomagał jego kolega matematyk, Węgier z pochodzenia M. Grossmann.

Co więcej, wydaje się, że wiele otwartych problemów fizyki, czeka na nową matematykę (albo zastosowanie już istniejącej, ale nie wiemy której), aby zostać wyjaśnionych. Tak jest

np. z nadprzewodnictwem w stosunkowo wysokich temperaturach, rzędu temperatury skroplenia azotu, a obserwowanym w materiałach, które w temperaturze pokojowej są znakomitymi izolatorami⁴². Nie wspominając nawet o ciemnej energii, dla której na dzień dzisiejszy brakuje nam nie tylko matematyki ale nawet pomysłu.

Dydaktyk fizyki musi uczniowi wskazywać piękno i prostotę matematyki, stosowalność tego samego opisu matematycznego do różnych działów fizyki, wyjaśniającą i przewidującą rolę matematyki w wyjaśnianiu zjawisk fizycznych. Wówczas pojęcie wektora nie będzie dla ucznia zbędnym obciążeniem, ale ułatwieniem pracy dla nauczyciela. Podobnie dla nauczyciela matematyki, wektor nie będzie jedynie uporządkowaną parą punktów, z regułami dodawania jego współrzędnych ale przykładem sił użytych do holowania statku, składania prędkości w (parabolicznym) rzucie, płynięcia łódki w poprzek rzeki itd.

5.4. Fizyka jako nauka jakościowa

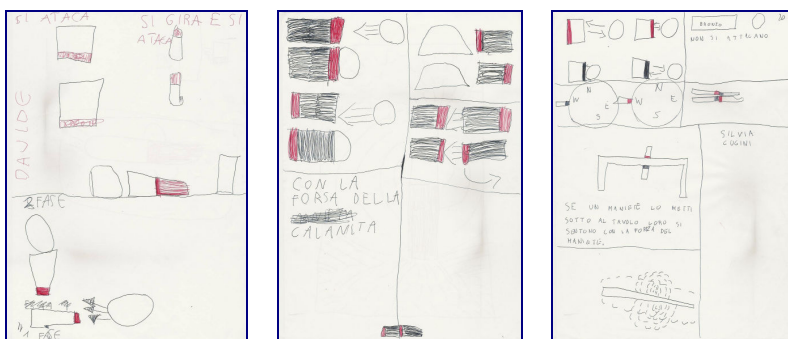
Po ogólnych uwagach o komplementarnych rolach doświadczenia i opisu matematycznego należy zauważyć różne tendencje w nauczaniu: 1) dominacji formalizmu matematycznego nad aspektami doświadczalnymi i praktycznymi (jak na przykład w podręcznikach włoskich); 2) nauczania dla praktyki – przykład podręcznika niemieckiego, wspólnego dla różnych typów szkół, w tym szkół zawodowych.

The image shows three pages from a German physics textbook. The left page (209) is titled "Elektrische und magnetische Felder" and "4.3.2 Das magnetische Feld". It discusses the properties of magnets, the difference between permanent and electromagnets, and the concept of magnetic field lines. The middle page (210) is titled "Erdmagnetismus" and "Magnetische Felder und ihre Darstellung". It explains how magnetic fields are represented by field lines and how they interact with magnetic materials. The right page is titled "Magnetfeld der Erde" and shows a diagram of the Earth's magnetic field with field lines emerging from the South Pole and entering at the North Pole.

Podręcznik niemiecki zwraca uwagę z trzech powodów: 1) zagadnienia fizyczne są wprowadzane w ich konkretnym odniesieniu do zastosowań praktycznych, np. rdzenie ferromagnetyczne są elementami większości układów elektrycznych; 2) zagadnienia są wprowadzane stopniowo – pierwsze schematy magnesów mają dwie połowy zaznaczone różnymi kolorami, ale nie mają oznaczeń biegunów „N” i „S”; 3) unika się matematyzowania opisu. Poprawność takiego sposobu nauczania potwierdzają badania dydaktyczne, np. z rysunku poniżej: dzieci rozumieją oddziaływania magnetyczne, choć niekoniecznie muszą rozróżniać bieguny; pojęcie linii pola⁴³ pojawia się dopiero na wyższym etapie nauczania.

⁴² Zob. np. G. Karwasz, *Experimental modern Physics: why we need New Mathematics?* Bulletin de la Société des Sciences et des Lettres de Łódź; Série: Recherches sur Les Déformations, Vol. LVII (2008) 89-96

⁴³ Celowo używamy dość nieprecyzyjnego określenia „linie pola magnetycznego”, gdyż w odróżnieniu od pola elektrycznego, nie dysponujemy „ładunkiem” magnetycznym, jaki mógłby stanowić ładunek *próbnny* dla



Kształtowanie się pojęć magnetyzmu wśród dzieci 8-10 lat: 1) oddziaływanie z substancjami ferromagnetycznymi, ale bez zaznaczenia kierunków, 2) schematy przyciągania się i odpychania, 3) kształtowanie się pojęcia linii magnetycznych i biegunów. Źródło: R. Viola, Rozprawa doktorska, Università di Udine, 2009.

Tytuł „fizyka jako nauka jakościowa” w najmniejszym stopniu nie podważa poprzednich stwierdzeń o fizyce jako nauce przyrodniczo-matematycznej; tytuł ten ma znaczenie *dydaktyczne*. Dążenia do zbytniego matematyzowania fizyki odstraszą od niej sporą część uczniów. Fizyka staje się dodatkowym polem do ćwiczenia umiejętności matematycznych. Neguje to jednak zasadę fizyki: wyjaśnia ona świat rzeczywisty, i może to czynić werbalnie a może czynić za pomocą formalizmu matematycznego.

Zadaniem nauczyciela jest takie przedstawienie fizyki, aby uczeń potrafił *samodzielnie spostrzeć* w świecie realnym całe *bogactwo zjawisk* fizycznych. Przykładowo, prawo soczewek (cienkich) Newtona ma piękną postać matematyczną, ale interpretacja wartości dodatnich lub ujemnych położenia obrazu, promienia krzywizny soczewki i powiększenia naradza trudności nawet wykładowcy uniwersyteckiemu (tym bardziej, że różne podręczniki przyjmują różne konwencje).

$$1/f = 1/p + 1/q$$

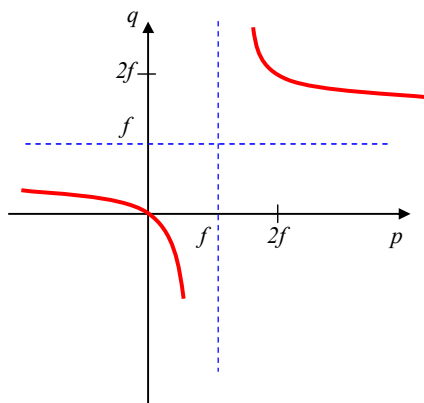
Piękno matematyczne tej prostej zależności jest uderzające. Niestety, równanie jest obwarowane szeregiem założeń fizycznych, a odstępstwa działania soczewek rzeczywistych od równania soczewki idealnej są określane mianem aberracji: jest tych aberracji całkiem sporo. Trzy są (wypróbowane) sposoby na poprawienie efektywności dydaktycznej w nauczaniu równania soczewek (i zwierciadeł)

1. Geometryczne potraktowanie optyki: kreślimy promienie przez ogniska i środek soczewki – konstrukcje wykonujemy na papierze w kratkę
2. Pogłębienie formalizmu dla ukazania analogii z wiedzą posiadaną przez ucznia w zakresie matematyki; równanie soczewki, jeśli je zapiszemy tak:

$$q = \frac{fp}{p-f} = f + \frac{f^2}{p-f}$$

określenia linii *sił*. W przypadku pola magnetycznego rysujemy zazwyczaj linie *indukcji* pola, **B**, jako potrzebne np. do obliczenia siły działającej na ramkę z prądem. Elementarnym „ładunkiem” magnetycznym jest dipol – ramka z prądem lub igła magnesu. Jednocześnie, linie pola magnetycznego łatwiej pokazać, za pomocą opilków żelaznych, ostawiających się dipol-za-dipolem w polu magnetycznym, niż linie sił pola elektrycznego (potrzebna np. kaszka manna, olej i silne pole elektryczne). Rysunki poniższe pokazują, jak w materiałach ferromagnetycznych (czyli np. magnesach szkolnych) jak układ linii indukcyjności **B** i linii natężenia pola **H** istotnie się różnią, zob. rysunek przed odnośnikiem.

przypomina równanie hiperboli $y = f^2/x$ ale o asymptotach przesuniętych w prawo o f i w górę o f . Wykres takiej funkcji wygląda w sposób następujący



Zauważmy w szczególności, że wykres przechodzi przez punkt $(2f, 2f)$ a wówczas stosunek $q/p = 1$ (powstaje obraz równy co wielkości). Obraz nie powstaje, gdy $p = f$ (przedmiot jest umieszczony w ognisku – punkty na asymptocie pionowej). Dla $0 < p < f$ wartość q jest ujemna, ale wartość bezwzględna $|q/p| > 1$ (powstaje obraz powiększony, jak w lupie gdy jest umieszczona blisko oglądanego znaczka pocztowego). Dziwna fizycznie sytuacja zachodzi, jeśli przyjmiemy $p < 0$; to tak jakby przedmiot był po drugiej stronie lustra. Innymi słowy, lustro z wklęsłego staje się wypukłe (a soczewka z wypukłej staje się wklęsła).

3. Przedstawiona formalizacja matematyczna wymagała, mimo wszystko, odniesienia się do rzeczywistości („jak lupa blisko znaczka”). Warto więc zwrócić uwagę, że łyżeczka do herbaty, szklanka, powierzchnia przednia okularów, denko butelki, szklany paciorek też „powiększają” lub „pomniejszają”. Nie ma sensu używanie szczegółowej terminologii „powstaje obraz pomniejszony”, bo uczeń i tak rozumie w kategoriach „powiększa/pomniejsza”.

Jakościowe wprowadzenie w zagadnienie soczewek nauczy młodzież (i dorosłych) samodzielnego poszukiwania obrazów (pomniejszonych/ powiększonych/ zniekształconych) w rzeczywistym świecie. Pobudzi ich ciekawość badawczą, której kolejnym krokiem będzie badanie, jaka soczewka i w jakich warunkach powiększa lub pomniejsza.

Co więcej – tradycyjne równanie soczewki cienkiej jest pominięciem bogactwa zjawisk soczewek:

- 1) soczewek nie-cienkich, opisanych odmiennym równaniem⁴⁴
- 2) soczewek i zwierciadeł nie-sferycznych, np. cylindrycznych, które badał już Witelo
- 3) soczewek umieszczonych w innych ośrodkach niż w powietrzu, np. w wodzie – zagadnienie istotne np. przy omawianiu anatomii oka⁴⁵.

W przedstawionym przykładzie, równania soczewki, motto „fizyka jako nauki jakościowej” oznacza zmianę kolejności dydaktycznej:

- nie od równania soczewki, poprzez aksjomatyczne nieco założenia $p >, q > 0$ do raczej mnemotechnicznego zapamiętania, jak działa jaka soczewka

⁴⁴ Zob. G. Karwasz, M. Brożis, *Soczewki grubasy*, Foton **85** (Jesień 2004)

⁴⁵ Zob. G. Karwasz, T. Wróblewski, *Okulary dla pletwonurka*, Foton **86** (Jesień 2004) 43

- ale od skojarzenia, że okulary krótkowidza (i wypukłe lustro drogowe) „pomniejszają” a lupa (i wklęsłe lustro kosmetyczne) czasem powiększają a czasem pomniejszają,
- poprzez samodzielne próby przybliżania i oddalania lupy od przedmiotu
- systematyzowanie obserwacji przez zapis
- wnioski dyskutowane przez całą klasę
- podsumowanie dokonane przez nauczyciela, np. w formie tabelki p vs. q
- do wykresu $q = q(p)$ hiperboli przesuniętej o $+f$ (ale tylko dla uczniów biegłych w matematyce), aż do ewentualnej interpretacji tego wykresu.

Zmiana kolejności dydaktycznej, oraz zmiana „środka ciężkości” lekcji z równania na *praktyczną* umiejętność spostrzegania zjawisk optycznych w zewnętrznym świecie jest realizacją zasady fizyki, jako nauki jakościowej. Nauczyciel ma za zadanie przekazanie samej tylko *koncepcji* zwierciadeł i soczewek, ale w sposób *trwały*. Uczeń powinien zapamiętać, że istnieje (wyidealizowane) równanie opisujące soczewki oraz że rzeczywiste soczewki od tej idealizacji odbiegają, ale nie z powodów niedoskonałości soczewek, ale z powodu przyjętego modelu, upraszczającego rzeczywistość.

Te same wnioski, o upraszczającym charakterze modeli fizycznych przydadzą się przy nauczaniu praw ruchu jednostajnego, przyspieszonego, spadku ciał, grawitacji w pobliżu powierzchni Ziemi itd.

5.5. Rewolucja naukowo-techniczna XIX i XX wieku

Zagadnienie rewolucji naukowej i postępu technicznego stanowią sporą część nowej podstawy programowej MEN w zakresie przedmiotu „przyroda” w szkołach ponadgimnazjalnych. W nauczaniu różnych zagadnień – historii, geografii, ekonomii, są podkreślane różne aspekty rewolucji przemysłowej. Zrozumienie chronologii wynalazków oraz mechanizmów postępu naukowego pozwala lepiej usystematyzować poszczególne składniki wiedzy.

Dwie rewolucje w XIX wieku dokonały się dzięki fizyce: elektryczność i silniki ciepłe. Historię odkryć w zakresie elektromagnetyzmu już częściowo naszkicowaliśmy – ciekawość badawcza znacznie w niej wyprzedzała realne zapotrzebowanie techniczne. Niejednokrotnie wynalazki techniczne wyprzedzają ich analizę naukową. Tak było np. z maszyną parową, która najpierw została szeroko wprowadzona w przemyśle a później dopiero doczekała się analizy teoretycznej. Podobnie było z silnikiem benzynowym (w cyklu Otto) i silnikiem wysokoprężnym (cykl termodynamiczny Diesla). Silnik spalinowy pozostaje nadzwyczajnym wynalazkiem – automobilistyka to pasja młodzieży, co warto wykorzystać w dydaktyce.

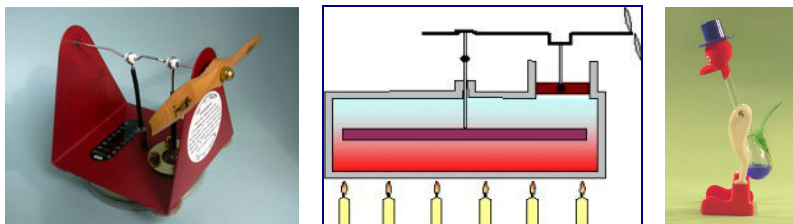


Fot. 2.1. Wykorzystanie maszyny parowej: a) samochód strażacki na parę z 1879 roku, „powerhouse” Museum w Sydney; b) lokomotywy parowe z początku XX wieku, Muzeum Nauki i Techniki w Mediolanie (Foto MK)

Nie do końca ta możliwość dydaktyczna (technika codzienna → fizyka) jest wykorzystywana. W termodynamice omawia się cykl Carnota, nie do końca wyjaśniając uczniowi, że była to koncepcja czysto teoretyczna, stworzona przez młodego naukowca na początku XIX wieku, na długo przed praktyczną realizacją silników spalinowych. Silnik Carnota jest jednak bardzo ważny dla rozumienia termodynamiki i kilka kwestii warto w nim podkreślić:

- 1) wymagane jest tak źródło ciepła jak chłodziła
- 2) silnik ma najwyższą sprawność z możliwych silników pracujących w danych temperaturach
- 3) temperatury występujące we wzorze na sprawność są temperaturami bezwzględными: nie jest łatwo podnieść temperaturę źródła ciepła, choć najnowsze generacje turbin pracują w temperaturach 1400-1500° C, osiągając sprawność powyżej 40%
- 4) cykl Carnota w odróżnieniu od silników spalinowych i parowych jest cyklem zamkniętym,
- 5) zmiana entropii w cyklu jest zerowa.

Jak pokazać w szkolnym laboratorium cykle termodynamiczne? Za pomocą prostych przyrządów dydaktycznych, zob. rys. poniżej, lub ich wirtualnych opisów⁴⁶



Dwa przykłady silnika termodynamicznego: silnik Stirlinga o układzie otwartym (zdjęcie i schemat) i „pijący ptak” o układzie zamkniętym. Oba silniki mogą pracować bądź poprzez ogrzewanie jednej części („brzucha” ptaka) bądź wskutek chłodzenia (mokry łeb ptaka). Mała sprawność tych silników wynika głównie z niewielkiej różnicy temperatur między źródłem ciepła a chłodziłą: silnik Stirlinga obraca się, jeśli jego podstawę postawimy na cieplejszej niż otoczenie dłoni.

Odniesienia do wynalazków i zastosowań praktycznych ułatwiają proces dydaktyczny i w istotnym stopniu pozwalają na systematyzację i ugruntowanie wiedzy ucznia. Rewolucja techniczna i jej wytwory zmieniają zasadniczo dydaktykę: w nauczaniu ruchu jednostajnie przyspieszonego nie musimy korzystać z wymyślnego doświadczenia Galileusza o pocisku w lufie, ale możemy skorzystać z zainteresowania uczniów wyścigami Formuły 1, jak to przedstawiamy w rozdziale 6.

5.6. Metodologie badawcze współczesnej fizyki

Współczesne metodologie nauk przyrodniczych osiągnęły wysoki stopień interdyscyplinarności, z której nawet sami naukowcy nie zdają sobie sprawy. W fizyce cząstek elementarnych współczesne doświadczenia na wielkich akceleratorach nie byłyby możliwe bez wykorzystania elementów sztucznej inteligencji na rozproszonych systemach komputerowych. Podobnie, światowa sieć prywatnych komputerów jest wykorzystywana do poszukiwania sygnałów cywilizacji pozaziemskich – na razie bez skutku. Sam Internet powstał jako sieć wymiany informacji w wielkich laboratoriach fizyki cząstek elementarnych.

⁴⁶ G. Karwasz i in., *Silnik Stirlinga*, w: *Physics and Toys*, op. cit.; http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki1/files/termo/silnik_big-pl.html

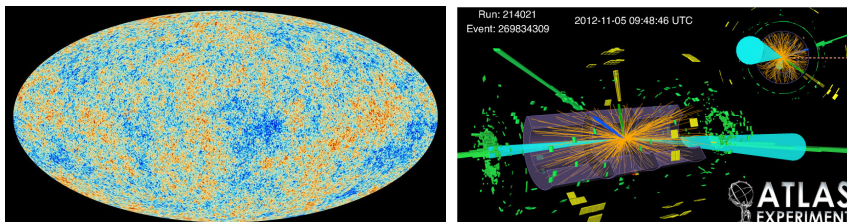
Strategiczne badania współczesnej fizyki prowadzone są przez wielonarodowe zespoły, w ramach europejskich lub nawet ogólnosiwiatowych laboratoriów, jak Europejskie Centrum Badań Jądrowych CERN, Europejska Agencja Kosmiczna ESA, Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej IAEA. Badania te mają na celu odpowiedzenie na dość podstawowe pytania o materię i Wszechświat:

- sięganie w głąb przeszłości Wszechświata poprzez badanie mikrofalowego promieniowania tła (projekt „Planck”),

- poszukiwanie cząstki „odpowiedzialnej” za niezerową masę kwarków (tzw. cząstki Higgsa)

- badania nad antymaterią (sprawdzanie, czy antymateria oddziałuje grawitacyjnie).

Budżety tych projektów opiewają na miliardy euro.



1. Mapa pokazuje Wszechświat jakim był w wieku 380 tysięcy lat. W tym stadium był on wypełniony gorącą mieszaniną protonów, elektronów i fotonów. W promieniowaniu tła obserwuje się bardzo niewielkie fluktuacje temperatury, które odpowiadają obszarom o nieco różnej gęstości w owym czasie Wszechświata. Dzięki tym różnicom powstały potem galaktyki i cała współczesna struktura kosmosu. Z badań sondy „Planck” wiemy, że:

- są tylko trzy rodzaje neutrin (gdyby były cztery, młody Wszechświat rozszerzałby się szybciej)

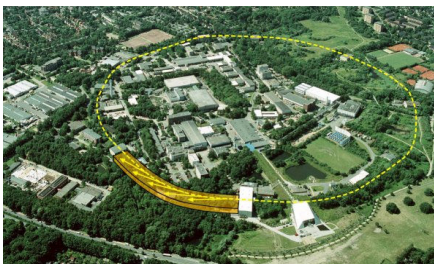
- energii ciemnej jest mniej niż myślano - tylko (!) 68%, za to jest więcej ciemnej materii

- Wszechświat ma 13,82 mld lat, o ponad 100 milionów lat więcej niż poprzednio wyznaczano - w ciągu 10^{-32} s z rozmiarów mniejszych od atomu rozszerzył się do wielkości grapefruita, po czym rośnie ze znacznie mniejszą prędkością [„Nature”, opracował: dr K. Rochowicz]

2. Poprzednie zdjęcie to makro-obraz całego Wszechświata, sprzed 13,8 mld lat. To zdjęcie z CERN pokazuje proces zderzenia protonów, cząstek o wymiarach rzędu 10^{-15} m, trwający mikrosekundy. Obraz pokazuje rozpad dwóch ultra- ciężkich elektronów, „tau”. Analiza śladów rozpadających się cząstek wskazuje, że w zderzeniu powstał bozon Higgsa, „boska cząstka” w określeniu noblisty, prof. L. Ledermana. Badania cząstek elementarnych wymagają technologii wysokiej próżni, nadzwyczaj silnych magnesów nadprzewodnikowych, niezwykle czułych i szybkich detektorów półprzewodnikowych oraz ogromnych mocy obliczeniowych komputerów. Akceleratory w CERN konsumują tyle energii, co Toruń.

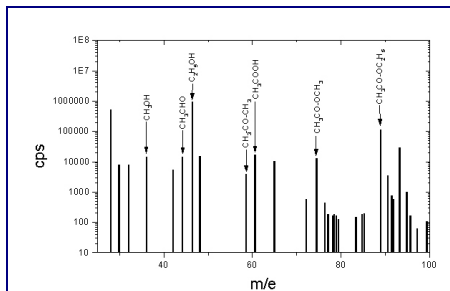
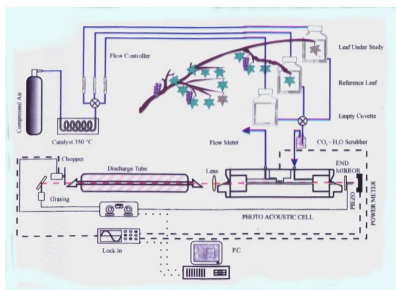
Badania w wielkich centrach naukowych służą nie tylko naszej ludzkiej ciekawości. Specyficzny rodzaj akceleratorów elektronów, tzw. synchrotrony, są źródłem promieniowania elektromagnetycznego o dużej energii, jak promieniowanie Röntgena. Jednocześnie, promieniowanie to jest mono-energetyczne i skolimowane, jak światło lasera. Dzięki temu może służyć do badania mikrostruktur: promieniowanie synchrotronowe wykorzystywane jest do badania kryształów, ale również struktur biologicznych, jak DNA i białka. Jeszcze silniejsze i bardzo krótkie (10^{-15} s) impulsy promieniowania rentgenowskiego można uzyskać z lasera, w którym zamiast światła płyną elektrony w rusze próżniowej. W ten sposób możliwe jest np. badanie białek w roztworach⁴⁷.

⁴⁷ Zob. H. Dodziuk, *Renigenografia bez kryształów: rozprosz i zniszcz*, strona internetowa Zakładu Dydaktyki Fizyki UMK, http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/co%20piszczczy%20w%20nauce.html



Synchrotron, źródło skolimowanego promieniowania rentgenowskiego (DESA, Hamburg) i struktura białka odtworzona z obrazu dyfrakcji promieniowania na kryształach tego białka. Sama podwójna helisa DNA też została odkryta za pomocą promieniowania rentgenowskiego, jeszcze w latach 50-tych ub. wieku.

Oprócz fizyki w wielkich centrach badawczych, ogromna ilość prac powstaje w ramach fizyki „małogabarytowej”. Za pomocą tzw. spektroskopii masowej jest możliwa np. analiza gazów wydychanych przez człowieka, dla natychmiastowego określenia, czy nie jest on chory na cukrzycę. Można również skontrolować, za pomocą widma masowego zapachu, czy truskawki są świeże i czy kawa została prawidłowo sparszona. Podobna metoda, tzw. fotoakustyczna, pozwala na mierzenie poziomu stresu roślin, np. po urwaniu liścia. Rośliny komunikują się ze sobą wydzielając nano-gramowe ilości etylenu, gazowego hormonu roślin.



1. Dwa przykłady zastosowań fizyki do badań biologicznych. Spektroskopia fotoakustyczna pozwala badać wydzielanie przez rośliny ich hormonu gazowego, etylenu. Hormon ten powoduje m.in. dojrzewanie bananów, jest wydzielany przez orchidee w trakcie kwitnięcia, lub np. przez winorośl, po urwaniu liścia [Źródło: dr A. Boschetti, informacja prywatna].

2. Spektrometria przekazu protonu pozwala na „miękką” jonizację, tzn. taką, w której jonizowana cząsteczka nie zostaje rozbita na fragmenty a jedynie przyłącza proton, H^+ . Spektroskopia ta, szczególnie przydatna w fazie gazowej, pozwala np. na analizowanie oddechu człowieka, zapachu kawy, truskawek. Badania przeprowadzone przez grupę szwajcarską (z Neuchâtel) pokazały, że liść ugrzyziony przez gąsienicę wydziela zapach zwabiający osy, które z kolei pożerają gąsienicę⁴⁸

Różnorodne techniki fizyczne są stosowane w inżynierii materiałowej. Służą one np. do identyfikacji nano-defektów w metalach, dużo wcześniej niż dojdzie do zniszczenia materiału wskutek makro-pęknięcia. W podobny sposób można badać nano-defekty w półprzewodnikach, zapobiegając awariom układów elektronicznych⁴⁹.

⁴⁸ <http://www.ionicon.com/applications/showcases/biological-research>

⁴⁹ Zob. np. G.P. Karwasz *et al.*, *Application of positron annihilation techniques for semiconductor studiem*, J. Alloys and Compounds, **382** (2004) 244

5.7. Fizyka jako nauka interdyscyplinarna

Rozważania o rewolucji naukowo-technicznej i nowoczesnych metodach badawczych w chemii, medycynie, biologii, naukach rolniczych, geologii itd. pokazują uwarunkowania *interdyscyplinarne* fizyki. Związki te wynikają tak z historycznego umiejscowienia fizyki jako nauki o przyrodzie jak z rozwoju nowoczesnych metod diagnostycznych.

Związki fizyki z innymi naukami są wzajemne – tak fizyka korzysta z odkryć innych nauk jak inne nauki z rozwoju nauk fizycznych. Umiejętność wytwarzania próżni, wywoływania wyładowań elektrycznych w gazach oraz dokładna analiza widma optycznego pozwoliły w drugiej połowie XIX wieku odkryć gazy szlachetne: argon, krypton, ksenon, i w widmie Słońca – hel. Z kolei, pieczołowicie prowadzone przez młodą doktorantkę w Paryżu, Marię Skłodowską miareczkowanie chemiczne pozwoliło na wydzielenie z rudy uranowej pierwiastka chemicznego podobnego do magnezu i wapnia – był to rad. Tak narodziła się fizyka jądrowa.

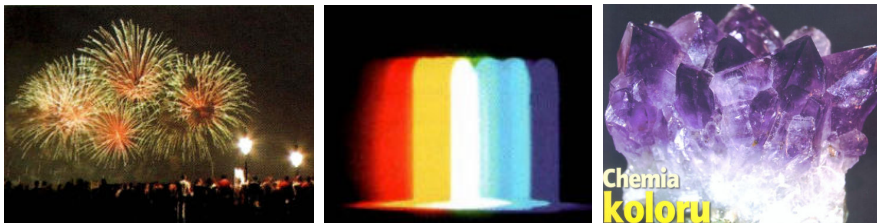
Trudno rozdzielić fizykę i chemię nawet w tak prostych zagadnieniach, jak powstawanie kolorów. Jak działa papier lakmusowy? Co to w ogóle jest lakmus? Zagadnienia chemii przeplatają się z fizyką i znajomością mchów. Rozumowanie wymaga stopniowania trudności:

1. Kolor danej substancji zależy od wielu czynników. Rozgraniczamy te czynniki, dla ułatwienia rozumowania, na fizyczne i chemiczne. Fizyczne sposoby powstawania kolorów to tęcza, pobłyskująca kolorami płyta CD lub inna siatka *dyfrakcyjna*, lub drgające pod wpływem fali elektromagnetycznej (czyli padającego światła) skupiska elektronów, tzw. plazmony, w nano-wytrąceniach złota w szkle.



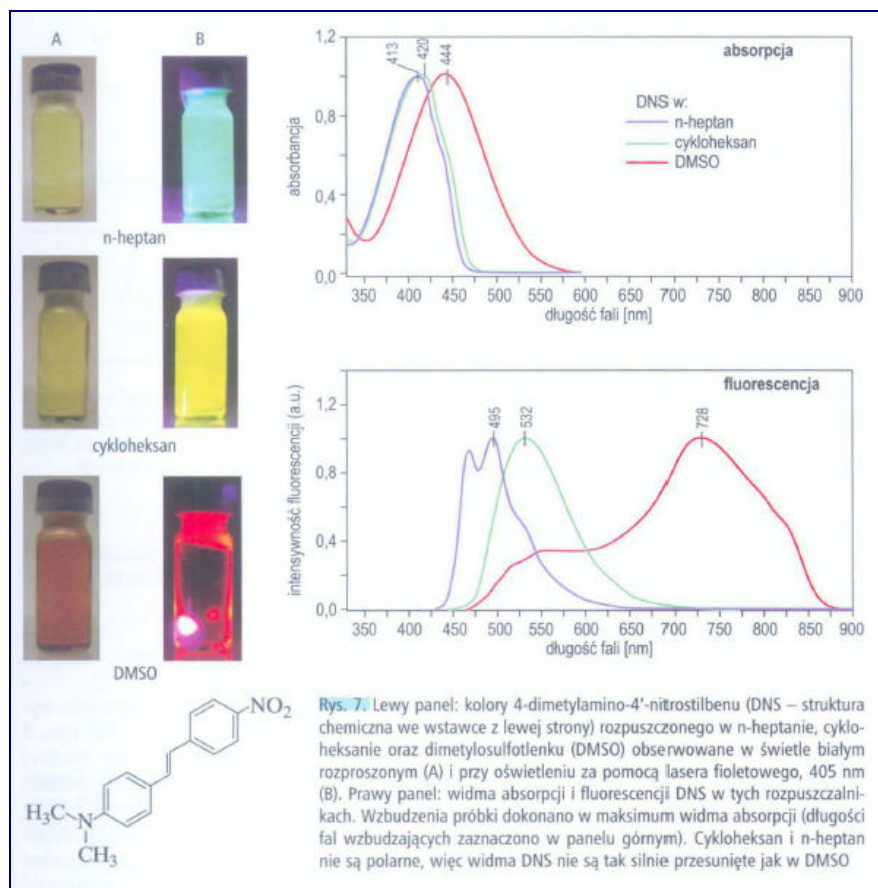
Fizyczne sposoby powstawania kolorów: 1) rozpraszanie światła słońca w atmosferze – kolory dopełniające światła rozproszonego na chmurach i przechodzącego przez atmosferę; 2) trój-wymiarowa siatka dyfrakcyjna na skrzydłach samca *Morpho*; 3) emisja światła niebieskiego przez plazmony – skorelowane elektrony w nano-wytrąceniach złota w szkle (eksponaty i foto GK)

2. Kolory sztucznych ogni lub światło lamp neonowych są wynikiem przejść elektronowych w pojedynczych atomach (w fazie gazowej). Jeżeli te same atomy (lub jony) znajdują się nie w fazie gazowej, ale wbudowane w sieć kryształu, to kolor emisji się zmienia. Tak jest np. w rubinie, gdzie centrum koloru jest jon chromu, lub w ametyście, gdzie domieszką jest żelazo.



3. „Chemiczne” sposoby powstawania kolorów są wynikiem drgań określonych elektronów w dość złożonych cząsteczkach chemicznych. Padające światło jest absorbowane w określonym zakresie długości fal. I tak np. cząsteczka chlorofilu absorbuje światło czerwone i fioletowe, dla dokonania odpowiednich reakcji chemicznych. Niezaabsorbowane (tj. odbite) światło daje wrażenie koloru zielonego.

4. Chemia koloru jest w ogólności procesem złożonym. Cząsteczki nie tylko absorbują światło w określonym zakresie długości fal, ale i emitują światło. I tak liście, oświetlone intensywnym światłem fioletowym, emitują światło czerwone – jest to swoisty „zawór bezpieczeństwa, przed porażeniem roślin nadmiarem światła słonecznego. W roztworach, widma emisji i absorpcji zależą dodatkowo od rodzaju rozpuszczalnika. W przypadku lakmusu (i soku z kapusty) widma emisji i absorpcji zależą od kwasowości roztworu (czyli od pH). W obecności jonów H^+ ulegają przebudowie niektóre wiązania w cząsteczce; w zależności od wartości pH przesuwa się równowaga między dwoma alternatywnymi formami cząsteczki, co powoduje zmiany koloru⁵⁰.



Rys. 7. Lewy panel: kolory 4-dimetylamino-4'-nitrostilbenu (DNS – struktura chemiczna we wstawce z lewej strony) rozpuszczonego w n-heptanie, cykloheksanie oraz dimetylosulfotlenku (DMSO) obserwowane w świetle białym rozproszonym (A) i przy oświetleniu za pomocą lasera fioletowego, 405 nm (B). Prawy panel: widma absorpcji i fluorescencji DNS w tych rozpuszczalnikach. Wzbudzenia próbki dokonano w maksimum widma absorpcji (długości fal wzbudzających zaznaczono w panelu górnym). Cykloheksan i n-heptan nie są polarne, więc widma DNS nie są tak silnie przesunięte jak w DMSO

⁵⁰ Zob. M. Gagoś. G. Karwasz, *Barwa a struktura związku chemicznego*, Chemia w Szkole, 3/2012, str. 12.

Interdyscyplinarność fizyki, przedstawiona powyżej na dość zaawansowanym, naukowym poziomie, znajdować powinna swoje odzwierciedlenie również w podręcznikach. Usieciowanie fizyki, i jej dydaktyki, jest szerokie: obejmuje historię, sztukę, literaturę. Poniżej wracamy do zagadnienia magnetyzmu, tym razem korzystając w francuskiego (i też belgijskiego) podręcznika do liceum.

1 LES AIMANTS



Fig. 1. Fragment de pierre magnétique.

1.1. Des roches magnétiques

Depuis les temps les plus reculés, les hommes ont remarqué que certaines pierres « magnétiques » ont la propriété de s'attirer entre elles en certaines zones, leurs **pôles**. Ces corps, appelés **aimants**, sont constitués par de l'oxyde magnétique de fer Fe_3O_4 (fig. 1).



Fig. 2. Une boussole ancienne (Chine).

1.2. Un instrument utile : la boussole

Les pierres « magnétiques » possèdent une autre propriété : libres de s'orienter, elles prennent toujours la même direction. Selon certains auteurs, deux siècles avant notre ère, les Chinois ont utilisé ce phénomène pour construire les premières boussoles (fig. 2). Les boussoles actuelles (une aiguille aimantée mobile sur un pivot vertical au-dessus de la rose des vents) proviennent d'un lent perfectionnement de ces premières boussoles.



Fig. 3. Quelques aimants artificiels bipolaires.

1.3. Les aimants artificiels

De nos jours, les aimants artificiels sont en acier ou en alliages et ils ont des formes variées (fig. 3) : barreau droit, aimant en U, aiguille aimantée...



Fig. 3. Quelques aimants artificiels bipolaires.

1.4. Pôle nord, pôle sud

- Les pôles d'un aimant ne sont pas identiques ; on distingue le **pôle nord** du **pôle sud**. Deux pôles de même nom se repoussent, alors que deux pôles de noms différents s'attirent.
- **Il est impossible d'isoler le pôle nord du pôle sud d'un aimant.** En effet, chaque fragment obtenu après avoir brisé un aimant en deux se comporte comme un nouvel aimant possédant un pôle nord et un pôle sud (fig. 4).



Fig. 4. Expérience de l'aimant brisé : chaque fragment se comporte un nouvel aimant.

184 Partie 3 - Électrodynamique

Podręcznik francuski, odmiennie od niemieckiego i włoskiego, nie zaczyna się od zastosowań technicznych ani od formalizmu matematyki – jako pierwszy przykład jest pokazana skała magnetyczna (stąd zresztą pochodzi nazwa „magnes”), później chiński kompas (kompas w Europie został wprowadzony do użytku nieco przed Kolumbem, zapewne zdobyty na tureckim statku); wreszcie szkolne doświadczenie z magnesami. Elementy geologii, historii i techniki wzajemnie się przeplatają. Dopiero kolejny rysunek wprowadza pojęcie biegunów, oraz zagadnienie dipola (tj. niemożności stworzenia magnesu o jednym tylko biegunie).

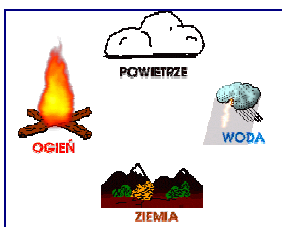
Odniesienia do nauk humanistycznych są istotne szczególnie po ostatniej reformie programowej w Polsce, gdzie większość uczniów w liceach będzie poznawało fizykę pobieżnie. Odniesienia humanistyczne mogą zainteresować fizyką również umysły „nieściśle”.

5.8. Fizyka a nauki humanistyczne

Zagadnienie jedności czy różnorodności nauk jest jednym z podstawowych problemów dla organizacji szkolnictwa, dla polityki naukowej, dla dydaktyki a także dla filozofii. Czy można jedną miarą traktować wyniki tzw. „nauk ścisłych” – matematyki, astronomii, fizyki itd. i nauk „humanistycznych” – historii, filozofii, pedagogiki, estetyki? Rozważymy zagadnienie najpierw w aspekcie historycznym a później w aspekcie metodologii poznania naukowego, czyli w aspekcie *epistemologii*.

Za początki powszechnego (nie tajnego⁵¹) dostępu do wiedzy należy uznać pojawienie się w starożytnej Grecji (Grecji kontynentalnej a jeszcze obficie w jej koloniach na Morzu Śródziemnym) miłośników mądrości, czyli filozofów. Pytania o: i) naturę liczb i operacji matematycznych, ii) o naturę i strukturę materii, iii) o prawa astronomii, wiążą się z takimi nazwiskami jak i) Pitagoras z Samos (ok. 572-497 p.n.e., Zenon z Elei (ok. 490-430 p.n.e.), ii) Anaksagoras (ok. 500-428 p.n.e.), Demokryt (ok. 430-370 p.n.e), iii) Ptolemeusz. Wszyscy ci myśliciele zajmowali się nie tylko matematyką, harmonią, fizyką, ale ogólnie *filozofią* – nauką o przyczynach i naturze bytu.

„Anaksagoras zradykalizował myśl Empedoklesa wskazując na istnienie nieskończenie wielu pierwiastków, które nazwał *homoimeriami*. Te jednak nie mogły wytworzyć rzeczy z własnej mocy, początkowo znajdowały się w bezwładnej mieszaninie (*sfiaros*). Katalizatorem powstania rzeczy stał się ruch, ruch natomiast został spowodowany przez znajdujący się poza światem umysł. Zatem to umysł czy też duch jest zasadą, z kolei homoimerie jedynie budulcem.”⁵²



Cztery „żywioły” starożytnych Greków – rysunek pochodzi ze stron internetowych CERN, opisujących tzw. Model Standardowy cząstek elementarnych, z trzema „generacjami” kwarków i leptonów. W dzisiejszych czasach, nasze spojrzenie na strukturę materii wcale nie jest prostsze, jak to już wspominaliśmy i jak to ilustruje jeszcze jeden rysunek z książki prof. A. Górala *Meandry fizyki*.

Licząc, że poematy „Iliady” i „Odysei” pojawiły się (w formie ustnej) zapewne w XI wieku p.n.e. , upłynęło ponad pół tysiąclecia do czasów Arystotelesa, czas na tyle długi, że wyjaśnia bogactwo powstałych pomysłów naukowych. Te wielowiekowe dokonania filozofii greckiej zostały zebrane przez Arystotelesa – jego pisma obejmują cały zakres wiedzy obejmowanej racjonalnym myśleniem w tamtym momencie historycznym. Więcej, to Arystoteles poprzez swoje dzieła zdefiniował do dziś używane nazwy dyscyplin naukowych.

Arystoteles pozostaje, w całej historii ludzkiej kultury, jedynym swego rodzaju fenomenem. Swoimi pracami objął zakres, który wykracza poza pojęcie „wiedzy”, jako to co wiemy i możemy skatalogować. Arystoteles objął swoimi pracami zakres „poznawalny”, który poza „wiedzą” obejmuje zagadnienia, które chwilowo (lub permanentnie) pozostaną w sferze

⁵¹ Taką tajną wiedzą, w starożytnym Rzymie aż do czasów Juliusza Cezara był kalendarz. Dzisiejszy miesiąc dzielił się na nierówne okresy: 5, 10 i 15 dni. Znajomość kalendarza pozwalała, na przykład, na prowadzenie spraw sądowych. Nawiasem mówiąc, Grecy nie mieli kalendarza jak Rzymianie, stąd odesłanie „ad calendam graecam”, czyli „na święty nigdy”.

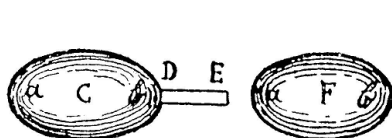
⁵² <http://pl.wikipedia.org/wiki/Anaksagoras>

hipotez. Dzieła Arystotelesa obejmują zoologię, astronomię, fizykę, ale też dziedziny poza naukami ścisłymi (czyli poza *science*) jak etykę, estetykę i metafizykę. Te ostatnie stanowią części składowe filozofii, w jej obecnym znaczeniu.

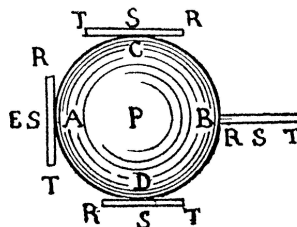
Arystoteles, w swoim gigantycznym dorobku, korzystał oczywiście, i systematyzował osiągnięcia swoich poprzedników filozofów. Jednakże jemu należy przypisać podwaliny całego, również współczesnego gmachu wiedzy – od nauk przyrodniczych do filozofii. Czy więc można mówić o rozłączności nauk ścisłych od nauk humanistycznych, jeżeli oba te, pozornie diametralnie różne działy dały się objąć umysłem jednego człowieka?

W dalszej historii ludzkości brakuje takich fenomenów racjonalizmu jak Arystoteles. Wielcy doktorzy Kościoła (św. Bonawentura, św. Tomasz z Akwinu) podejmowali kwestie filozoficzne, ale nie przyrodnicze; współczesny św. Tomaszowi Jan Buridian dyskutował kwestie fizyczne, ale w podręcznikach filozofii jest wspominany marginalnie. Kopernik w swym dziele unika kwestii filozoficznych, podobnie jak Galileusz. Jego „Dyskusja o dwóch największych systemach” dotyczy modeli Układu Słonecznego a nie systemów filozoficznych. Czystą filozofią zajmował się natomiast współczesny Galileuszowi Giordano Bruno, dominikanin.

Nieco bardziej wszechstronni byli Kartezjusz, Leibniz, a szczególnie Newton. Ten pierwszy, dyskutował tak ogólne zagadnienia metodologii poznania, opisane wcześniej, jak np. szczegółowe oddziaływania magnesów o różnych kształtach, zob. rysunek poniżej lub zagadnienia z optyki.



Rys. 45



Rys. 43

Ryc. 2. Kartezjusz jako fizyk doświadczalny: konfiguracje biegunów magnesów według jego pracy z 1644 roku. Dziś, nie uczymy, że magnesy mogą mieć inne konfiguracje niż wyłącznie dwa bieguny.

Leibniz, obok Newtona, jest twórcą działu matematyki zwanym rachunkiem różniczkowym. Jego wkład w filozofię to koncepcja światów atomowych – koncepcja dość ostrożna, nie wyciągająca z hipotez o strukturze materii wniosków etycznych czy światopoglądowych (jak to czynił Giordano Bruno).

Wiek XVIII i XIX, wieki Oświecenia, materializmu i pozytywizmu przyniosły separację między filozofią i ogólnie naukami humanistycznymi, a naukami ścisłymi. Co prawda, z praw fizycznych i biologicznych, myśliciele wyciągali wnioski o organizacji świata materialnego („Człowiek- Maszyna” LeMettrie 1748, idee świata mechanicznego Macha) ale nie rozszerzali tych wniosków na sferę historii czy polityki. Immanuel Kant wniósł wielki wkład do metodologii przyrodoznawstwa, ale przez swoje prace z filozofii, a nie z nauk przyrodniczych.

Dalej, w drugiej połowie XIX wieku próby zastosowania dychotomicznego myślenia Kartezjusza (o tym nieco dalej) do nauk społecznych doprowadziły do fatalnych w perspektywie historycznej teorii Marxa i Lenina. Rozdzwięk między rzetelnym i szybkim

postępem naukowo- technicznym a utopijnymi wariantami historioznawstwa i socjologii osiągnął w drugiej połowie XIX wieku apogeum. Dzisiejsza nieufność między *science* i *humanities* jest w dużej mierze pokłosiem tego rozdzwięku.

Hans Gadamer⁵³ pisze, że paradygmat nauk humanistycznych jest inny niż przyrodniczych. Nauki humanistyczne opierają się na autorytetach, natomiast przyrodnicze na doświadczeniu. Nie do końca należy się zgodzić z takim rozgraniczeniem. Również w naukach ścisłych odwołujemy się do poprzednich, uznanych wyników; z drugiej strony teorie humanistyczne, pedagogiczne, społeczne podlegają weryfikacji w konkretnych warunkach historycznych.

Artykuły naukowe z przyrodznawstwa, włączając fizykę, zawsze odwołują się do wcześniejszym prac innych autorów, co ma charakter metodologii nauk *humanistycznych* – opieramy się na innych autorytetach. Typowe stwierdzenia to np. „W N₂, Ramanan i Freeman w ich pomiarach dryfu elektronu w niskich temperaturach nie wykluczyli istnienia minimum Ramsauera-Towsenda”⁵⁴, itp. Rola autorytetów w fizyce pozostaje niemniejsza niż w zamierzonych wiekach.

Wielcy naukowcy, włączając Newtona i Einsteina, wypowiadali się nie tylko o fizyce. Izaak Newton w czasie, gdy pracował nad swoim największym dziełem, *Principia Mathematicae*, zajmował się również teologią: wyjaśniał prorocтва oraz dyskutował o istnieniu Trójcy Boskiej. Po koniec życia pisał, że wszystkie narody na początku miały jedną religię, której zasadami było „mieć jednego Boga, i nie odmieniać jego bóstwa ani nie profanować imienia, powstrzymać się od zabójstw, kradzieży, i innych ran [...]”⁵⁵

Albert Einstein wypowiadając się na tematy etyczne i filozoficzne tak pisze w książce *Jak ja widzę świat*: „Wartość człowieka, dla społeczności, w której żyje, zależy przede wszystkim od stopnia, w jakim jego uczucia, jego myśli i jego działania przyczyniają się do rozwoju istnienia innych osób”⁵⁶. I dalej: „nie bez powodu współczesny nam autor powiedział, że w obecnej epoce, skierowanej generalnie na materializm, naukowcy są jedynymi ludźmi głęboko wierzącymi”⁵⁷.

Z kolei filozofowie, również współcześni, wypowiadają się na temat nauk ścisłych. Zacytujmy Karla Poppera (1902-1994), czołowego przedstawiciela pozytywizmu w filozofii: „Fizyka i chemia są podobne i, jak się zdaje, nie zachodzi wielka różnica w rodzajach rzeczy, o których mówią, oprócz tego, że chemia rozumiana w powszechnie przyjęty sposób nie ma zastosowania w bardzo wysokich temperaturach, a także chyba w bardzo niskich. Nie byłoby więc niczym zaskakującym, gdyby spełniły się od dawna żywione nadzieje na redukcję chemii do fizyki, jak się to najwyraźniej już dokonuje”⁵⁸. Zdanie, oczywiście, nie do końca prawdziwe, mimo że można by mechanikę kwantową uważać za „rozszerzenie” fizyki na chemię. Niestandardowe stany materii – kondensat Bosego-Einsteina i plazma wysokotemperaturowa są dowodem, jak fizyka potrzebuje pomocy chemii, aby wyjaśniać świat, nawet sto lat po powstaniu mechaniki kwantowej.

Nauczyciel, pracując z najdelikatniejszym tworzywem, jakim jest osobowość młodego człowieka, musi mieć jasność swego umiejscowienia w wielkich pytaniach humanistyki, ale też z delikatnością szanować poglądy ucznia.

⁵³ H. Gadamer, *Hermeneutika*, PWN, 2012

⁵⁴ K. Fedus, G. Karwasz, *Ramsauer-Townsend minimum in methane. Modified effective range analysis*, Eur.J. Phys. D, 2014

⁵⁵ R. Iliffe, *Newton. A very Short Introduction*. Oxford University Press, 2007, str. 127, tłum. autor

⁵⁶ A. Einstein *Come vedo il mondo*, Newton& Compton Editori, Roma, 2002, str. 13, tłum. autor

⁵⁷ Tamże, str. 28

⁵⁸ K. R. Popper, *Wiedza obiektywna. Ewolucyjna teoria epistemologiczna*. PWN Warszawa, 2012.

5.9. Fizyka a język

Język potoczny używa całego bogactwa wyrażen, które w języku fizyki nagle ulegają petryfikacji. Tak np. jest z pojęciami „szybkości” i „prędkości”, spetryfikowane przez niektóre krajowe wykładnie dydaktyczne, odmiennie niż to ma miejsce w języku angielskim.

Co oznacza w praktyce dydaktycznej różnorodność sensów i zakresów pojęciowych tych samych słów? Tłumaczy się ona na umiejętność szukania przez wykładowcę właściwego określenia dla najlepszego oddania znaczenia danego: i) zjawiska, ii) przedmiotu, iii) kategorii abstrakcyjnej. Doświadczony wykładowca nie ogranicza więc wyjaśnienia do cytowania definicji, ale stwarza bogatą warstwę słowną i przykładową dla przekazania właściwego znaczenia.

Rozważmy konkretny przykład z dydaktyki fizyki. W ostatnich latach niektóre środowiska fizyków w Polsce podjęły próbę rozgraniczenia słowa „prędkość”, jako odnoszącego się do ruchu od słowa „szybkość” jako odnoszącego się np. do reakcji chemicznych. Oczywiście, sztuczne rozgraniczenie dwóch słów całkowicie zamiennych w języku potocznym (i angielskim również, *speed* i *velocity*) prowadzi do niepowodzeń dydaktycznych. Dobór słowa „jednostajny” jest sam w sobie niefortunny. Sugeruje on „monotonny” a w rzeczywistości chodzi o ruch ze stałą prędkością. Co więcej, dla ruchu po okręgu też używamy określenia *jednostajny* (po okręgu) a jest on jak najbardziej niejednostajny w sensie fizyki – prędkość w każdym momencie zmienia kierunek (a prędkość jest *wektorem*, czyli wielkością dla której kierunek jest podstawowym atrybutem!)

Jak poradzić sobie z niefortunną definicją? Po pierwsze rozszerzyć zakres *słowny* przez użycie wyrażen bliskoznacznych. I tak, ruch ze stałą prędkością po linii prostej możemy nazwać ruchem *regularnym* zaś ruch po okręgu dodatkowo jest *powtarzalny*. I znów, włoski, język Galileusza, używa dwóch określeń zasadniczo różnych: *uniforme* jako jednostajny prostoliniowy i „ruch okrężny ze stałą prędkością”. Nie oznacza to, że powinniśmy zmieniać ustaloną terminologię, ale że powinniśmy jej używać ostrożnie, obrazowo mówiąc, znów po włosku, *z pincetą*. Co zrobiono w podstawie programowej MEN z 2007 r. z tym problemem? Po prostu usunięto ruch po okręgu z programu, czyli absolwent gimnazjum będzie upoważniony, aby nie rozumieć tytułu dzieła Kopernika...

Bogactwo języka warto wykorzystywać: 1) w konstruktywistycznym kształtowaniu koncepcji; 2) w uściśleniu tej koncepcji, poprzez *kodyfikację* wyrażen. Ruch toczący się po stole kulki lub przechadzającego się piechura jest: powolny → równy → równomierny → taki-stały → nudny, → *jednostajny*.

Analogia między ruchem (jednostajnym) po okręgu i po linii prostej jest jednak inna i niezwykle ważna: w obu przypadkach nie zmienia się energia *kinetyczna* poruszającego się ciała. Innymi słowy, przy braku dodatkowych sił ruch jest *wieczny*. Takie postawienie problemu otwiera kolejne *ścieżki* dydaktyczne. Otóż w ruchu po okręgu *występuje* siła – siła „dośrodkowa”. W ruchu planet tą siłą jest siła grawitacji pochodząca od Słońca. W ruchu kamienia na sznurku, jest to naciąg sznurka. Dlaczego więc siła dośrodkowa nie zmienia wartości prędkości poruszającego się ciała? Działa ona *prostopadle* do trajektorii ruchu. Według definicji fizycznej *pracy*, taka siła wykonuje pracę *zerową*, a zerowa praca nie zmienia *energii* kinetycznej ciała.

Analiza używanych pojęć, fortunnie lub niefortunnie, w kontekstach różnych języków, w kontekstach użycia *potocznego*, w kontekstach *historycznych* może niebywale wzbogacić proces dydaktyczny a przez to podnieść jego skuteczność. Z tego powodu, nauczyciel fizyki powinien stymulować u ucznia umiejętność precyzyjnego wyrażania się, tak w formie pisemnej jak w wypowiedziach słownych.

5.10. Nauczanie fizyki a meandry nauki

Jak wspomniano, nauka oparta jest na metodologii Kartezjusza, stopniowego, krok po kroku, dychotomicznego konstruowania wiedzy. Kolejne pytania stawiane są dopiero po wypracowaniu jednoznacznych odpowiedzi na poprzednie problemy. Różnorodne sposoby analizy zagadnienia (eksperyment, teoria, analogia, intuicja) wzajemnie się uzupełniają.

Jednakże współczesny nadmiar informacji, jej powszechność, pogoń za sensacją naukową, współzawodnictwo zawodowe, powodują, że sprawdzone paradygmaty podlegają swego rodzaju metodo-logicznym „skrótom”. Rodzi to nieraz przypadki kompromitacji naukowych, jak to było latem 2011 z wiadomością o neutrinach podróżujących między włoskim laboratorium Gran Sasso a CERN-em z prędkością przekraczającą prędkość światła w próżni.

Niejednokrotnie w historii nauki niewłaściwe pojęcia (ciepłika, eteru, płynu elektrycznego) mogą być pozytywne dla rozwoju wiedzy. Konsekwencją dydaktyczną powinna być otwartość w dyskutowaniu różnych ujęć tego samego problemu, np. praw mechaniki Kartezjusza obok praw Newtona. Prawa Kartezjusza były dla Newtona pierwowzorem. III prawo Kartezjusza mówiło, że w zderzeniu jedno ciało traci tyle pędu, ile drugie zyskuje. Niestety, Kartezjusz nie potrafił jeszcze zdefiniować poprawnie pędu, w szczególności nie rozumiał jego wektorowej natury. Ale jeśli Kartezjusz miał problemy z pojęciem pędu, to co się dziwić uczniowi... Innymi słowy – dogłębna znajomość zagadnienia przez nauczyciela, obok talentu pedagogicznego jest gwarancją jego tolerancji i wyrozumiałości dla uczniów.

Również największe odkrycia stanowiące podstawę fizyki współczesnej, jak promienie X czy radioaktywność nie były wolne od pomyłek. Wilhelm Röntgen poprawnie zidentyfikował hamowanie elektronów na anodzie jako źródło promieniowania X i zauważył nadzwyczajną przenikliwość tego promieniowania. Błędnie natomiast stwierdził, że promieniowanie X nie jest falą. Nie potrafił zaobserwować dyfrakcji - długość fali promieniowania X jest zbyt krótka, aby wystąpiła dyfrakcja na siatkach optycznych. Dyfrakcję obserwuje się dopiero na monokryształach, które dla promieni X są siatkami o „nacięciach” w odległościach pojedynczych Angströmów.

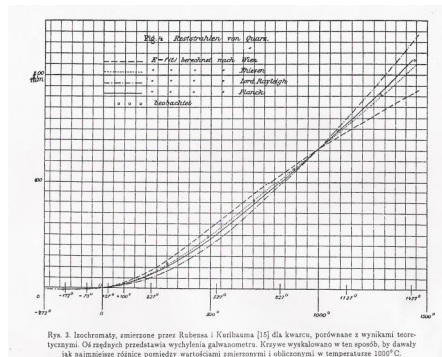
Pierre i Maria Curie zidentyfikowali rudy uranu, a w nich rad i polon jako źródła promieniowania zaczerniającego kliszę fotograficzną i powodującą jonizację powietrza. Obserwowali też powstawanie ciepła w trakcie rozpadu pierwiastków promieniotwórczych. Przy braku innego wyjaśnienia, ich „hipotezą roboczą” był wychwytywanie nieznanego rodzaju energii z otoczenia przez pierwiastki promieniotwórcze. Dziś wiemy, że źródłem energii jest ubytek masy, według wzoru Einsteina $E = mc^2$. Ubytek masy jest tak mały, że dopiero dokładne pomiary mas pierwiastków przeprowadzone kilkadziesiąt lat po odkryciu Państwa Curie wyjaśniły przyczynę nieznanego źródła energii. A „naoczny” potwierdzenia wzoru Einsteina dokonano w lipcu 1945 roku, poprzez wybuch bomby atomowej na pustyni w Los Alamos...

Meandry w rozwoju nauki i liczne błędne idee nie przeszkadzają w dalszym, owocnym postępie. Świadomość możliwości popełnienia błędu oraz umiejętność jego analizy jest potrzebna naukowcowi, nauczycielowi, uczniowi. Dydaktycznie, błędy w umyśle ucznia zazwyczaj mają jakąś przyczynę – nieumiejętność użycia właściwych pojęć, trudności w przeprowadzeniu wyводу logicznego, braki wyobraźni itd. (oprócz, oczywiście przyczyn poza-merytorycznych...). W działaniu konstruktywistycznym, w grupie uczniowskiej prowadzonej umiejętnie przez nauczyciela, błędy te mogą być wskazówką dla pozostałych uczniów, jaka ścieżka rozumowania prowadzi do poprawnych wniosków. Jak mówi przysłowie: „uczmy się na błędach, a ponieważ w naszym życiu możemy je popełnić niewystarczającą ilość razy – lepiej uczyć się na błędach innych”.

5.11. Fizyka *in statu nascendi*

Fizyka, w odróżnieniu np. od historii czy literatury, częstokroć przedstawiana jest w postaci „zamkniętego” gmachu wiedzy. Nie dotyczy to bynajmniej aksjomatycznego niejako przedstawiania praw Newtona czy typów obrazów powstających w soczewce ale działań wybitnych nawet fizyków. W końcu XIX wieku „po odkryciu fal Maxwella, sukcesach mechaniki Newtona, sformułowaniu praw termodynamiki, powszechnie uważano, że dalszy postęp fizyki będzie odbywał się poprzez poprawianie dalszych cyfr znaczących w stałych fizycznych. Jeszcze w 1900 roku, na grudniowym wykładzie Maxa Plancka, okazało się, że obserwowalne „gołym okiem” prawo promieniowania ciała doskonale czarnego, innymi słowy zmiana koloru rozgrzanej do „czerwonoci” podkowy, nie jest możliwe do wytłumaczenia bez radykalnej rewolucji w fizyce: energia promieniowania jest emitowana w postaci kwantów.

Planck przez kilka miesięcy pracował nad podaniem wzoru opisującego obserwowane natężenie promieniowania, szczególnie w zakresie podczerwieni: niezgodność jego kolejnych wzorów za danymi doświadczalnymi wydawała się nieistotna, zob. rys. poniżej.



Rys. 1. Infrarotstrahlung, zmierzona przez Rubens i Kurlbaum [15] dla kwarcu, porównana z wynikami teoretycznymi. Osi rzędnych przedstawia wychylenia galvanometru. Rzynek wykalibrowano w ten sposób, by dawały jak najdokładniejszą wartość pomiarową i składowymi w temperaturze 1200°C.

Porównanie teorii Plancka (z jego oryginalnej pracy 1901 roku) z innymi teoriami i danymi doświadczalnymi – zależność natężenia promieniowania od długości fali. Rozbieżność, niewielka, była powodem największej jak dotychczas rewolucji w fizyce: powstania teorii kwantów.

Planck pracował nad zadaniem ambitnie zdefiniowanym: połączenia praw Maxwella z prawami termodynamiki. Planck szukał wyjaśnienia, dlaczego w promieniowaniu termicznym jest stosunkowo mało krótkich fal (i istnieje jednoznaczna granica długości fal, poniżej której nie obserwuje się tego promieniowania). Żadne z założeń *ad hoc* nie dawało zadowalającego wzoru, dopóki Planck nie założył, że energia jest emitowana w kwantach o energii proporcjonalnej do *częstotliwości* promieniowania.

Rewolucja Plancka jest przykładem, jak pozornie nieistotne problemy prowadzą do zupełnie nowych obszarów wiedzy. Mechanika kwantowa, która powstała kilkanaście lat po teorii Plancka, otworzyła nam wiedzę o mikroświecie. Za pomocą chemii kwantowej projektuje się leki i barwniki fotowoltaiczne.

Otwartych problemów w fizyce pozostaje mnóstwo: od przewodnictwa „wysokotemperaturowego” (tj. w temperaturach rzędu ciekłego azotu, 77 K), po ciemną energię i masę, bez wątpienia istniejącą we Wszechświecie, nawet w naszej Galaktyce, a o której nie mamy nawet pomysłu, gdzie i jak jej szukać. Pracuje się nadal np. nad połączeniem mechaniki kwantowej i grawitacji, ale i na tym polu brakuje przekonujących pomysłów.

Nauczyciel, w warunkach *zmieniającej się* naszej wiedzy o prawach fizyki, pozostaje w trudnej sytuacji. Nauczyciel potrzebuje pomocy merytorycznej w ocenie „nowinek” naukowych, a czasopisma popularnonaukowe nie zawsze są dostatecznie w tej kwestii kompetentne. Ważną rolę powinny więc w tej kwestii spełniać uczelnie wyższe.

VI. Zasady dydaktyczne w epoce internetu

6.1. Zasady dydaktyki w ujęciu tradycyjnym

Przez zasady dydaktyczne rozumiemy pewne ogólne metody postępowania w procesie dydaktycznym. Zasady te w większym stopniu dotyczą nauczania, ale stosują się również do samodzielnego zdobywania wiedzy. Zasady te są ogólne, czyli stosują się do różnych poziomów nauczania i różnych przedmiotów.

Z zasad można wyprowadzić szczegółowe *recepty* efektywnego uczenia i uczenia się. Takimi receptami w zakresie procedur są na przykład wytyczne do pisania reportaży, inne niż do pisania pracy magisterskiej; a w zakresie dydaktyk przedmiotowych – wzorcowe doświadczenia do nauczania ruchu przyspieszonego, inne niż dla ruchu jednostajnego.

Sposoby i metody nauczania stosowane w dydaktyce fizyki mogą być inne niż w innych dydaktykach przedmiotowych, ale wynikają z pewnych ogólnych zasad. Przedstawimy najpierw klasyczne ujęcie zasad dydaktycznych w literaturze polskiej, po czym przedstawimy ich zastosowania do fizyki, również w kontekście trendów w tzw. Europie Zachodniej.

Zasady ujęte w tej książce, mimo że ogólne, wynikają z doświadczenia w rozwiązywaniu problemów dydaktycznych ucznia (i nauczyciela), i to głównie w fizyce. Proponowana klasyfikacja i implementacja zasad dydaktycznych nie jest wynikiem ogólnej typologii a raczej skutkiem poszukiwania zasad ogólnych, użytecznych dla przygotowania recept szczegółowych. Przedstawione zasady są inne niż w ujęciu tradycyjnym, mimo że częściowo z zasadami tradycyjnymi się nakładają. Przechodzimy zasady, które nauczyciel, w trakcie interaktywnego procesu współdziałania z uczniem powinien w swej świadomości przywoływać każdorazowo, kiedy napotka na trudność („supel”) dydaktyczny.

W tradycyjnym ujęciu zasady dydaktyczne obejmują (wymieniamy je tu za Franciszkiem Bereźnickim⁵⁹):

- 1) zasadę poglądowości
- 2) zasadę przystępności
- 3) zasadę systematyczności
- 4) zasadę świadomego i aktywnego udziału
- 5) zasadę trwałości wiedzy
- 6) zasadę efektywności (W. Okoń)
- 7) zasadę indywidualizacji i zespołowości
- 8) zasadę związku teorii z praktyką
- 9) zasadę operatywności wiedzy (Cz. Kupisiewicz)
- 10) zasadę ustawiczności kształcenia

Różni autorzy⁶⁰ nadają powyższym zasadom różne priorytety, jednakże zbiorcza lista jest u różnych autorów podobna. Oczywiście, zasady te nie są odkryciem dydaktyki XX wieku. John Locke pisał np. w XVIII wieku w kwestii zasady poglądowości i stopniowania trudności: „Pomyślałem sobie przeto, że gdyby zabawki przystosować do tego celu tak, jak się ich zwykle nie przystosowuje do żadnego, można by porobić wynalazki dla nauczania dzieci czytania w czasie, gdy sądzą, że się jedynie bawią. Na przykład: gdyby sporządzić kulę z kości słoniowej [dziś można z plastiku, GK], na kształt kuli używanej przy loterii w czasie zabaw ludowych, z trzydziestu dwu lub raczej z dwudziestoma czterema ścianami, i gdyby na

⁵⁹ F. Bereźnicki, *op. cit.*

⁶⁰ W. Okoń *Wprowadzenie do dydaktyki* op. cit., s. 171

Cz. Kupisiewicz, *Podstawy dydaktyki ogólnej*, op. cit. s. 107

J. Półturzycki, *Dydaktyka ogólna*, op. cit. s. 128..

poszczególnych tych ścianach nakleić na jednych A, a na innych B, na innych C, a na innych D. Chciałbym, abyście zaczęli tylko od tych czterech liter, gdy zaś chłopak doskonale je pozna, wtedy dodajcie inne itd. tak długo, aż na każdej ścianie będzie jedna litera, a na całej kuli cały alfabet.”⁶¹

Powyższe zasady wydzielają z procesu dydaktycznego jego podskładniki, w postaci niejako postulatów. Postulaty te są więc uproszczeniami, nie uwzględniającymi skomplikowanych zależności (podmiotu docelowego) ↔ etapu nauczania ↔ celów ↔ treści ↔ zasobów ↔ środków. Dyskusowanie pojedyncze zasad przypominałoby zastanawianie się, czy do zderzenia dwóch kulek *stosuje* się prawo zachowania energii, prawo zachowania pędu czy prawo zachowania momentu pędu. W rzeczywistości, wszystkie trzy prawa stosują się w jednakowym zakresie a jedynie do rozwiązania określonego zagadnienia bardziej efektywne jest *zastosowanie*, na danym etapie rozumowania jednego czy dwóch z tych praw. Przedyskutujmy poniżej kilka z powyższych zasad w ich tradycyjnym ujęciu.

Zasada trwałości wiedzy

Zasada trwałości wiedzy bierze się choćby z łacińskiej maksymy *Repetitorium mater scienae*. Powtarzanie wiedzy (lub np. poezji) było podstawowym sposobem przekazu w społeczeństwach niepiśmiennych. Dziś, rola powtarzania jako czynnika wspomagającego zapamiętanie jest coraz mniejsza. Co więcej, tendencją dydaktyczną jest skłonność do nieobciążania pamięci *żadnymi* treściami, w rodzaju szkolnych wierszyków. Oczywiście, w rozumieniu kognitywistyki i neoropsychologii rozwojowej taka tendencja jest niewłaściwa.

Unikanie obowiązkowych treści do zapamiętania nie kształtuje odpowiednich funkcji w mózgu; w informatyce powiedzielibyśmy, że nie rezerwuje się odpowiednich *obszarów roboczych* do przechowywania wiadomości. Co więcej, proces dydaktyczny powinien rozwijać różne postacie zapamiętywania (potocznie zwane różnymi typami „pamięci” – wzrokowa, słuchowa, przestrzenna itd.). Jak to czynić? Przez uzupełnienie procesu dydaktycznego – grą, zabawą, ale w zapamiętywanie.

Szczegółowe recepty dydaktyczne, oparte o testy psychologiczne, mówią jak powinien wyglądać proces zapamiętywania i powtarzania, aby wiedza była trwała. Najkrócej, zapamiętywanie wymaga pewnego minimalnego okresu *stabilizacji* wiedzy – nie należy się uczyć w przeddzień egzaminu, ale nie co wcześniej a przed samym egzaminem tylko wiedzę powtórzyć. Oczywiście, w natłoku zajęć ucznia takie recepty pozostają częstokroć tylko postulatami. Inna recepta mówi, że pierwszego powtórzenia już przyswojonej wiedzy należy dokonać kilka dni po zapamiętaniu, a kolejnego za kilka tygodni/ miesięcy.

Zasadę trwałości wiedzy, traktowaną *pragmatycznie*, należy powiązać tak z celami, jak i innymi zasadami nauczania. Słynna recepta przygotowania egzaminu „trzy zet” stanowi przejaw takiego, studenckiego, pragmatyzmu, oczywiście posuniętego do granicy absurdu. Zapamiętywanie o tyle jest niezbędne (oprócz wspomnianego celu rezerwacji struktur w pamięci), o ile służy *praktycznemu wykorzystaniu* wiedzy oraz wspomaga dalsze etapy zdobywania wiedzy. Szczególnie ten drugi cel jest istotny: bez właściwie ugruntowanej wiedzy podstawowej nie jest możliwe dalsze uczenie się. Niezbędna jest więc wiedza trwała, przynajmniej o *średnim* (kilkutygodniowym, kilkuletnim) okresie trwałości. Wrócimy do tego zagadnienia przy omawianiu naszej zasady *rekurencyjnego konstruowania* wiedzy, w rozdziale 6.3.

Oprócz wiedzy o średnim okresie trwałości, w przygotowaniu obywateli do dorosłego, długoterminowego życia zawodowego i prywatnego, niezbędne jest dostarczenie wiedzy tak

⁶¹ J. Locke, *Myśli o wychowaniu*, Ossolineum, Wrocław- Kraków, 1959, str. 153

trwałej jak umiejętność chodzenia czy jazdy na rowerze. Jest to i *wiedza* w sensie zapamiętanych treści „Litwo, Ojczyzna moja..”, jak i *umiejętności*, np. robienia wykresów w układzie kartezjańskim. W procesie dydaktycznym należy wyodrębnić swego rodzaju „niezbędnik” dorosłego człowieka – uczynić wiedzę *użyteczną* na trwałe.

Reasumując, zasada trwałości wiedzy skojarzona z innymi zasadami dydaktycznymi i z *celami* dydaktycznymi przyjmuje trzy warianty:

- zapamiętanie wiedzy jako sposób *treningu* umysłowego
- zapamiętanie wiedzy i umiejętności jako niezbędny etap łańcucha uczenia się
- zapamiętanie umiejętności i wiedzy jako potrzebny element w przyszłych⁶² działaniach.

Praktyczne realizacje zasady trwałości wiedzy mogą się różnić, w zależności od powyższych szczegółowych wariantów.

Podobnie uproszczeniem, a nawet raczej postulatem jest zasada świadomej aktywności uczniów. Każdy nauczyciel wie, że pełną aktywność uczniów może wyzwolić dopiero psychologiczna sytuacja zagrożenia, współzawodnictwa, sprawdzianu, egzaminu i to też nie zawsze aktywność ta idzie w pożądanym kierunku. Aktywność uczniów (i ich uwaga) jest w normalnych warunkach szkolnym czy uniwersyteckich raczej przywilejem, którym rzadko i na krótko słuchacze obdarzają wykładowcę. Rzymskie wskazówki dla mówców, potwierdzone przez współczesną kognitywistykę, rekomendowały wystąpienia dwudziestominutowe, jako maksymalnie długie będące w stanie utrzymać uwagę słuchaczy. Uwaga (a bez niej nie ma aktywności) musi jednak być przez nauczyciela lub przez autora witryny internetowej *zdobyta* i maksymalnie długo *utrzymana*.

Bardzo ważna jest zasada indywidualności i i zespołowości (indywidualizacji i uspołecznienia i W. Okonia) ale ma ona różne interpretacje. Podejście F. Bereźnickiego „nauczyciel powinien indywidualnie oddziaływać na uczniów odbiegających od normy w formie odpowiedniej pomocy skierowanej na wyrównanie braków słabszego, a doskonalenie lepszego” jest ponownie *postulatem*, jak zresztą stwierdzają liczni autorzy, zdający sobie sprawę ze sprzeczności między *normą* a *indywidualnością*.

Wyjaśnienia wymagałoby samo pojęcie *normy*. Statystycznie, w grupie szkolnej trudno mówić o normie dydaktycznej, jako założeniu docelowemu. Wynikowo, można mówić o średniej wyników i o odchyleniu standardowym (67% uczniów) od tej średniej. Oczywiście, wysoka średnia w grupie szkolnej jest pożądana, jeżeli ta średnia jest *celem* procesu dydaktycznego. Tak nie zawsze musi być. Z drugiej strony, indywidualizacja procesu nauczania, wymagana w wytycznych edukacyjnych UE, nakłada na nauczyciela zadania komplementarne – przygotowania zadań specjalnych dla uczniów najzdolniejszych. A jeszcze dodatkowo, zasada *demokratyzacji* dostępu do wiedzy, zawarta w maksymie „*no-student left behind*” nakłada konieczność pracy z uczniem najsłabszym...

Co oznacza w praktyce dydaktycznej ta różnorodność sensów i zakresów pojęciowych tych samych słów? Tłumaczy się ona na umiejętność szukania przez wykładowcę właściwego określenia dla najlepszego oddania znaczenia danego i) zjawiska, ii) przedmiotu, iii) kategorii abstrakcyjnej. Doświadczony wykładowca nie ogranicza więc wyjaśnienia do cytowania definicji, ale stwarza nie tylko warstwę słowną, ale i przykładową, obrazową dla przekazania właściwego znaczenia.

⁶² Najwłaściwszym określeniem byłoby to angielskie *long-life*, czyli „na całe życie”

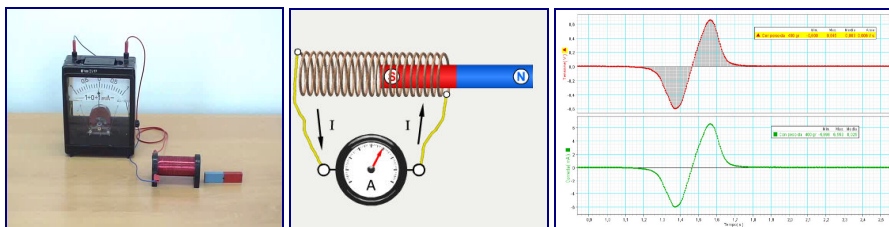
6.2 Zasada hyper-konstruktywizmu

Za wynalazcę (lub raczej odkrywcę) metody heurystycznej uważa się Sokratesa. W swoich dyskusjach na ateńskiej Agorze, zadając umiejętnie pytania swoim rozmówcom, doprowadzał ich do wcześniej zamierzonych konkluzji. Nazywamy metodę Sokratesa metodą położniczą – jakoby wiedza drzemiała gotowa w rozmówcach a filozof jedynie pomagał tej wiedzy ujrzeć światło dzienne.

Konstruowanie wiedzy u Sokratesa opierało się na założeniu, że logiczne myślenie może, nawet w sytuacji braku innych przesłanek, doprowadzić do jedynej (tak przynajmniej w rozumieniu filozofii), prawdziwej wiedzy. Nie wglębiając się w dyskusje o istnieniu lub nie prawdy w rozumieniu filozoficznym, współczesne przyrodoznawstwo dysponuje ogromną ilością faktów naukowych. Jesteśmy więc w stanie konstruować *ścieżki poznania* ze znacznie mniejszym niż Sokrates bagażem intuicyjności a znacznie większym stopniem pewności. Co więcej, droga poznania u Sokratesa była ściśle wytyczona. W dzisiejszej dydaktyce, drogi dojścia do *celu* dydaktycznego mogą być różnorakie, tak ze względu na metodologię (środki dydaktyczne) jak i na sposób rozumowania. Obrazowo, metoda Sokratesa to przechodzenie *de facto* przez ściśle wytyczony korytarz, kolejno odsłaniając kotary zakrywające kolejne etapy rozumowania. Celem współczesnej metody heurystycznej nie jest koniec korytarza ale ogólnie rozumiany *drugi, nieodkryty brzeg* rzeki, przez którą przechodzimy po wbitych w dno palach.

Zasada hyper-konstruktywistyczna, w stosunku do metody heurystycznej, wprowadza inne, szersze cele i inne, zróżnicowane metody. Cel procesu dydaktycznego nie jest wąsko rozumianym wynikiem rozumowania, ale szeroko pojętym nabyciem wiedzy w danej poddziedzinie. Podajmy przykład indukcji elektromagnetycznej (który zgłębimy dokładniej w par. 6.5). Ścieżka, ściśle wytyczona polega na kolejnych doświadczeniach: i) „- Co zaobserwujemy, gdy wsuwamy magnes do zwojnicy?” ii) „-Co zaobserwujemy, gdy magnes wysuwamy?”

Wąsko pojętym celem dydaktycznym byłby przekaz „wsuwanie magnesu do zwojnicy powoduje przepływ prądu”, zob. rys. poniżej.



Ścieżka hyper-konstruktywistyczna nauczania indukcji elektromagnetycznej. Sekwencja stopniowego *odkrywania* zagadnienia przez ucznia. 1) Zasada „SPEW” – sytuacja, przewidywanie, eksperyment, wyjaśnienie. 2) model komputerowy ilustrujący zagadnienie, 3) *pomiar* za pomocą automatycznego systemu komputerowego wielkości i kierunku indukowanego napięcia.

Formalne ujęcie problemu koncentrowałoby się na przewidzeniu, za pomocą reguły prawej dłoni, kierunku powstającego prądu. Krytykowaliśmy w innych częściach niniejszego opracowania takie podejście: jest ono formalne i nie dostarcza uczniowi istotnych *kompetencji* – pojęciowych i praktycznych. Istotniejsze jest wskazanie, że zasada Lenza jest przykładem stosowności zasady zachowania energii: kierunek powstającego prądu jest taki, że wywołane nim pole magnetyczne przeciwstawia się sile zewnętrznej.

6.3 Rekurencyjne konstruowanie wiedzy

Z opisaną powyżej zasadą współ-tworzenia wiedzy, odpowiadającą nieco tradycyjnej zasadzie nr 4), tj. aktywnego i świadomego udziału uczniów, łączy się kolejna zasada, rekurencyjnego, tj. krok po kroku konstruowania wiedzy. Nie jest to jedynie zasada stopniowania trudności, ale realizacja kartezjuszowskiego, dychotomicznego rozważania problemów, por. rozdział III. W zasadzie rekurencyjnego konstruowania wiedzy, grupa uczniów, prowadzona dyskretnie przez nauczyciela, artykułuje kolejne stwierdzenia, po czym je dyskutuje, weryfikuje, przyjmuje albo odrzuca. Po upewnieniu się, że cała grupa akceptuje dokonany krok i nie ma (istotnych) wątpliwości, nauczyciel wskazuje dalsze możliwe i alternatywne kroki – perspektywy dla dalszych pytań ze strony uczniów.

Stopniowość postępowania przypomina kroczenie po palach przez jezioro: po postawieniu nogi na kolejnym pału, dostawieniu drugiej nogi i ustabilizowaniu równowagi, zaczynamy rozglądać się, gdzie postawić kolejny krok (i jak ewentualnie wrócić, jeśli droga będzie błędna). Ponownie, rekurencyjne konstruowanie wiedzy wymaga, aby nauczyciel znał nie tylko (jedyną zazwyczaj) drogę poprawną, ale również *dlatego* inne są niepoprawne.

Poniżej wracamy do zagadnienia, dlaczego ciała spadają, przedstawiając szczegółowy scenariusz pytań. Z każdym pytaniem wiąże się odpowiednie doświadczenie, *jednoznacznie* sugerujące poprawną odpowiedź. Sekwencja pochodzi z interaktywnego wykładu dla dzieci w wieku 6-10 lat, zob. wcześniejsze wyniki dydaktyczne w rozdziale II.

1^o Prof.: - Dlaczego ciała spadają?
Aula: - *Bo działa na nie grawitacja*
Prof.: - Tak, to już sobie wyjaśniliśmy, ale nie wiele z tego wynika.
Prof.: - Był taki brodaty filozof, Arystoteles, który twierdził, że ciała spadają, bo są ciężkie, a naturalnym miejscem ciał ciężkich jest środek Ziemi.
[W międzyczasie zdejmuję marynarkę, niby z gorąca, kładę na stole i spuszczam na nie piłkę]
Prof.: - Widzicie, że to prawda? Piłeczka chciała polecieć do środka Ziemi i gdyby nie stół, poleciałaby niżej.

2^o Prof.: Ale czy ciała mogą same podskoczyć? [I tu następuje (nieudana) próba telepatii]
Prof.: Teraz wam pokażę inne doświadczenie.
[Następuje sekwencja z listwą wyciętą w środku i piłeczką. W pierwszej fazie piłeczkę zatrzymujemy w najniższym, środkowym punkcie listwy]
Prof.: - Podobało się doświadczenie?
Aula: *następuje pomruk dezaprobaty, ale nie pozwalamy na jej wyartykułowanie!*
Prof.: - A teraz pokażę wam, jak można kuleczkę wytresować. [następuje chuchanie, pomrukiwanie i pocieranie kulki]
Prof.: - Kuleczko leć! [tym razem nie zatrzymujemy jej w środku, ale kiedy przeleci najniższy punkt i wtoczy się pod górę z drugiej strony listwy]
- i wracaj!
[Śmiech na sali, czasem pokrzykiwania „- bo Pan ją przedtem zatrzymał!”⁶³

3^o Prof.: - Widzicie? Mamy nowy sposób na tresowanie piłek.
[Teraz spuszcza tę samą piłeczkę co poprzednio, tylko nie na marynarkę, ale na twardą podłogę. Oczywiście, piłeczka się odbija]

4^o [Następuje sekwencja z dwoma piłeczkami, spadającymi jedna na drugą po czym lżejsza odbija się pod sufit.]
Dzieci same, po 2-3 próbie odpowiedzi mówią:
Aula: *Bo ta dolna przekazała górnej energię.*

5^o Na tym w zasadzie cel dydaktyczny został osiągnięty – wskazanie na *energię* jako źródło ruchu ciał.

W lekcji pokazujemy około 20 innych zabawnych eksponatów, ale jak widać z weryfikacji wyników, doświadczenie z listwą i piłeczkami pozostaje dzieciom dobrze w pamięci.

Podobnie rekurencyjne ścieżki warto stworzyć w innych działach fizyki: „co będzie, jeśli założymy następującą hipotezę...” Przykład odkrywania własności widm emisyjnych (tzw. liniowych i pasmowych), poprzez wykorzystanie subiektywności oka ludzkiego przedstawiamy np. w scenariuszu „Jakiego koloru jest różowa lampka” w materiałach „Fiat Lux”.

⁶³ Dzieci same się dziwią, że zaakceptowały poprzednie doświadczenie z kulką zatrzymaną w środku i że przyjęły wyjaśnienie Arystotelesa: kulka, według Arystotelesa, nie miała prawa wrócić!

6.4. Recepty kognitywistyczne

Kognitywistykę zdefiniowaliśmy jako naukę o procesach *poznawczych* i w tym sensie dydaktyka jako nauka o świadomym i celowym poznawaniu byłaby jedną z dziedzin kognitywistyki. Kognitywistyka w odróżnieniu od dydaktyki nie zajmuje się treściami ani celami, więc te dwie nauki mają wspólne obszary badawcze, ale są odmienne.

Kognitywistyka korzysta z osiągnięć psychologii, neurologii, pedagogiki ale stosuje też skomplikowane metody doświadczalne badania mózgu, jak tomografia anihilacji pozytonów czy rezonans magnetyczny. Sygnały elektryczne pojawiające się w określonych miejscach mózgu mogą być monitorowane nie tylko w sposób statyczny, ale mogą być analizowane ich bardzo szybkie sekwencje czasowe. W początkach neurologii mózgu, rozpoznawano obszary mózgu aktywne dla określonych funkcji (wzroku, mowy) na podstawie uszkodzeń (chirurgicznych, wojennych). Nowoczesne metody diagnostyczne identyfikują rzeczywistą *aktywność* mózgu a nie jej brak.

Dobrym przykładem jest opisany już problem dysleksji. Neurofizjologia jasno wskazuje, że przetwarzanie informacji w mózgu musi się odbywać z uwzględnieniem pewnych „postojów” sygnału. U osób dotkniętych dysleksją tego rodzaju postojów nie ma. Osoby te nie są upośledzone a raczej nad-rozwinęte. Kognitywistyka bada też autyzm: i tam brakuje właściwych sekwencji potencjałów i współpracy określonych obszarów w mózgu. Badania przepływu krwi w procesie przypominania sobie informacji wskazują na aktywizację innych obszarów mózgu przy przywoływaniu zdarzeń konkretnych, zlokalizowanych i niedawnych a innych przy przywoływaniu wiadomości odległych, ogólnych i abstrakcyjnych⁶⁴.

Jaka z tego wynika rada dla dydaktyki? Różnorodność metodologiczna lekcji – sekwencje, powtórzenia, odwoływanie się do analogii, wykorzystanie różnych bodźców sensorycznych (poczucie ciepła na policzku, nacisk dłoni na stół, stukot toczącej się kulki) oraz stanów psychicznych („raz zabawić, raz przestraszyć”) odzwierciedla złożoność funkcjonalną mózgu. Proces poznawczy musi być zróżnicowany i nie może być zbyt szybki: na każdym jego etapie może być niezbędne pozorne *spowolnienie* tempa przekazu, tak aby sygnały elektryczne w mózgu miały czas trafić na swoje przeznaczone miejsca. Co więcej, te „opóźnienia” (muzycznie nazwalibyśmy je *fermatami*) są odpowiednio skwantowane, dłużej lub krócej w zależności od stopnia złożoności sygnału, reakcji słuchacza itd⁶⁵.

W konkretnej lekcji, poszczególne elementy procesu dydaktycznego muszą być zróżnicowane tak, aby każdy uczeń, z jego indywidualnymi predyspozycjami, potrafił przynajmniej na jednym etapie wykorzystać swą optymalną zdolność uczestniczenia w ścieżce poznawczej.

Niezwykle ważnym wynikiem kognitywistyki jest zidentyfikowanie *rozwoju* określonych struktur biologicznych w mózgu. Struktury te, np. dla myślenia abstrakcyjnego pojawiają się w ściśle określonym wieku (momencie rozwoju mózgu). Wynikają z tego dwie bardzo ważne konsekwencje dla dydaktyki. Po pierwsze, jest bezcelowy przekaz treści i/lub stymulowanie umiejętności zanim w mózgu pojawią się odpowiednie struktury mogące te treści/

⁶⁴ E. Tulving, *Pamięć: wykonanie, wiedza i doświadczenie*, Eur. J. Cognitive Psychology 1 (1989) 3-26, za: *Psychologia poznawcza w trzech ostatnich dekadach XX wieku*, Red Z. Chlewiński, Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne (2007), t. 2, str. 513

⁶⁵ Podobne doświadczenie dotyczy kolegi z liceum, który miał nieprzewyciężalne kłopoty z nauką języka rosyjskiego: w żaden sposób nie był w stanie zrozumieć, że słowa rosyjskie mogą być akcentowane inaczej niż w standardowym, polskim systemie. Po nieskończonych próbach czytania, problem rozwiązaliśmy wystukując rytm akcentów za pomocą ołówka. Dokonałiśmy w ten sposób *abstrakcji* od konkretnego języka, jego znaczenia, wymowy, sekwencji spółgłosek i samogłosek a pozostał jedynie *iloczas*, nieobecny w języku polskim a istotny dla rosyjskiego (i np. włoskiego). Mowie został nadany rytm, wymuszający przyspieszanie i opóźnianie.

umiejętności *gościć*. Po drugie, kiedy te struktury się pojawią, powinny być możliwie szybko zajęte przez pożądane treści/ umiejętności. W przeciwnym razie grozi, że zostaną one zajęte przez inne umiejętności. Zagadnienie to w większym stopniu przypomina zasady programowania komputerów niż klasyczne zagadnienia psychologii rozwojowej. Niezwykle pouczające są tu różnego rodzaju porównania ze zwierzętami, które w niektórych sytuacjach wydają się inteligentniejsze niż ludzie⁶⁶.

Badania nad mózgiem człowieka dostarczają również informacji niezwykle optymistycznych (ale i nakładających nowe zdania na nowoczesną dydaktykę). Otóż wydaje się, że jedyni 10-15% naszych możliwości intelektualnych jest wykorzystywanych przez współczesnego człowieka. Oznacza to, że jeśli uda się dotrzeć do struktur niewykorzystanych, możliwości uczenia się i działania człowieka wzrosną wielokrotnie. Świadome lub nieświadome, celowe lub ukryte i wreszcie dobrowolne lub przymusowe uruchamianie tych struktur może się stać jednym z głównych zagadnień naukowych XXI wieku.

Kognitywistyczna lekcja dla dydaktyki implikuje konieczność delikatnego sterowania możliwościami poznawczymi każdego dziecka, tak aby własnymi zasobami wiedzy i możliwościami umysłowymi osiągnęło one cel satysfakcjonujący nauczyciela. Inny będzie to wynik dla dziecka nadzwyczaj zdolnego, inny dla dziecka mającego trudności manualne lub trudności osobowości. Kognitywistyka przydziela każdemu uczniowi odpowiednie tempo zdobywania wiedzy, zob. foto poniżej.



Fot. 3.18. Zadania pedagogiczne w interaktywnych wykładach dla dzieci w ramach Uniwersytetu I wieku „UniKids”: a) Spontaniczny podział ról w planowaniu eksperymentu – pomiar napięcia baterijek; b) wspomaganie podmiotowości: „- No, powiedz wszystkim, co chciałeś!”; c) fascynacja zwyciężą stres: „- Wreszcie mogę spróbować sam!” Który samochód zjedzie szybciej (Autor GK, Fot. MK)

Ponownie, a zgodnie z ugruntowaną w literaturze zachodniej zasadą *Pedagogical Contents Knowledge*, nowoczesna realizacja tej tradycyjnej zasady *indywidualizacji* nauczania wymaga ściślej współpracy między:

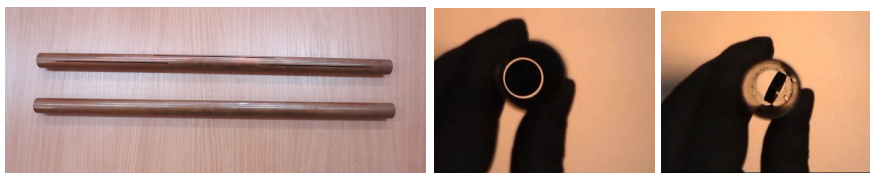
- fizykiem naukowcem wskazującym, jaki jest obecny najlepszy-nasz-stan-wiedzy w określonym zagadnieniu fizycznym;
- dydaktyka, tłumaczącego ten zaawansowany stan wiedzy na możliwie najprostsze wyjaśnienie, na danym poziomie wiedzy ucznia;
- pedagoga, oceniającego zachowanie dydaktyka, i wskazującego na zaistniałe pozamerytoryczne problemy percepcji ucznia.

⁶⁶ Damy tu trzy przykłady z wykorzystaniem komputerów. Badania francuskie z lat 90-tych XX wieku dotyczyły bardzo prostej gry komputerowej: spadającą na ekranie literę F należało, za pomocą joysticka tak operować (przesuwać, obracać) aby wpadła w przygotowane miejsce na dole ekranu. Testowanym pracownikom naukowym zajęło to 60 sekund, studentom 50 sekund, a szympansovi 30 sekund. Oczywiście, szympanasy znacznie szybciej i precyzyjniej niż ludzie reagują na kierunek lotu spadających z drzew obiektów. W kolejnym doświadczeniu, świnię za pomocą grubego joysticka przesuwano ryjem otwierały zapadki ze smakołykami i radziły sobie z tym znakomicie. W najbardziej skomplikowanym eksperymencie, japońskim z XXI wieku, szympanasy w ułamku sekundy zapamiętywały dwuwymiarowe matryce znaków, 10x10 a następnie bezbłędnie je odtwarzały w sekwencji czasowej, co okazało się dla testowanych osób kompletnie niemożliwe. Określone gatunki zwierząt w toku ewolucji, wytworzyły w mózgu odpowiednie struktury, które człowiek musiałby wytworzyć poprzez długotrwały trening.

6.5. Ścieżki poznania: pogładowość, matematyka i język

Doświadczenie z silnym, neodymowym magnesem spadającym w miedzianej rurce jest proponowane przez niektóre wydawnictwa w Polsce jako środek dydaktyczny wzbogacający nauczanie elektromagnetyzmu. W 2003 roku zaproponowaliśmy zmodyfikowaną wersję tego doświadczenia, w którym rurka ma wąskie podłużne nacięcia. Pomysł został natychmiast skopiowany jego sens natomiast nie! Jaki jest sens uczynienia podłużnych nacięć w rurce?

Otóż, o całkach absolwenci liceum, przynajmniej tego „starej daty” mniej-więcej słyszeli. Jest to (jakaś) operacja matematyczna, która ma wiele zastosowań, zapewne i w statystyce jak i (na pewno) w technice i fizyce. Czym jest całka krzywoliniowa, a w szczególności po konturze zamkniętej, nawet większość absolwentów matematyki i fizyki miałoby kłopoty z wyjaśnieniem. Matematycznie, całka krzywoliniowa da się zamienić na całkę „normalną”, tj. w jednym wymiarze, ale w jaki sposób, to należałoby poszukać. A na pewno nie da się tego tak łatwo pokazać? Czyżby?



Dwie rurki miedziane i spadający w nich magnes - pogładowa realizacja całki krzywoliniowej w prawie indukcji elektromagnetycznej Faradaya. W rurce pełnej spadający magnes „lewituje”, wisząc w powietrzu i nie dotykając ścianek; w rurce naciętej podłużnie magnes spada „koziółkując” i objając się o ścianki.

Drugą obserwacją dydaktyczną, która skłoniła nas do ponacinania rurki jest prawo indukcji (elektromagnetycznej), nazywane w Polsce (i Anglii) prawem Faradaya, w Rosji dodatkowo – Lenza a w Niemczech dodatkowo - von Neumanna. Co mówi prawo FLvN? Prawo określa wielkość prądu, jaki indukuje się w obwodzie elektrycznym (np. w prądnicie elektrowni) jeśli wsuwamy (lub wysuwamy) do (z) tego obwodu magnes. Otóż prąd ten, a raczej tzw. „siła elektromotoryczna” zależy od szybkości zmian „strumienia” pola magnetycznego. Matematycznie możemy zapisać to jako

$$\mathcal{E} = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (1)$$

gdzie \mathcal{E} jest właśnie „siłą elektromotoryczną”, czyli innymi słowy generowanym napięciem a Φ - strumieniem magnetycznym; $\Delta\Phi / \Delta t$ jest szybkością *zmian* strumienia Φ . Pogładowo, im silniejszy magnes lub im szybciej go wsuwamy (lub nim kręcimy w elektrowni), tym większe napięcie się generuje.

Prawo (1) wystarcza w procesie dydaktycznym na poziomie gimnazjum i liceum. Na poziomie uniwersytetu nie jest ono do końca poprawne *dydaktycznie*. Otóż, prawa Maxwella, będące uogólnieniem praw elektryczności i magnetyzmu nie używają pojęcia *siły elektromotorycznej*. Prawa Maxwella mówią o polach: elektrycznym i magnetycznym i o związkach między nimi. Po prawej stronie równania (1) mamy pole magnetyczne. A gdzie jest odpowiadające mu pole elektryczne? Otóż siła elektromotoryczna \mathcal{E} jest właśnie *całką* z pola elektrycznego E , ale całką szczególną, *krzywoliniową* po profilu *zamkniętym*.

$$\oint E \circ ds = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (2)$$

Czy można nadać formę pogładową tak skomplikowanemu zapisowi matematycznemu? Służą ku temu właśnie nacięcia w miedzianej rurce. Całka po lewej stronie równania (2) jest całką po profilu *zamkniętym*. Jeśli rurkę ponacinamy, całka nie jest po profilu zamkniętym i magnes spada inaczej niż w rurce bez nacięć – obijając się o ścianki i koziółkując.

Oczywiście, dla studentów operujących pojęciami pola elektrycznego i całki wyjaśnienie to jest wystarczające. Niestety, sama zasada pogładowości nie wystarcza, jeżeli odbiorca nie dysponuje odpowiednim zakresem pojęciowym. Należy skonstruować *ścieżkę* dydaktyczną, najlepiej korzystając z innych eksponatów *poglądowych*. Warstwa pogładowa służy *odnalezieniu* w kategoriach pojęciowych właściwego wytłumaczenia, korzystając z różnorodności sposobów *werbalizacji* zjawiska.

Przećwiczmy to na przykładzie spadającego magnesu i rurki. Rurkę z magnesem przekazujemy od ucznia do ucznia, aż do usłyszenia najwłaściwszej werbalizacji. Scenariusz (oparty na rzeczywiście przeprowadzonych lekcjach w różnych grupach słuchaczy) może być następujący:

N: - Co widać?

U1: - Magnes „tak” spada.

N: Jak?

U2: - Wolniej.

N: Czyli?

U3: Tak jakby był odpychany od ścianek?

N: Tak?

U4: Tak jakby *lewitował*.

Lewitacja jest w tym doświadczeniu najlepszym (i jedynym właściwym) wytłumaczeniem. Dlaczego? Otóż lewitacja oznacza, że spadające ciało jest przez coś podtrzymywane. Przez co, jeśli magnes niczego nie dotyka? Wyjaśnimy to z pomocą drugiego eksponatu o funkcji pogładowej – wiszących magnesów, zob. ryc. 2. W wiszących magnesach jest natychmiast jasne, że górny magnes „wisi” w powietrzu (czyli lewituje), bo jest odpychany przez magnes dolny. Jeśli więc i magnes w rurce „lewituje”, to musi istnieć jakiś magnes, który go odpycha, i to dokładnie ku górze. Skąd się taki magnes bierze? Oczywiście, z prądów w rurce, które płyną jakby po obwodzie magnesu na ryc. 2, czyli w rurce po okręgach prostopadłych do osi. Dwa eksponaty wzajemnie się uzupełniają i tworzą (w miarę kompletną) *ścieżkę* dydaktyczną.



Ryc. 2. Co powoduje, że górny magnes „wisi” w powietrzu? Oczywiście, odpychająca siła pochodząca od magnesów dolnych. Magnesy na ryc. 2 mają bieguny u góry i na dole (z jaśniejszej i ciemniejszej strony). Prąd elektryczny płynący po okręgu tj. po obwodzie magnesu wytwarza takie same bieguny. W rurce z magnesami, prąd płynie podobnie – po obwodzie okręgów. Jeśli te okręgi przetniemy, lewitacja ginie.

Nacięcia w rurce powodują, że ten prąd ulega przerwaniu, więc *indukowany* magnes nie jest doskonały i spadający neodym „koziółkuje”. Oczywiście, pogładowość lekcji wymaga samodzielnego wykonania doświadczeń przez ucznia, lub przynajmniej obejrzenia ich wirtualnej wersji.

Trudność w wyjaśnieniu zjawiska indukcji wynika więc z nieumiejętności użycia właściwej *werbalizacji* zjawiska i braku adekwatnych przykładów a nie z jego natury matematycznej. Niestety, liczne przykłady polskich podręczników wskazują, że wykładowca chce powiedzieć, to co on sam *wie*, a nie to czego powinien uczeń się *dowiedzieć*.

Reasumując, nawet w naukach przyrodniczo-matematycznych, a może szczególnie w naukach matematycznych, umiejętność poszukiwania i) różnych *znażeń*, ii) różnych *kontekstów* praktycznych, iii) różnych uwarunkowań *kulturowych* [4], iv) różnych *etymologii* użytego **słowa** bywa wielokrotnie ważniejsza niż ścisłość formalna.

VII. Zastosowania fizyki w naukach przyrodniczych⁶⁷

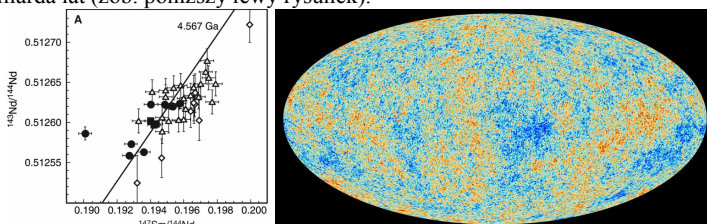
7.1. Fizyka dla geografów

Ziemia to jedno z największych laboratoriów fizyki, jakie znamy (większy jest jedynie Wszechświat). Są na niej pracownie optyki (tęcza i wszystkie inne zjawiska optyczne), termodynamiki (pogoda, prądy oceaniczne, wulkany itp.), mechaniki (spłaszczenie, siła Coriolisa, oddziaływanie z Księżycem), promieniowania jonizującego (datowanie, pierwiastki promieniotwórcze) i inne.

Na początek zastanówmy się, jaki jest wiek Ziemi. Jeszcze sto lat temu naukowcy nie dysponowali odpowiednimi narzędziami do podania tej wartości. Jedynym znanym dziełem, z którego można było to policzyć była Biblia. Dzieło to podaje wiek Adama i wszystkich jego potomków. Podaje też, że Bóg stwarzał Wszechświat przez sześć dni, a siódmego odpoczywał. Na tej podstawie, aż do początków XX wieku sądzono, że Ziemia liczy około 6000 lat (z kilkusetletnim błędem).

Jakiś czas po odkryciu zjawiska promieniotwórczości zauważono, że w dość prosty sposób można z jego pomocą datować wiek. Otóż stwierdzono, że aktywność promieniotwórcza pierwiastków maleje z czasem. Wprowadzono termin okres połowicznego rozpadu, to jest okres w którym połowa atomów danego pierwiastka rozpadnie się tworząc inny. Czasy te mogą być bardzo różne np.: uran – ponad 4 mld lat, rad - 1600 lat, radon - 3,8 dnia, ołów - 27 minut, polon - 3 minuty, bizmut - 20 minut (w kolejnym rozpadzie β powstaje ponownie polon, ale inny izotop, żyjący zaledwie 0,16 milisekundy, itd.)

Łatwo zorientować się, że badając aktywność danego pierwiastka można obliczyć czas jaki upłynął od jego powstania. Dawniej do określania wieku Ziemi używano uranu ^{238}U , którego okres połowicznego rozpadu wynosi dokładnie $4,468 \cdot 10^9$ lat. Ostatnio użyto do tego celu kombinacji pierwiastków $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ ⁶⁸. Na tej podstawie określono wiek Ziemi dokładnie na 4,567 miliarda lat (zob. poniższy lewy rysunek).



A wiek całego Wszechświata – jak go określić?

Dawniej określano go korzystając z obserwacji najstarszych gwiazd. Dziś korzystamy z bardzo dokładnej detekcji promieniowania relikowego powstałego na skutek Wielkiego Wybuchu (który, jak przyjmujemy, był początkiem Wszechświata).

Najdokładniejszą mapę tego promieniowania opublikował w marcu 2013 międzynarodowy zespół naukowców z prowadzonej przez Europejską Agencję Kosmiczną (ESA) misji Planck (zob. powyższy prawy rysunek)^{69,70}. Analizując te dane naukowcy stwierdzili, że wiek wszechświata wynosi 13,68 miliarda lat. Co było wcześniej? To już temat dla teologów i filozofów.

Nieodłącznym towarzyszem Ziemi jest Księżyc. Gdzieś około 4,5 miliarda lat temu w Ziemię, nie do końca pewnie jeszcze ukształtowaną, uderzył obiekt wielkości Marsa.

⁶⁷ Ścieżki w nauczaniu geofizyki: współpraca Krzysztof Służewski

⁶⁸ M. Boyet, R. W. Carlson, ^{142}Nd evidence for early (> 4.53 Ga) global differentiation of the silicate Earth, *Science* **309** No. 5734 (2005) 576

⁶⁹ <http://www.nature.com/news/planck-snaps-infant-universe-1.12671>

⁷⁰ http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/planck2013.html



Wyrwał on potężny kawał materii i odłamków, z których po pewnym czasie uformował się Księżyc. Był to najtragiczniejszy czas w historii Ziemi. Gdyby takie wydarzenie nastąpiło w czasach współczesnych, z całą pewnością wszelkie formy życia by zanikły. Ewolucja musiałaby się toczyć od początku.

Na początku swojej historii Księżyc krążył wokół Ziemi bliżej niż obecnie. Teraz każdego roku oddala się od niej o około 4 cm rocznie, czyli 4 km na 100 tysięcy lat.

Dziwnym zbiegiem okoliczności rozmiary kątowe Księżyca widzianego z Ziemi są prawie takie same jak rozmiary kątowe widzianego z Ziemi Słońca. Dzięki temu podczas całkowitego zaćmienia Słońca możemy podziwiać koronę słoneczną. Eliptyczna orbita Księżyca sprawia, że jego rozmiary kątowe nieznacznie się zmieniają. Dzięki temu możemy obserwować obrączkowe zaćmienia Słońca.

Cztery miliardy lat istnienia Księżyca sprawiły, że jest on w swoistej równowadze z Ziemią. Jego obrót dookoła Ziemi jest równy obiegowi wokół własnej osi. Mówiąc inaczej stale jest zwrócony do Ziemi tą samą stroną (jedynie lekko się kołysze – ruch ten to tzw. „libracje”). Układ Ziemia - Księżyc można porównać do kanu z Polinezji. Dzięki mniejszemu pływakowi, większy zachowuje równowagę.



<http://www.south-images.com/photos/outrigger-canoes.htm>



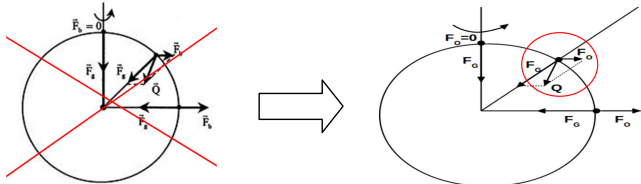
Księżyc jest w równowadze z Ziemią podobnie jak kanu z Polinezji i zabawki przedstawione powyżej.

Jakiego kształtu jest kula ziemiska?

Mikołaj Kopernik pisał:

„Także i wody morskie układają się do postaci kulistej [...] jako ląd i woda wspierają się na jednym środku ciężkości Ziemi, który jest zarazem środkiem jej objętości.”

Dzisiaj wiemy, że jest to kula, ale trochę spłaszczona.

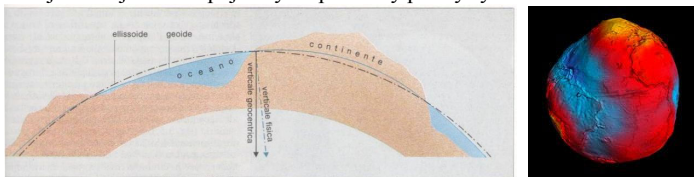


Ziemia wiruje wokół własnej osi. Powstaje siła odśrodkowa, która trochę rozciąga Ziemię, najsilniej na wysokości równika. Bardzo dobrze można to zaobserwować wykorzystując spłaszczającą się sprężynę.



Na pierwszym rysunku sprężyna nie porusza się. Na drugim zaczyna się obracać, a na trzecim obraca się już dość szybko. Widać, że im szybciej się porusza, tym jest bardziej spłaszczona (tak, jak Ziemia).

Z powyższych rysunków wynika że bryła, którą przybiera obracająca się Ziemia to idealna elipsoida. Nie jest tak jednak. Spójrzmy na poniższy prawy rysunek.



Rysunek przedstawia elipsoidę (linia przerywana) i geoidę (niebieska linia ciągła), czyli powierzchnię prostopadłą w każdym punkcie do wektora siły grawitacji. Powierzchnia Ziemi zbliżona jest właśnie do tej drugiej krzywej.

W marcu 2009 roku na wysokości 250km został umieszczony satelita GOCE. Zmierzył on bardzo dokładnie pole grawitacyjne Ziemi. W wyniku jego badań powstał powyższy (prawy) model Ziemi.

Oczywiście różnice wysokości są wyolbrzymione, żeby lepiej było widać powierzchnię. Niebieskie obszary znajdują się niżej od czerwonych.

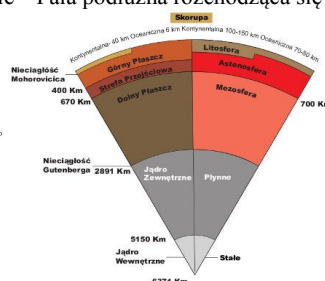
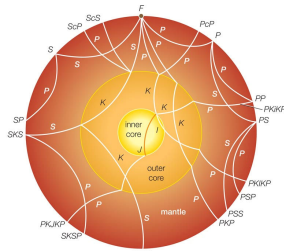
Jaka jest wewnętrzna budowa Ziemi? Kopalnie mają głębokość do 4 km. Najgłębszy otwór wykonany przez człowieka to nieco ponad 12-sto kilometrowy rosyjski odwiert z lat 70/80 ubiegłego wieku. Ziemia ma przecież średnicę ponad 12 tysięcy kilometrów, jak więc dowiedzieć się jak wygląda jej wnętrze? Od czasu do czasu w niektórych miejscach na Ziemi częściej, a w niektórych prawie wcale, występują trzęsienia Ziemi. Rozchodzą się one nie tylko do jej powierzchni, ale i do wnętrza.



Fala poprzeczna rozchodząca się na sprężynie



Fala podłużna rozchodząca się na sprężynie



Fale sejsmiczne poruszające się wewnątrz Ziemi (lewy rys. powyżej), wywołane trzęsieniem w punkcie F⁷¹ obserwowane są w wielu miejscach na powierzchni. Załamują się, uginają, albo wręcz odbijają w zależności od gęstości ośrodka przez jaki przechodzą. Na całej kuli ziemskiej rozmieszczona jest sieć sejsmografów. Na podstawie echa trzęsień, których epicentra znamy potrafimy dowiedzieć się jak wygląda Ziemia w środku (prawy rys. powyżej).

⁷¹ <http://everyhistory.org/earthquake1.html>



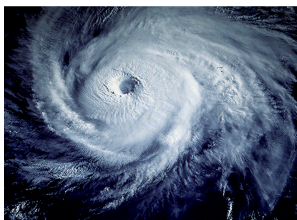
Przypomina to trochę wewnętrzną strukturę owocu awokado (lewy rysunek obok). Cienka zewnętrzna skorupa, dość duże płaszcz i jądro zewnętrzne, i małe, stałe jądro wewnętrzne.

W górnym płaszczu Ziemi odbywa się bezustanna konwekcja materii. Skąły zimniejsze opadają w dół, aby się tam ogrzać. Następnie ogrzane znów wypływają w górne, chłodniejsze warstwy górnego płaszczu. Zjawisko to można modelować za pomocą popularnej lampy – lawy (prawy rysunek obok).

Skorupa podzielona jest na płyty tektoniczne, które są w bezustannym ruchu. Płyty te bezustannie trą o siebie, napierają, czasami wchodzą jedna pod drugą, a czasami się od siebie oddalają. Dzięki temu w jednym miejscu powstaje rów oceaniczny, a w drugim wypiętrzają się wysokie góry.

Jak powstaje pole magnetyczne Ziemi? Wewnątrz Ziemi znajduje się jądro. Składa się ono głównie z dość dobrze przewodzącego prąd stopu niklu i żelaza. Składa się z płynnego jądra zewnętrznego i stałego (z powodu ogromnego ciśnienia) jądra wewnętrznego. W jądrze zewnętrznym materia bezustannie unosi się na jego powierzchnię, a potem opada do jądra wewnętrznego. Na skutek siły Coriolisa powstają wiry – wszystko jest bardzo dynamiczne. Zaczynają przepływać ogromne prądy i dzięki temu właśnie powstaje ziemskie pole magnetyczne. Szacuje się, że we wnętrzu Ziemi jest ono około 50 razy większe niż na zewnątrz.

Pisaliśmy już o sile Coriolisa. Na powierzchni Ziemi wywołuje ona wiele różnych efektów. Siła ta powoduje odchylenie od linii prostej toru ruchu ciała, poruszającego się w układzie obracającym się. Dzięki tej sile cyklony powstające na półkuli północnej obracają się odwrotnie do ruchu wskazówek zegara, a na półkuli południowej zgodnie z nimi (rys. poniżej)^{72,73}.



Dzięki niej wiatr na półkuli północnej ma tendencję do skręcania w prawo, a na południowej – w lewo, na półkuli północnej mocniej podmywane są prawe brzegi rzek, na południowej – lewe.

Siła Coriolisa musi być brana pod uwagę także przez artylerzystów oraz osoby planujące loty na długie dystanse (np. inne spalanie).

W życiu codziennym nie dostrzegamy właściwie tej siły, dlatego dla większości z nas nie działa w sposób intuicyjny.

Ciekawym zjawiskiem na Ziemi są pasaty, czyli ciepłe, stale wiejące wiatry w strefie międzyzwrotnikowej. Wilgotne powietrze nad równikiem ogrzewając się unosi się do góry, a jego ciśnienie przy powierzchni spada. Para wodna ulega kondensacji, powstają deszcze tropikalne. Suche już powietrze przesuwają się w wyższych warstwach atmosfery, na półkuli północnej na północ, a na południowej na południe (+ oczywiście odchylenie związane z siłą Coriolisa). Gdzieś nad zwrotnikami opada tworząc suche obszary o wysokim ciśnieniu. Następnie wraca w niższych warstwach atmosfery do strefy równikowej jako pasat. Żeglarze wykorzystują te wiatry od czasów prehistorycznych.

Więcej: <http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Ziemia/>

⁷² http://en.wikipedia.org/wiki/Coriolis_effect

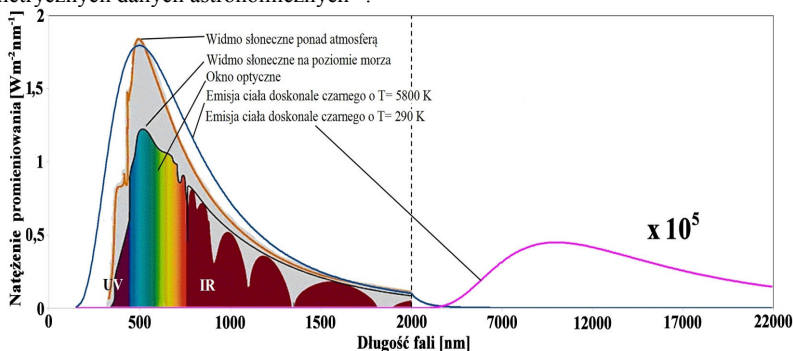
⁷³ <http://dsc.nrsc.gov.in/DSC/Cyclone/index.jsp>

7.2. Efekt cieplarniany

Źródłem ciepła na Ziemi jest Słońce. Co prawda, z rozpadów promieniotwórczych (^{41}K , z szeregu ^{238}U i ^{232}Th) powstaje jakieś 20 TW ciepła, a ze stygnięcia globu dociera do powierzchni dodatkowo prawie 30 TW (tera= 10^{12}) ale jest to bardzo niewiele w porównaniu z $1,36 \text{ kW/m}^2 \cdot \pi \cdot (6370 \cdot 10^3 \text{ m})^2 = 171 \times 10^3 \text{ TW}$ docierających bezustannie ze Słońca⁷⁴.

Jaka powinna być temperatura globu w przybliżeniu Ziemi bez atmosfery możemy oszacować, korzystając z modelu ciała doskonale czarnego. Jeżeli założymy, że obiektem promieniującym w kosmos jest kula (o powierzchni $4\pi R^2$), to gęstość powierzchniowa I strumienia energii wypromieniowanej w jednostce czasu wynosi $I = \frac{1}{4} \cdot 1366 \text{ W/m}^2 = 341 \text{ W/m}^2$ (czynnik $\frac{1}{4}$ bierze się z porównania powierzchni koła πR^2 do powierzchni kuli).

Z prawa Stefana-Boltzmana $I = \sigma T^4$, gdzie stała $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$, otrzymujemy $T = 278 \text{ K}$ (czyli $+5^\circ\text{C}$). Podana stała słoneczna I jest wynikiem pomiarowym z użyciem satelitów⁷⁵. Podobny wynik na ekwiwalentną temperaturę Ziemi doskonale czarnej można uzyskać również z geometrycznych danych astronomicznych⁷⁶.



Powyższy rysunek przedstawia zależność natężenia promieniowania słonecznego od długości fali (λ w nm) na jednostkę powierzchni docierającego do powierzchni ziemi. Maksimum emisji ciała doskonale czarnego o $T = 5800 \text{ K}$ odpowiada długości fali $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$. Maksimum emisji dla $T = 290 \text{ K}$ odpowiada $\lambda = 10 \mu\text{m}$. Natężenie promieniowania poza atmosferą ma w maksimum wartość około $2 \text{ W m}^{-2}\text{nm}^{-1}$. Natężenie promieniowania dla $T = 290 \text{ K}$ zostało przemnożone przez czynnik 10^5 . Uwaga na dwa rodzaje skali OX (powyżej 2000 nm jest ona przemnożona o czynnik $1/10$). Moc promieniowania Słońca w innych zakresach fal jest pomijalnie mała.

Słońce nie oświetla Ziemi przez cały czas z tą samą intensywnością. Aktywność Słońca rośnie raz na 11 lat, kiedy przybywa plam słonecznych⁷⁷ ale zmiany w ilości energii docierającej do Ziemi nie przekraczają $\pm 0,1\%$. Mimo to, brak plam słonecznych przez dłuższy

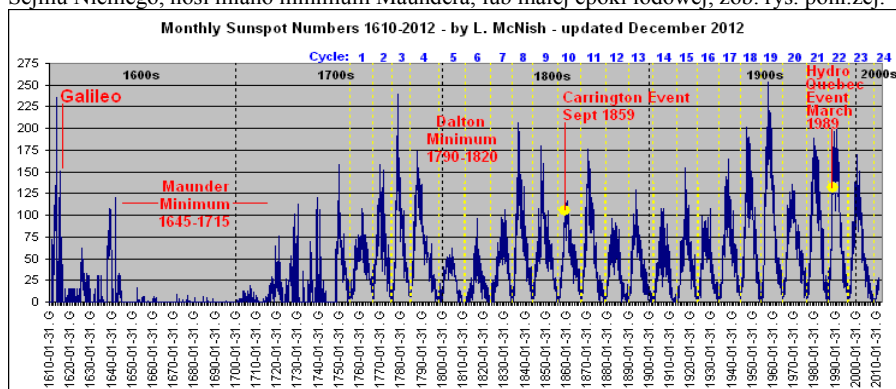
⁷⁴ Jako promień Ziemi przyjęliśmy $R = 6370 \text{ km}$, mimo że Ziemia nie jest kulą.

⁷⁵ Zob. np. artykuł *Construction of a Composite Total Solar Irradiance (TSI) Time Series from 1978 to present*, <http://www.pmodwrc.ch/pmod.php?topic=tsi/composite/SolarConstant>

⁷⁶ Jeżeli znamy temperaturę powierzchni Słońca (5780 K), to temperaturę Ziemi można obliczyć bez stałej Stefana-Boltzmana, korzystając jedynie z danych astronomicznych (promień Ziemi, średnica Słońca $1,4 \text{ mln km}$ i odległość Ziemia-Słońce 150 mln km), zob. *Zadania czeskie*, ZDF UMK, „Temperatura Ziemi” <http://physicstasks.eu/uloha.php?uloha=1091&filtr=00000000>

⁷⁷ Plamy słoneczne, to w uproszczeniu gigantyczne wiry pola magnetycznego docierające na powierzchnię Słońca. Wzrostowi ilości plam odpowiada wzrost „zerwanych” wirów czyli słonecznych erupcji, wyrzucających w kosmos zwiększone ilości ultra-gorącej plazmy. Nie ma dotychczas przekonującego modelu magneto-hydro-termo-dynamiki Słońca wyjaśniającej cykle 11-letnie.

czas, jak np. obserwowany przez Jana Heweliusza w połowie XVII wieku, wyraźnie prowadzi do ochłodzenia klimatu. Ochłodzenie to, mniej więcej od czasu Potopu Szwedzkiego do Sejmu Niemego, nosi miano minimum Maundera, lub małej epoki lodowej, zob. rys. poniżej.



Na podstawie analizy zawartości węgla ^{14}C w słojach drzew możemy ocenić aktywność Słońca również w okresach dawniejszych⁷⁸. Wydaje się, że aktywność słoneczna była niższa niż zwykle również pod koniec średniowiecza (minimum Wolfa, około roku 1300 n.e.). Nie do końca jednak minima temperatury (uśrednione po okresach kilkuletnich) odpowiadają minimum aktywności słonecznej.

Nie tylko zmiany aktywności Słońca mają wpływ na klimat. Wiemy, choćby z obserwacji morenowego krajobrazu północnej Polski, że co mniej więcej sto tysięcy lat zdarzają się wielkie zlodowacenia. Podobnie długiego okresu są tzw. cykle Milankoviča. Wydaje się, że za cykle rzędu dziesiątków i setek tysięcy lat jest odpowiedzialna „maszyna” Układu Słonecznego.

Wiadomo od czasów Keplera, że planety krążą dookoła Słońca po elipsach (a podejrzenia o orbity niekołowe znajdujemy też w dziele Kopernika). Słońce znajduje się w ognisku elipsy, a raczej wspólnym ognisku elips dla różnych planet. Elipsy te mogą być spłaszczone mniej (jak w przypadku Ziemi, z mimośrodem $e=0,0167$) lub bardziej (jak w przypadku Marsa, $e=0,0935$). Ba! geometria orbity określonej planety, np. Ziemi ulega okresowym zmianom – spłaszczenia i nachylenia płaszczyzny orbity (czyli ziemskiej ekliptyki) do średniej płaszczyzny orbit innych planet. Pod wpływem Jowisza i Saturna oś orbity Ziemi ulega też powolnej rotacji. Sama oś Ziemi, wirującego w przestrzeni bąka, podlega *precesji*, z okresem około 25 tys. lat (ten ruch znalazł już Kopernik); co więcej, waha się też pochylenie tej osi w stosunku do ekliptyki (od $22,1^\circ$ do $24,5^\circ$). Zsumowanie tych ruchów jest trudne, jak to omawia angielska wersja wikipedii⁷⁹. Efektem są niewielkie zmiany nasłonecznienia, ale powodujące, zdaje się, zmiany temperatury od $+2^\circ\text{C}$ do -8°C , zob. rys. 6. I wreszcie najdłuższe z postulowanych okresowości, ok. 140 mln lat, wynikać mogą z obiegu całego Układu Słonecznego dookoła centrum Galaktyki⁸⁰.

Dokonane wcześniej obliczenie temperatury zakładało, że Ziemia jest doskonale czarna, tzn. pochłania całe padające promieniowanie. Gdyby tak było, np. dla Księżyca, to byłby on

⁷⁸ Niestabilny izotop ^{14}C powstaje w atmosferze w reakcji pochłonięcia neutronu przez izotop ^{14}N a produkowany jest proton, według schematu $^1_0n + ^{14}_7\text{N} \rightarrow ^{14}_6\text{C} + ^1_1\text{p}$. Neutrony w atmosferze pochodzą z tzw. promieniowania kosmicznego, a to głównie z wiatru słonecznego.

⁷⁹ Wikipedia, *Milankovitch Cycles*, http://en.wikipedia.org/wiki/Milankovitch_cycles

⁸⁰ Zauważmy jednak, że podobnego rzędu (200 mln lat) są również okresy zbijania się i rozbiegania płyt kontynentalnych Ziemi, też niezwykle istotnie wpływające na klimat poprzez aktywność wulkaniczną.

niewidoczny: tak nie jest! Pewna część promieniowania jest odbijana w kosmos – mówimy o współczynniku *albedo*, czyli zdolności odbijania promieniowania. Wynosi on 0,9 dla śniegu, 0,4 dla piasku pustyni, 0,15 dla świerkowego lasu, 0,1 dla oceanu a średnio dla Ziemi 0,3. Uwzględnienie tego albedo we wcześniejszym obliczeniu daje temperaturę 254 K, czyli -18° C. Tyle wynosiłaby temperatura na Ziemi, gdyby nie miała ona pierzynki z atmosfery.

Po przesłedzeniu skomplikowanego bilansu ciepła na Ziemi okazuje się, że nasza planeta ma nadwyżki (Ziemia się nie grzeje), ale nie ma też *manka*. Naukowcy konstruują coraz bardziej skomplikowane komputerowe modele „Global Climate Circulation”. Obrazowo można natomiast powiedzieć, że atmosfera jak pierzynka – nie grzeje tak, jak grzałka, ale zapobiega ucieczce ciepła.

W całościowym bilansie atmosfera podnosi efektywną (średnią) temperaturę na Ziemi, z -18°C dla piaskowej kuli bez atmosfery (jak to ma miejsce na Marsie) do +15°C. Te dodatkowe +33 K to *naturalny efekt cieplarniany*. Te dodatkowe +33 K to „zbieg okoliczności” szczęśliwy dla życia na Ziemi – zamiast średnio syberyjskiej zimy mamy (średnio) majowe popołudnie!

Dokładna temperatura zależy od wielu czynników; w przypadku Europy jest to np. ciepły prąd morski z rejonu Morza Sargassowego. To przyjemne +15°C musiało istnieć na Ziemi nie przez ostatnie 2 tysiące lat, ale co najmniej przez 3-3,5 mld lat, tak aby życie powstało, utrwalilo się, wyszło na ląd i wyewoluowało.

Czy człowiek wywołuje dodatkowy efekt cieplarniany emitując do atmosfery gazy cieplarniane i parę wodną? Dwutlenku węgla jest, a raczej było 150 lat temu, zaledwie 280 ppm (części na milion). A ile jest pary wodnej? Zależy od wilgotności. Tzw. „100% wilgotności” w Singapurze, to zaledwie (przy temperaturze 29° C) 4% objętościowo pary wodnej w atmosferze. Ilość pary wodnej, jaka może „zmieścić” się w powietrzu (w sensie ciśnień parcyjnych w prawie Daltona) to od nieco powyżej 0% do 100% objętościowo w 100° C (i przy ciśnieniu 10⁵ Pa). Zależność jest silniejsza niż jak t^2 gdzie, t jest temperaturą w stopniach Celsjusza⁸¹.

Czyli: znów dodatnie sprzężenie zwrotne! Wyższa temperatura to więcej pary wodnej w atmosferze i ściślejsze domykanie okna na wykresie 7 (z poprzedniej części artykułu). Takich dodatnich sprzężeń jest więcej, jak np. malejąca rozpuszczalność CO₂ w oceanach w miarę wzrostu temperatury albo uwalnianie metanu z rozmarzającej syberyjskiej tundry⁸². Czyli klimat powinien być z natury rzeczy niestabilny? Niewykluczone, że niestabilności klimatu, typu *on-off* są cechą permanentną. Wykresy zmian temperatury wydedukowanych z analiz izotopowych lodowych warstw na Antarktydzie⁸³ sugerują, że temperatura rośnie nagle, w ciągu kilku tysięcy lat, po czym powoli spada w cyklach co około 100 tysięcy lat. Zmiany koncentracji CO₂ na tym wykresie wydają się być skutkiem, a nie przyczyną zmian temperatury.

Zmian klimatycznych nie można utożsamiać z globalnym ociepleniem. „Ocieplenie” to dla fizyka większa ilość energii „wpompowana” w układ termodynamiczny w równowadze. W każdym momencie ilość energii otrzymanej i traconej jest identyczna, ale równowaga ta ustala się na coraz wyższym poziomie.

Globalne ocieplenie może też przynieść, paradoksalnie, dramatyczne ochłodzenie w Europie. Europa ma znacznie cieplejszy klimat niż, np. wschodnie wybrzeża USA, leżące na tej samej szerokości geograficznej. Korea Południowa, bardziej na południe niż Kalabria na

⁸¹ http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki/files/termo/psychometr_big-pl.html,
http://en.wikipedia.org/wiki/Vapour_pressure_of_water

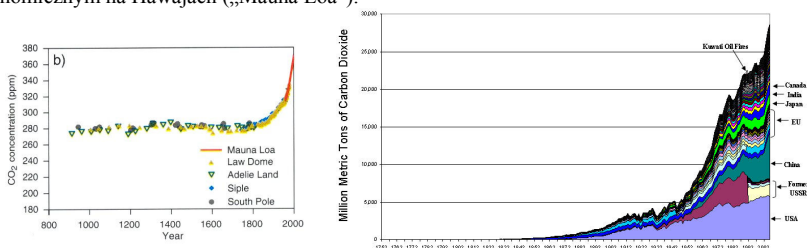
⁸² Wydaje się, że sporo metanu jest też „zagrzebane” na dnie oceanów w postaci wysokociśnieniowych hydratów. Wzrost temperatury oceanów może powodować ich gwałtowne uwolnienie.

⁸³ http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vostok_Petit_data.svg pomiary z radzieckiej stacji Vostok, opracowane we współpracy z badaczami z Francji i USA.

końcu włoskiego „buta” rejestruje zimowe temperatury nawet do -20°C . Powodem tej łagodności klimatu w Europie jest Prąd Zatokowy (tzw. Golfstrom). Prąd ten, jak każdy silnik termodynamiczny, jest napędzany różnicą temperatur między Morzem Sargassowym a oceanem w rejonie Islandii, gdzie ciepłe wody wychładzają się, zapadają w głąb oceanu i wracają do Morza Sargassowego jako lodowaty prąd głębinowy. Ocieplenie w rejonie Islandii może osłabić Prąd Zatokowy – Polsce przypadną syberyjskie zimy.

Możliwe scenariusze są przedmiotem licznych naukowych, politycznych i ekonomicznych dyskusji. Metody matematyczne stosowane do prognoz klimatycznych zależą od jakości danych doświadczalnych i naszej znajomości procesów fizycznych, biologicznych a także zmian cywilizacyjnych i technologicznych. Najistotniejszym czynnikiem sprzężeń zwrotnych wydaje się zawartość CO_2 w atmosferze. Pozostawała ona stała przez ostatnie parę tysięcy lat, na poziomie paleontologicznie wysokim, 280 ppm a od początku ery przemysłowej rośnie monotonicznie.

Dane na poniższym lewym rysunku są wynikami różnych analiz, tak izotopowych lodu Antarktydy, jak przyrostów drzew i składu atmosfery mierzonego spektroskopowo w obserwatorium astronomicznym na Hawajach („Mauna Loa”).



Rysunek prawy. Wzrost CO_2 w atmosferze ziemskiej z wyszczególnieniem emisji antropogenicznej CO_2 z różnych części Świata.

Czy wzrost CO_2 doprowadzi do globalnego wzrostu temperatury? A jeśli tak, to o ile? Wydaje się, że od początku XX wieku temperatura średnia na Ziemi wzrosła o jakieś $+0,2$ do $+0,6^{\circ}\text{C}$. Jest to nieco mniej niż $-0,7^{\circ}\text{C}$ w okresie wojny trzydziestoletniej i dużo mniej niż $+3^{\circ}\text{C}$ w czasach, kiedy żyły dinozaury na naszych szerokościach geograficznych. Niestety dla nas, nie potrafimy do końca zmian przewidzieć. Po drugie, fluktuacje klimatyczne stają się uciążliwe we współczesnym świecie, w którym musimy podróżować, w którym wydajność produkcji rolnej jest coraz bliższa możliwych granic, w którym ludzkość zagospodarowuje tereny coraz bardziej narażone na powodzie, podtopienia, susze, tajfuny itd.

Konkludując, na ziemski klimat wpływ ma bardzo wiele czynników. Niektóre z nich znamy, inne być może nie. Z biegiem czasu niektóre mechanizmy stały się jednak już jasne. Co możemy powiedzieć na pewno?

- Własności absorpcyjne w podczerwieni cząsteczki CO_2 są istotną przyczyną naturalnego efektu cieplarnianego, dzięki któremu jest możliwe białkowe życie na Ziemi.
- Działalność przemysłowa człowieka przyczyniła się do istotnego (ponad 25%) wzrostu zawartości CO_2 w atmosferze.
- Czy ten wzrost spowoduje wzrost średniej temperatury na Ziemi i/lub/albo obniżenie temperatury w Europie, i/lub/albo globalne zlodowacenie i/lub/albo gwałtowne huragany i/lub/albo susze? Na razie nie ma bezdyskusyjnych dowodów.

Gromadzenie danych trwa jednak nadal. Kto wie, do jakich wniosków doprowadzi za kilka/kilkanaście lat?

Więcej: http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa_strona/?q=node/309 oraz G. Karwasz, K. Służewski, Ziemia pod pierzynką, czyli o naturalnym efekcie cieplarnianym, Foton, 121/2013, 37 - 49.

7.3. Moment pędu i wirująca Ziemia

Zarówno dzieci, jak i dorośli są zdumieni, że kręcący się bąk zachowuje się inaczej niż inne podobne obiekty. Dlaczego się nie przewraca? Dlaczego "kiwa się" na boki? Dlaczego, kiedy się nie obraca, przewraca się jak wszystko inne? Te, i inne pytania (świadome i podświadome), sprawiają, że bączki są tak fascynującą zabawką (lub jak my w ZDF UMK to nazywamy PED-em – Prosty Eksponatem Dydaktycznym).

Bączki są ulubionym zbieractwem fizyków-zabawkarzy. Każdy nauczyciel fizyki powinien mieć ich przynajmniej kilka. Ich form i kolorów jest nieskończona ilość. Mogą służyć nie tylko jako pokaz zasady zachowania momentu pędu, ale np. jako pomoc z optyki do składania kolorów, z elektromagnetyzmu do generowania pokazu sił magnetycznych albo prądów wirowych. Kiedy na akustyce mówimy o sposobach generowania dźwięków również tam jako przykładem możemy posłużyć się odpowiednimi bączkami. Słowem zastosowań bączków może być bardzo dużo.

Duży, dziecięcy bąk, łatwy do rozkręcenia wykorzystamy w pierwszym rzędzie do pokazania zasady zachowania pędu: „wirujący bąk utrzymuje się w pozycji pionowej, bo zachowuje wielkość fizyczną zwaną *momentem pędu*”. Mimo, że nie ma formalnie momentu pędu w podstawie programowej, nie jest to wielkość intuicyjnie obca. Tylko w komicznych filmach animowanych zdarza się, że pędzące koło skręca w przecznicę za uciekającym kotem. Zasady zachowania mechaniki są bowiem wbudowane w nasz podstawowy system motoryczny: kamień doleci w moim kierunku tylko wtedy, kiedy w moim kierunku już leci (= zasada zachowania pędu). Urwane koło samochodowe potoczy się zawsze „na wprost”.

Wy tłumaczenie zasady zachowania nie musi korzystać z samego pojęcia momentu pędu. Uczniowi wystarczy stwierdzenie: „tocząca się moneta zachowuje swój kierunek wirowania, podobnie jak rozkręcony bąk”

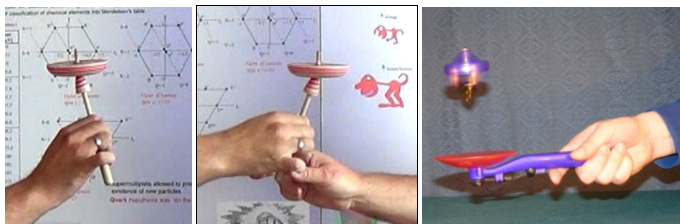


Jak to pokazujemy za pomocą ciężkiego i płaskiego bąka drewnianego podpartego na patyku a wykonanego przez rzemieślnika z miejscowości Matsushima na północy Japonii (fot. poniżej), moment pędu jest wielkością, którą można przesuwac z miejsca na miejsce. Podpórke można przenosić ruchem translacyjnym, pochylać, bąk podrzucać, a moment pędu (kierunek wirowania bąka) nie zmienia się. Podobne doświadczenie, ale z bąkiem rozpędzonym w specjalnym elektrycznym talerzyku pochodzi z Australii. Ale doświadczenie z przesuwaniem momentu pędu równie dobrze można wykonać z rozkręconym na patyku (plastikowym) talerzem.

Jeszcze prostszym sposobem na ilustrację zasady zachowania momentu pędu jest potoczenie monety po stole? Dzieci lubią filmy animowane – im bardziej absurdalne, tym spontaniczniej się śmieją. Czyżby nigdy nie było w tych filmach sceny, że kot Jinks ucieka przed rozpędzonym kołem samochodowym w poprzeczną ulicę a koło skręca za nim? Dzieci śmieją się na widok koła goniącego kota, bo zasada zachowania momentu pędu jest *wbudowana* w nasz system psychomotoryczny.

Zachowanie momentu pędu jest wykorzystywane w artylerii - gwintowanie wewnętrznej powierzchni rur armat jest sposobem na zachowanie kierunku lotu pocisku a przez to zminimalizowanie efektów oporu powietrza. Zasięg koziolującego pocisku jest znacznie

blizszy a tor bardziej nieprzewidywalny niz pocisku, który obraca się wokół kierunku swojego ruchu.



Spostrzegli to też starożytni Indianie, którzy formowali lotki swoich strzał w ten sposób, aby te w czasie lotu obracały się. Zapewne któryś z nich wytwarzając strzały przed polowaniem przypadkowo przykleił pióra lotki krzywo, niedbale, spiralnie i potem okazało się, że ta strzała jest dużo celniejsza od innych strzał.



Moment pędu jest wektorem, i podobnie jak inne wektory podlega sumowaniu. Zaczniemy od astronomii. Zasada zachowania momentu pędu jest nie mniej ważna niż zachowanie energii i pędu – wirowanie Ziemi pozwala na zachowanie stałego nachylenia jej osi do ekliptyki. Z zachowania momentu pędu w ruchu dookoła Słońca wynikają prawa Keplera, w szczególności drugie o stałej powierzchni zakreślanych pól przez promień wodzący planety.

Trudne do zapamiętania ruchy pozorne Słońca, Księżyca, nieba i planet stają się proste dzięki tej zasadzie. Słońce wędruje po nieboskłonie w ciągu dnia z lewa na prawo i Księżyc (w ciągu jednej nocy) również. Ale oprócz tego, Księżyc przesuwa się co noc z prawa nieco bardziej na lewo (a Słońce w ciągu roku na tle zodiaku w tym samym kierunku). Trudne jest to do zapamiętania, chyba że spojrzymy na cały Układ Słoneczny z góry.

Słońce i planety powstały z rozkręconej mgławicy proto-planetarnej więc wirują one⁸⁴ i krążą dookoła Słońca w tym samym kierunku, zachowując początkowy moment pędu – patrząc z bieguna północnego Ziemi w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara, zob. na rys. 4a piękną animację Google⁸⁵ wzorowaną na kopernikańskiej rycinie „Harmonia Macrocosmica” Andreasa Cellariusia z XVII wieku. Doodle kopernikański jest piękną ilustracją zasady zachowania ruchu momentu pędu w skali kosmicznej. Wektor sumarycznego momentu pędu Układu Słonecznego jest skierowany na takim rysunku w górę – wektory momentów pędów obrotów planet i momenty pędów ich obiegu dookoła Słońca są wszystkie ustawione w podobnym kierunku (choć nie dokładnie takim samym, zob. dalszą dyskusję o precesji).

⁸⁴ Jedyne Wenus wiruje w odwrotną stronę, a Uran w „poziomie”. Przymuszczalnie, w trakcie zamierchłej przeszłości miały miejsca jakieś zderzenia, które zmieniły kierunki obrotu tych planet.

⁸⁵ <http://www.google.com/doodles/nicolaus-copernicus-540th-birthday>

Zasadę sumowania momentów pędu możemy też pokazać w skali klasy szkolnej, za pomocą efektownego, ale bardzo niebezpiecznego doświadczenia z kołem rowerowym i obrotowym krzesłem. Siedzimy (silnego) ucznia na obrotowym krześle, rozkręcamy koło rowerowe trzymając oś pionowo i wręczamy je uczniowi. Po przekręcaniu koła „do góry nogami” (wymaga to sporej siły) krzesło, uczeń i koło z jego osią zaczynają się kręcić w stronę przeciwną, do nowego kierunku wirowania (wokół swej osi) rowerowego koła. Nowy sumaryczny moment pędu całego układu jest równy momentowi początkowemu samego tylko koła (zob. film w wersji internetowej).



Można też rozpocząć doświadczenie od koła trzymanego pionowo (tzn. z pozioma osią): po ustawieniu przez ucznia osi koła w pionie, krzesło zaczyna wirować. Nieco trudniej jest jednak wyjaśnić, gdzie się podział początkowy moment pędu (ustawiony poziomo). Otóż, układ (krzesło + uczeń + koło) nie jest układem izolowanym – to siła tarcia krzesła o podłogę pozwala na obrócenie koła z orientacji poziomej na pionową, ale też w trakcie tego manewru uczeń jest z krzesła „wrywany” w kierunku poziomym. Będzie to jasne przy omawianiu precesji.

Aby uniknąć upadku (z kręcącego się krzesła, trzymając ciężkie, rozkręcone koło ze szprychami w rękach) bohater musi silnie docisnąć lędźwie do oparcia krzesła: w ten sposób środek ciężkości układu (krzesło + koło + bohater) umiejscawiamy na osi obrotu krzesła i mniejsze są momenty sił wrywające koło z rąk ucznia w trakcie manewrowania i przewracające krzesło.

Moment pędu L obliczamy z prędkości kątowej ω jako

$$L = I\omega \quad (1)$$

gdzie czcionką wytłuszczoną oznaczamy wektory (lub macierze, czyli tensory).

I jest tzw. momentem bezwładności, np. $I = \frac{2}{5} mr^2$ dla kuli o masie m i promieniu r itd. dla innych brył, ale w szkolnej dydaktyce - zawsze osiowo symetrycznych. W ogólności moment bezwładności wokół dowolnej osi jest matematycznie macierzą kwadratową, a w terminologii fizycznej – *tensorem* $I_{\mu\nu}$ o rozmiarach (3x3). Aby otrzymać wektor momentu pędu musimy wymnożyć wektor prędkości kątowej przez tę macierz

$$L = I_{\mu\nu}\omega \quad (2)$$

Jak się mnoży wektory i macierz, odsyłamy Czytelnika do (nadal) nadzwyczajnej książki W. Rubinowicza i W. Królikowskiego⁸⁶ (str. 288) lub jakiegokolwiek podręcznika ekonometrii. Matematyczne trudności okażą się cenną metodologią przy dalszej analizie ruchu bąka, a szczególnie wirowania Ziemi. Tylko jeśli oś obrotu jest osią symetrii bąka, tensor staje się liczbą, a wektory L i ω są równoległe, jak w fizyce szkolnej, $L = I\omega$

Jest to w szczególności przypadek, że ciało sztywne wiruje wokół stałej osi swobodnej. Wspomniana książka K. Rubinowicza i K. Królikowskiego stwierdza w tej kwestii, ([5] str. 326): „Ciało sztywne swobodne może przy braku sił i momentów sił zewnętrznych wykonywać ruch obrotowy wokół stałej osi L (przy czym $\omega = \text{const}$), jeżeli oś ta ma kierunek główny tensora bezwładności i przechodzi przez środek masy ciała”. Zaś kierunek *główny tensora* bezwładności to dla bąka jego oś *symetrii* i proste do niej prostopadłe.

⁸⁶ W. Rubinowicz, W. Królikowski, *Mechanika teoretyczna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2012.

Wprowadzenie pojęcia *wektora* momentu pędu pozwala na dalsze rozwinięcie ścieżki dydaktycznej, i to w znaczeniu praw fizyki (techniki, geografii) a nie tylko zabawy. Wiemy, że rozkręcony bąk w miarę upływu czasu zaczyna się „chybotać” a dokładniej fizycznie - jego oś obrotu zaczyna powoli zakreślać stożek: bąk podlega *precesji*.

Takiej samej precesji podlega oś obrotu Ziemi, zataczając pełny okrąg raz na około 26 tysięcy lat. Wiedział o tym już Kopernik, za starożytnymi, pisząc o trzech ruchach Ziemi: wirowaniu, obiegu dookoła Słońca i przesuwaniu się punktów równonocy⁸⁷, czyli precesji osi obrotu. Zadziwiająco dokładnie przewidział okres tej precesji – na 25816 lat. Dokonał tego również na podstawie własnych obserwacji tzw. punktu równonocy wykonanych m.in. na ścianach zamku w Olsztynie⁸⁸).

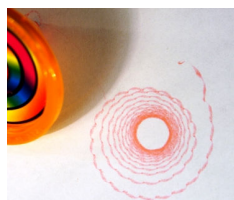
Nie wiedzieli o precesji Egipcjanie: komora grobowa faraona w piramidzie Cheopsa miała kanał-lunetę skierowany na gwiazdę polarną. Niestety, minęło kilka tysięcy lat i gwiazda ta (Thuban w gwiazdozbiore Smoka) nie jest już gwiazdą polarną⁸⁹.



Z dużym zabawkowym bąkiem można wykonać doświadczenie dla określenia przyczyny precesji. Jak to pokazujemy na fot. 8, jest nią siła prostopadła do osi obrotu. Popychając szybko wirujący bąk krótkim, zdecydowany uderzeniem, np. z pomocą ołówka, obserwujemy jak po uderzeniu odchyła się, ale nie w kierunku działania siły tylko w kierunku prostopadłym tak do przyłożonej siły jak i osi obrotu.

Podobnie jak poprzednio, dysponując kołem rowerowym na osi możemy pokazać, że przyłożona siła powoduje odchylenie osi obrotu w kierunku prostopadłym. Koło zawieszamy, oś wyważamy przeciwwagą do poziomu, obręcz rozkręcamy, po czym zmieniamy nieco przeciwwagę, zob. film w wersji internetowej. Niezrównoważona część siły grawitacji wywołuje precesję osi koła w *plaszczyźnie* poziomej. Zmieniając przeciwwagę zmieniamy zwrot przyłożonego momentu siły i powodujemy obrót osi koła w lewo lub w prawo. Oś przy tym nieco się pochyla.

Prostopadłość trzech kierunków – osi obrotu (czyli momentu pędu), działania siły i kierunku precesji wyjaśnia również jazdę na rowerze albo kierunek upadku toczonej się monety. Aby na rowerze skręcić w lewo, należy cały rower pochylić w lewo; upadająca na lewą stronę moneta również jednocześnie skręca tor ruchu w lewo.



Jeśli zrozumieliśmy już precesję, potrzebny jest bąk do ilustracji drugiego, mniejszego ruchu osi ziemskiej – tak zwanych nutacji. Nutacje, to małe kręgi zataczane przez bieguna wirującego bąka w miarę przesuwania się tego bieguna po stożku precesji. Nałożone na precesję dają „esyfloresy”. Nutacje w przypadku Ziemi są spowodowane głównie przez ruch Księżyca dookoła Ziemi niedokładnie w płaszczyźnie ekliptyki, i mają okres 18,6 roku. Wielkość

nutacji osi Ziemi jest taka, że położenie zwrotnika zmienia się o kilkanaście metrów co rok.

Więcej: <http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/baczki> oraz K. Służewski, G. Karwasz, *Fizyka i zabawki - wyjść poza fenomenologię. O żyroskopach, systemie słonecznym i momencie pędu*, Fizyka w Szkole, 3/2014, 25-32.

⁸⁷ http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa_strona/?q=node/371

⁸⁸ A. Witkowska, O kalendarzu słonecznym Mikołaja Kopernika, Część II, Nauczanie Przedmiotów Przyrodniczych, 30, 2009, str. 25-29

⁸⁹ Ref. [3], wersja on-line: http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Pliki/KK_fragmenty/KK_r3_2_ISBN.pdf

VIII. Dydaktyka astronomii⁹⁰

8.1. Cele

Astronomia do niedawna stanowiła nieodłączną część szkolnej fizyki, co znajdowało wyraz w nazwie przedmiotu: fizyka i astronomia. Po ostatniej reformie programu nauczania została się już tylko fizyka. Nie znaczy to bynajmniej, że powinniśmy o astronomii zapomnieć. Jej treści nadal odnajdziemy w zakresie nauczania fizyki. Warto też pamiętać, że zagadnienia, którymi zajmuje się astronomia wzbudzają w naturalny sposób zainteresowanie uczniów, co warto wykorzystać przy mobilizowaniu ich do samodzielnej pracy.

W niniejszym rozdziale umieściliśmy kilka elementów. Po krótkim wprowadzeniu opartym na teoretycznych podstawach dydaktyki i metodologii nauk koncentrujemy się na praktycznych przykładach interdyscyplinarnego nauczania, przypominając też krótko treści nauczania astronomii obecne w aktualnej podstawie programowej. Najwięcej uwagi poświęcamy metodologii w praktyce, ze szczególnym uwzględnieniem wykorzystania zasobów internetu i możliwości komputera w działalności dydaktycznej.

8.2. Wprowadzenie

Zmienia się bardzo współczesna astronomia, zmieniają się jeszcze dynamiczniej poglądy na sposób jej nauczania. Chodzi tu zresztą nie tylko o astronomię, ale ogólnie o nauczanie, w szczególności przedmiotów ścisłych w XXI wieku [1].

Zwrócenie uwagi na potrzebę kształtowania aktywnych postaw wobec procesu uczenia się, sprzyjające podejmowaniu działalności zmierzającej ku nabywaniu wiedzy i permanentnemu podnoszeniu kwalifikacji spowodowało refleksję nad dotychczasowymi sposobami realizacji procesu kształcenia oraz jego efektami. Obowiązujące wcześniejsze założenia dotyczące organizacji edukacji, wynikały z założeń teorii behawiorystycznych i były efektem przyjęcia zależności zmian w zachowaniu człowieka od stosowanego systemu oddziaływań za pomocą bodźców w postaci kar, nagród i reakcji powiązanych ze sobą relacjami przyczynowo-skutkowymi [2].

Ostatnie dekady przyniosły prawdziwą rewolucję informacyjną: nośniki cyfrowe oraz Internet w coraz większym stopniu obejmują całą dotychczasową wiedzę ludzkości. Stan dostępności wiedzy można więc nazwać hiperinflacją informacyjną; problemem staje się nie dostęp do wiedzy, ale możliwość jej uporządkowania oraz wykorzystania przez indywidualnego odbiorcę [3]. Konsekwencją wszech-dostępności informacji jest potrzeba wypracowania nowych strategii nauczania, a w zasadzie konstruowania wiedzy. W tradycyjnym podejściu konstruktywistycznym rolą nauczyciela jest uporządkowanie i usystematyzowanie wiedzy uczniów. Określeniem konstruktywizm obejmuje się przede wszystkim twierdzenia wyartykułowane najdobitniej przez Piageta, Wygotskiego a także Brunera. Jerome Bruner, w referacie wprowadzającym na konferencji: *The Growing Mind: Vygotsky – Piaget* (Genewa, 1996), podejmującej zagadnienie badań społeczno-kulturowych, dokonuje porównania i syntezy myśli Piageta i Wygotskiego w kontekście właśnie twierdzeń konstruktywizmu. *Według Piageta jeżeli świat nie może być poznawany bezpośrednio, ale tylko przez pośrednictwo operacji logicznych, nasza wiedza jest konstrukcją, konstrukcją która ma być testowana w działaniu - zarówno przez skuteczność działania, jak i rozumienie świata* (Bruner, 1996) [4].

⁹⁰ Autor: dr Krzysztof Rochowicz

Tymczasem rola nauczyciela lub wykładowcy wydaje się nam bardziej skomplikowana – jest nią takie poprowadzenie analitycznego rozumowania grupowego, aby spośród wszystkich możliwych ścieżek poznawczych prowadzących do założonego przez nauczyciela celu wybrać tę, która jest najbardziej przekonująca, a przy tym naukowo i logicznie poprawna. Ten rodzaj nauczania nazywamy hyper-konstruktywizmem [5].

W świecie współczesnym niezwykle cenną okolicznością jest możliwość budowania wiedzy w oparciu o prawdziwe przykłady narzędzi i miejsc, w których pracują naukowcy. Dostrzegamy naturalnie wszechobecność cyberprzestrzeni – „rzeczywistości” wirtualnej; jest ona dominująca również w astronomii. Narzędzia przydatne w dydaktyce astronomii obejmują szereg symulacji, demonstracji, modeli – poczynając od obrazowego przedstawiania miejsca Ziemi w kosmosie, poprzez interaktywne mapy i atlasy, aż po wirtualne planetarium i symulacje podróży w cyberwszechświecie. Osobna klasa zastosowań to obserwacje prawdziwego nieba za pomocą internetowych teleskopów [6].

8.3. Metodologia fizyki i astronomii na przykładzie wzajemnego wpływu obu dziedzin wiedzy

Na początku warto zastanowić się nad perspektywą, w której przychodzi nam stosować fizyczny lub astronomiczny opis świata. Naturalnie nie ma istotnej różnicy w obu podejściach – obie nauki jako podstawowe nauki przyrodnicze zajmują się badaniem właściwości materii i zjawisk zachodzących we Wszechświecie oraz wykrywaniem ogólnych praw, którym te zjawiska podlegają. Obie też wypracowały odpowiednią metodologię, u podstaw której leży założenie o tym, że Wszechświat istnieje obiektywnie i jest poznawalny [7].

Metoda badawcza fizyki polega na:

- obserwowaniu rzeczy (ciał) i zjawisk,
- wykonywaniu eksperymentów (także myślowych i komputerowych),
- wyciąganiu i formułowaniu wniosków w postaci możliwie ogólnych teorii,
- weryfikacji doświadczalnej zaproponowanych teorii.

Podobne założenia charakteryzują też podejście badawcze w astronomii, z tym jednak zastrzeżeniem, że rolę eksperymentów i doświadczeń przejmują tu praktycznie całkowicie obserwacje.

Można by też zastanowić się, co tak naprawdę stanowi normę: otaczający nas świat przyrody w środowisku naszej planety, czy też kosmos z jego ogromną przestrzenią i czasem. Oczywiście biorąc pod uwagę typowe miejsce we Wszechświecie, należałoby stosować opis astronomiczny, jednak dla nas, ludzi, naturalnym miejscem jest ziemskie środowisko, z jego niezbędnymi dla życia składnikami – atmosferą, wodą, materią organiczną, przyciąganiem naszej planety i promieniowaniem życiodajnej gwiazdy – słońca. Stąd też fizyka, rozwijająca się na powierzchni Ziemi, musi w pewnym momencie stanąć w obliczu przybliżenia uniwersalnych praw i reguł rządzących Wszechświatem, a uwzględniającym wszelkie zjawiska związane np. z obecnością atmosfery, manifestującej swą obecność poprzez choćby opór powietrza. Dziś doskonale zdajemy sobie z tego sprawę, jednak w przeszłości naturalną drogą było przenoszenie czynionych w ziemskim środowisku obserwacji na cały kosmos. Jak trudno było wyzwolić się od takiego opisu, możemy się przekonać, analizując np. pojawienie się w fizyce zasady bezwładności.

Arystoteles uważał, że źródłem i celem ruchu jest forma. Definiował ruch jako „urzeczywistnianie się przez formę możliwości zawartych w materii” oraz celowe dążenie każdego ciała do przeznaczonego mu miejsca, czyli do Ziemi, która uważana była niegdyś za środek Wszechświata. Były to tzw. ruchy naturalne, do których zaliczały się także ruchy gwiazd na niebie. Oprócz ruchu naturalnego, w filozofii Arystotelesa istniał jeszcze ruch

gwałtowny (wymuszony). Powstał on poprzez zakłócenie ruchu naturalnego zewnętrzną siłą, np. pchnięciem. Wg Arystotelesa „wszystkie ruchy potrzebują przyczyny; jeśli przyczyna ruchu ustanie, ustanie ruch” [8].

Takie sformułowanie wynika bezpośrednio z dokonywanych na powierzchni Ziemi obserwacji. Jeśli jednak przyjmiemy, że nie istnieją dwa rodzaje ruchu, to interpretacja znanych nam z codziennego życia zjawisk wymaga jakościowej zmiany w podejściu do tego zagadnienia. To Jan Buridan (ok. 1300 – 1358), w ślad za żyjącym w VI w. Janem Filiponem oraz żyjącym na początku drugiego tysiąclecia n.e. perskim lekarzem, filozofem i uczonym Awicenną twierdził, że po wprowadzeniu ciała w ruch uzyskuje ono pewną własność, która ten stan podtrzymuje – nazwał ją impetem [9]. Buridan stwierdził ponadto, że impet ciała zwiększa się z prędkością, a także z ilością materii – widzimy więc ścisły związek z nowoczesną koncepcją pędu. W takim podejściu przestaje być potrzebna podtrzymująca ruch „przyczyna”. Ruch staje się immanentną własnością każdego ciała posiadającego impet. Tego typu stwierdzenie niewątpliwie uutorowało ścieżkę nowoczesnego rozumienia ruchu ciał niebieskich – począwszy od praw ruchu planet, poprzez opis newtonowski, aż po koncepcję ogólnej teorii względności (patrz niżej).

Warto nadmienić, że już w VI w. Jan Filipon argumentował, że ruch może odbywać się w próżni oraz że prędkość spadającego ciała nie zależy od jego ciężaru. Należy też podkreślić zbieżne z metodami współczesnej dydaktyki poglądy Filipona na rolę eksperymentów oraz wnioskowania w konstruowaniu wiedzy.

Prawa Keplera stanowią mocne potwierdzenie teorii Kopernika i jednocześnie jej uogólnienie. Zrywają z pitagorejskim kanonem, zgodnie z którym prostota i elegancja opisu ruchu polegała na jego „rozłożeniu” na ruchy jednostajne po okręgu. Wydedukowane z danych empirycznych prawa były prawami czysto geometrycznymi, brak w nich pojęć dynamiki. Jednocześnie stały się inspiracją i podstawą rozważań dla Newtona szukającego uniwersalnego prawa rządzącego ruchami ciał na powierzchni Ziemi jak i w kosmosie.

W trakcie studiów teologii protestanckiej w Tybindze Johannes Kepler (1571-1630) zapoznał się szczegółowo z teorią heliocentryczną Kopernika i stał się jej gorącym propagatorem. Udało mu się odkryć trajektorie planet, inne niż proponowane przez wszystkie dotychczasowe systemy kosmologiczne, co zawdzięczał wynikom obserwacji Tychona Brahe (1546-1601).

Brahe przez wiele lat regularnie rejestrował położenia planet w ich ruchu po niebie, w szczególności dokonał wielkiej liczby dokładnych pomiarów położenia Marsa. Szczęśliwym zbiegiem okoliczności dla skuteczności zastosowanej metody było to, że orbita Ziemi jest niemal dokładnie okręgiem, a orbita Marsa jest elipsą o stosunkowo dużym mimośrodzie.

Po śmierci Tychona Brahe w 1601 bogate wyniki jego pomiarów na mocy testamentu stały się własnością Keplera. Dysponując nimi mógł Kepler graficznie wyznaczyć orbitę Marsa względem różnych punktów orbity ziemskiej. Po wieloletnich wytrwałych obliczeniach doszedł do wniosku, że najwłaściwszą krzywą jest elipsa. Głębsza analiza umożliwiła mu precyzyjne określenie zmiennej prędkości orbitalnej planety w jej ruchu po elipsie. Rezultaty tych prac opublikował w roku 1609 w dziele *Astronomia Nova*.

Pierwsze prawo, jak pamiętamy, określa, że każda planeta Układu Słonecznego porusza się wokół Słońca po elipsie, w której w jednym z ognisk jest Słońce. Dotyczy to również Ziemi. Na pytanie, kiedy w takim razie Ziemia jest bliżej Słońca, a kiedy dalej, odpowiedź zwykle nie jest szybka i oczywista. Na ogół usłyszymy, że bliżej jest latem, bo wtedy jest ciepło, ale po namyśle sami stwierdzimy pewną sprzeczność – przecież gdy na „naszej” (północnej) półkuli jest lato, na południowej panuje zima i odwrotnie. Pory roku są konsekwencją nachylenia osi obrotu Ziemi do płaszczyzny orbity i nie są związane z odległością (zmiany w przedziale od 147,1 do 152,1 mln km stanowią zaledwie ok. 3% średniego dystansu).

A z odległością jest właśnie akurat na odwrót: Ziemia jest na orbicie najbliższej Słońca ok. 3 stycznia, a najdalej ok. 3 lipca. I tu warto przywołać II prawo Keplera, w myśl którego mniejszej odległości odpowiada większa prędkość (w przypadku Ziemi – 30,29 km/s), zaś większej odległości – prędkość mniejsza (dla Ziemi 29,29 km/s). Różnice w wartościach prędkości nie są duże, a jednak składają się na 3-4 dniową różnicę długości trwania „naszych” wiosny i lata w stosunku do jesieni i zimy (porównaj długości poszczególnych pór roku!).

Obserwacje galileuszowych księżyców Jowisza, odkrytych w 1610 roku, potwierdziły trafność pierwszych dwóch praw Keplera o ruchu planet. Ułatwiły też Keplerowi, po kilku kolejnych latach, sformułowanie III prawa opublikowanego w roku 1619 w *Harmonices Mundi* („Harmonia świata”).

Interpretację „fenomenologicznych” praw Keplera zawdzięczamy newtonowskiej teorii grawitacji. Prawo powszechnego ciążenia głosi, że każdy obiekt we wszechświecie przyciąga każdy inny obiekt z siłą, która jest wprost proporcjonalna do iloczynu ich mas i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między ich środkami. Jest to ogólne prawo fizyczne, bazujące na empirycznych obserwacjach Newtona, które nazwał on indukcją (wpływem). Wchodzi ono w skład podstaw mechaniki klasycznej i zostało sformułowane w pracy pt.: *Philosophiae naturalis principia mathematica*, opublikowanej po raz pierwszy 5 lipca 1687 r. W języku współczesnym prawo to brzmi następująco: *Między dowolną parą ciał posiadających masy pojawia się siła przyciągająca, która działa na linii łączącej ich środki, a jej wartość rośnie z iloczynem ich mas i maleje z kwadratem odległości.*

W swym dziele Newton przedstawił spójną teorię grawitacji, opisującą zarówno spadanie obiektów na ziemi, jak i ruch ciał niebieskich. Angielski fizyk oparł się na zaproponowanych przez siebie zasadach dynamiki oraz prawach Keplera dotyczących odległości planety od Słońca.

Dla uproszczenia założmy, że dwie planety poruszają się po kołowej orbicie. Trzecie prawo Keplera przyjmie dla nich postać:

$$\left(\frac{R_1}{R_2}\right)^3 = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 \quad (1),$$

gdzie: R_1, R_2 – promienie orbit, T_1, T_2 – okresy obiegu planet.

Zgodnie z rachunkiem wektorowym ciało poruszające się po okręgu jest poddane przyspieszeniu:

$$a = \frac{v^2}{R} \quad (2),$$

gdzie: a – przyspieszenie, v – prędkość, R – promień okręgu, co według drugiej zasady dynamiki oznacza, że musi działać na nie siła dośrodkowa:

$$F_d = \frac{m_b v^2}{R} \quad (3),$$

gdzie m_b to masa bezwładnościowa ciała.

Przy ruchu planet ta siła dośrodkowa jest równa sile grawitacyjnej F_g . Prędkość orbitalna może być wyliczona jako:

$$v = \frac{2\pi R}{T} \quad (4)$$

Jeżeli podstawimy zależność (4) do (3) to otrzymamy:

$$F_g = \frac{m_b 4\pi^2 R}{T^2} \quad (5),$$

Stosunek sił grawitacyjnych dla planet można rozpisać jako:

$$\frac{F_{g1}}{F_{g2}} = \frac{m_{b1}R_1T_2^2}{m_{b2}R_2T_1^2} (5),$$

Jeżeli teraz do równania (5) podstawimy (1) to pozbedziemy się okresów obiegu:

$$\frac{F_{g1}}{F_{g2}} = \frac{m_{b1}R_2^2}{m_{b2}R_1^2} (5),$$

Otrzymana zależność oznacza tyle, że stosunek sił grawitacyjnych jest proporcjonalny do odwrotności stosunku kwadratów odległości. Jeżeli planeta jest dwa razy dalej od Słońca, to siła grawitacji jest cztery razy mniejsza. Kiedy ciało ma dwa razy mniejszą masę, wtedy siła jest dwa razy mniejsza.

Newton uznał, że ta sama siła powoduje ruch planet po orbitach oraz spadanie jabłka z drzewa. W ten sposób ten wielki fizyk położył podwaliny pod mechanikę klasyczną. W tym ujęciu grawitacja jest siłą, z jaką oddziałują na siebie wszelkie ciała obdarzone masą.

Sformułowana przez Newtona spójna teoria grawitacji stanowiła ogólne prawo fizyczne, bazujące na empirycznych obserwacjach, zgodnie z metodą którą nazwano indukcją (wpływem).

Kłopoty z klasyczną teorią grawitacji dały się poznać na przykładzie ruchu peryhelium Merkurego, rozważanym od połowy wieku XIX [10]. Wyjaśniony przez Schwarzschilda efekt był w zasadzie pierwszym doświadczalnym potwierdzeniem ogólnej teorii względności [11]. Dziś podobny efekt obserwujemy na przykładzie podwójnego pulsara PSR 1913+16, u którego jeden pełen obrót peryhelium trwa 85 lat. Za odkrycie tego obiektu w 1974 roku, przyznano Nagrodę Nobla w roku 1993 (Hulse, Taylor). Na ogół pierwszeństwo w obserwacyjnym potwierdzeniu ogólnej teorii względności przyznaje się wyprawie Eddingtona na Wyspę Książęcą w celu obserwacji całkowitego zaćmienia Słońca 29.05.1919 r. i efektu przesunięcia gwiazd na sferze niebieskiej w otoczeniu naszej dziennej gwiazdy (zmiana biegu promieni świetlnych w jej polu grawitacyjnym). Tak czy inaczej astronomiczne obserwacje przysłużyły się fizyce. A dziś efekt zakrzywienia biegu wiązki światła w polu grawitacyjnym obserwujemy znacznie wyraźniej i dobitniej na przykładach wielu soczewek grawitacyjnych, których obrazów dostarcza nam m.in. teleskop kosmiczny Hubble'a. Z kolei zaproponowana przez polskiego astronoma Bohdana Paczyńskiego metoda obserwacji mikrosoczewkowania przynosi dodatkowe korzyści w formie np. odkryć nowych planet wokół innych gwiazd [12].

8.4. Nowe pomysły interdyscyplinarnego nauczania

Przed nami próba odpowiedzi na pytanie: Jak nauczać fizyki poprzez astronomię? W ostatnich latach zagadnienie to jest rozważane podczas serii naukowych konferencji oraz w pracach dydaktyków skupionych w nieformalnej grupie Better Physics, prowadzącej stronę internetową betterphysics.org. Jest to dobry punkt wyjścia do poszerzenia perspektywy nauczania fizyki przez włączanie elementów astronomii. Znajdziemy tam odnośniki do materiałów konferencyjnych, publikacji i opracowań poświęconych temu zagadnieniu.

Ciekawym opracowaniem w języku angielskim, dostępnym za darmo w Internecie (motionmountain.net), jest bogato ilustrowany kurs nowoczesnej fizyki w ujęciu interdyscyplinarnym. Najnowsza wersja (25.4 z maja 2013) uzupełniona została o filmy i animacje.

Warto też sięgnąć do oferty wirtualnego Instytutu Fizyki (www.iop.org), działającego w oparciu o liczne organizacje oraz fizyków i dydaktyków z całego świata. Wśród bogatych zasobów znajdziemy tam m.in. *Teaching astronomy and space videos*, ilustrujące szereg zagadnień istotnych w nauczaniu na poziomie gimnazjum. Wspominając materiały wideo, nie sposób pominąć niezwykle cennych informacji i komunikatów przygotowywanych przez

Europejskie Obserwatorium Południowe (www.eso.org) pod hasłem ESO Cast – to wysokiej jakości filmy informujące o pracach prowadzonych przy użyciu największych naziemnych teleskopów i najnowszych astronomicznych odkryciach. Do większości filmów dostępne są m.in. polskie napisy.

8.5. Elementy astronomii w obecnej podstawie programowej

W nowej podstawie programowej bardziej konkretne elementy astronomii odnajdziemy po raz pierwszy w wymaganiach szczegółowych treści nauczania przedmiotu *Przyroda* dla II etapu edukacyjnego (klasy IV-VI szkoły podstawowej) w postaci zagadnienia „Ziemia we Wszechświecie”. Zgodnie z założeniami, uczeń:

- 1) opisuje kształt Ziemi z wykorzystaniem jej modelu – globusa;
- 2) wymienia nazwy planet Układu Słonecznego i porządkuje je według odległości od Słońca;
- 3) wyjaśnia założenia teorii heliocentrycznej Mikołaja Kopernika;
- 4) bada doświadczalnie prostoliniowe rozchodzenie się światła i jego konsekwencje, np. camera obscura, cień;
- 5) bada zjawisko odbicia światła: od zwierciadeł, powierzchni rozpraszających, elementów odbłaskowych;
- 6) prezentuje za pomocą modelu ruch obiegowy i obrotowy Ziemi;
- 7) odnajduje zależność między ruchem obrotowym Ziemi a zmianą dnia i nocy;
- 8) wykazuje zależność między ruchem obiegowym Ziemi a zmianami pór roku.

W komentarzu czytamy m.in.: „Zagadnienia dotyczące Ziemi w Układzie Słonecznym mają na celu kształtowanie u uczniów umiejętności posługiwania się modelem i wyjaśniania obserwowanych zjawisk na jego bazie. Wcześniejsze zbadanie przez uczniów prostoliniowego rozchodzenia się i odbicia światła umożliwi im tłumaczenie obserwowanych zjawisk”.

Niewiele treści astronomicznych dodaje nowa podstawa programowa dla III etapu edukacji (gimnazjum). Jest to w zasadzie uszczegółowienie niektórych z wymienionych wyżej elementów w treściach nauczania geografii (Kształt, ruchy Ziemi i ich następstwa), w komentarzu czytamy m.in.: „Wprowadzenie zagadnień związanych z ruchami Ziemi powinno być poprzedzone przypomnieniem wniosków z obserwacji bezpośrednich dokonywanych na lekcjach przyrody, a dotyczących m.in.: zmiany miejsc wschodu i zachodu Słońca w ciągu roku, zmian długości dnia i nocy oraz wysokości Słońca w momencie górowania w różnych porach roku. Jako najważniejsze geograficzne następstwa ruchów Ziemi należy rozumieć: następstwo dnia i nocy, czas słoneczny, zmiany w oświetleniu i długości trwania dnia i nocy na Ziemi, zmiany wysokości Słońca w momencie górowania w różnych porach roku i różnych szerokościach geograficznych.”

Astronomia znajduje kolejny swój kącik dopiero w IV etapie edukacyjnym - liceum. W podstawie programowej fizyki znajdujemy dział „Grawitacja i elementy astronomii”, gdzie oprócz omówienia siły grawitacji jako przyczyny spadania ciał i roli ciał centralnych, jest miejsce na omówienie takich zagadnień jak: sztuczne satelity Ziemi, pozorny ruch planet na tle gwiazd, zjawiska w układzie Słońce – Ziemia – Księżyc, pomiar odległości w astronomii – zjawisko paralaksy, historia Układu Słonecznego, budowa Galaktyki, rozszerzanie się Wszechświata i Wielki Wybuch. Ta właśnie porcja astronomii przeznaczona będzie dla wszystkich uczniów liceum w trakcie zwieńczającej dla większości nauki fizyki w klasie I.

Ci uczniowie, którzy wybiorą geografę rozszerzoną, mają jeszcze szansę na poznanie niektórych zagadnień praktycznej astronomii w dziale „Ziemia we Wszechświecie”. Zgodnie z jego założeniami, uczeń m.in.:

- 1) wyjaśnia cechy budowy i określa położenie różnych ciał niebieskich we Wszechświecie;
- 2) charakteryzuje ciała niebieskie tworzące Układ Słoneczny;
- 3) wskazuje konsekwencje ruchów Ziemi;

- 4) oblicza wysokość górowania Słońca w dowolnym miejscu na Ziemi w dniach równonocy i przesileni;
- 5) oblicza szerokość geograficzną dowolnego punktu na powierzchni Ziemi na podstawie wysokości górowania Słońca w dniach równonocy i przesileni;
- 6) opisuje różnice między astronomicznymi, kalendarzowymi i klimatycznymi porami roku;
- 7) wyjaśnia przyczynę występowania: dni i nocy polarnych na obszarach podbiegu nowych, zorzy polarnej, zaćmienia Słońca i Księżycy;
- 8) wskazuje skutki występowania siły Coriolisa dla środowiska przyrodniczego.

Pozostali mogą liczyć jedynie na łaskawe potraktowanie elementów astronomii w ramach licealnego przedmiotu „Przyroda”. Szczegółowe omówienie zagadnień astronomicznych w tym zakresie zawiera prezentacja dostępna na stronie internetowej Zakładu Dydaktyki Fizyki UMK w Toruniu, http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa_strona/?q=node/211

Podsumowując ten krótki przegląd obecności tematyki astronomicznej w polskim programie nauczania, możemy zauważyć szereg przewijających się zagadnień, tworzących swego rodzaju kanon wykształcenia współczesnego człowieka. Należy się tu odwołać do doświadczeń współczesnej pedagogiki i dydaktyki, przede wszystkim jej konstruktywistycznego nurtu. Zgodnie z jego założeniami, uczenie się rozumiane jest jako proces konstruowania nowych modeli i reprezentacji świata za pomocą manipulowania obiektami oraz za pomocą języka i innych narzędzi kulturowych. Jest to proces nieustannej negocjowania znaczeń, ze sobą, z rówieśnikami oraz z nauczycielem. Celem współczesnej edukacji, ogólniej ujmując pedagogiki, jest jej unowocześnienie, która łączy się z porzuceniem koncepcji człowieka oświeconego na rzecz koncepcji człowieka innowacyjnego [13]. W dzisiejszych czasach wiedza encyklopedyczna, która przez lata dominowała w programach szkolnych, bardzo szybko ulega dezaktualizacji. Dlatego w edukacji trzeba zwracać uwagę na kształcenie młodego człowieka idąc w kierunku innowacyjności, która poszerza granice kształcenia m.in. poprzez spojrzenie na egzystencję człowieka w technologii i odwrotnie [14].

8.6. Metodologia w praktyce

Zakład Dydaktyki Fizyki UMK w Toruniu od wielu lat podejmuje działania w dziedzinie popularyzacji fizyki i astronomii. Warto wspomnieć choćby o serii wykładów z pokazami pt. „Kopernik w krótkiej koszulce” [15]. Więcej informacji i aktualnych komunikatów można znaleźć na naszej stronie internetowej Fizyka dla każdego: dydaktyka.fizyka.umk.pl.

Dla wprowadzenia w tematykę współczesnych badań astronomicznych warto odwiedzić np. obserwatorium astronomiczne UMK w Piwnicach k. Torunia. Przygodę z astrofizyką najlepiej zacząć od obejrzenia instrumentu, który prowadził na tym polu pionierskie prace. Jest nim teleskop Drapera, którym przeszło sto lat temu wykonano fotograficzny przegląd widm gwiazd całego nieba północnego. Same klisze fotograficzne nie miałyby jednak żadnego znaczenia, gdyby nie wyłożona, mrówcza, wieloletnia praca Pani Annie Jump Cannon nad katalogiem HD, obejmującym identyfikację widm ponad 225 tysięcy gwiazd.

Wielkie wrażenie na odwiedzających Piwnice robi największy polski teleskop optyczny o średnicy zwierciadła 90 cm. To instrument będący godnym spadkobiercą teleskopu Drapera, umożliwiający uzyskiwanie widm gwiazd już w nowoczesny, cyfrowy i zautomatyzowany sposób.

Mamy też możliwość stanięcia pod gigantyczną anteną 32-metrowego radioteleskopu, by w jej cieniu choć przez chwilę pomyśleć o ogromie Wszechświata, do którego badania współcześnie radioastronomia walnie się przyczynia.

8.7. Mieszkając na wirującej planecie

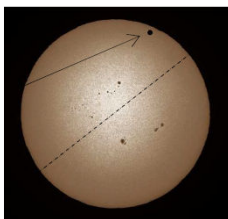
Omawiając miejsce Ziemi w kosmosie warto pokusić się o opis zjawisk obserwowanych na niebie z perspektywy wirującej i obiegającej Słońce planety. Taki opis znajdziemy m.in. w podręczniku „Fizyka współczesna” autorstwa G. Karwasza i M. Więcek (ZDF UMK 2012). W tym podrozdziale prześledzimy kilka przykładów nabywania wiedzy opartej na codziennym doświadczeniu i obserwacjach otaczającego nas świata, zaczerpniętych z tej publikacji. Autorzy wychodzą od znanych powszechnie zjawisk – wschodów i zachodów oraz wędrówki Słońca po niebie, by przedstawić ciekawe i nie zawsze podkreślane różnice np. w wyglądzie zegarów słonecznych albo kierunku pozornego ruchu Słońca na niebie na półkuli północnej i południowej patrz fot. poniżej.

Fot. 4.2. Słońce, widziane z półkuli południowej zatacza na niebie łuk w „odwrotnym” kierunku: ze wschodu na zachód, ale w samo południe wskazuje geograficzną północ; zegary słoneczne w parku w Sydney mają odwrotny niż w Europie porządek godzin – liczby rosną w kierunku przeciwnym niż na tarczy zwykłego zegara



Nieco rzadziej mamy okazję przekonać się, że to co oczywiste za dnia, dzieje się również w nocy. O ile jeszcze uczniowie zwykle uświadamiają sobie, że Księżyc, podobnie jak Słońce, wschodzi, wznosi się najpierw coraz wyżej, a potem stopniowo obniża i zachodzi, to podobne przekonanie odnośnie gwiazd nie jest już tak powszechne. Dlatego warto posłużyć się zdjęciem nocnego nieba wykonanym nieruchomym aparatem fotograficznym, aby zademonstrować efekty ruchu obrotowego Ziemi jako ślady (łuki) pozostawiane przez gwiazdy - tym dłuższe, im dalej od Gwiazdy Polarnej się znajdują. Zmiana położenia Wielkiego Wozu względem Gwiazdy Polarnej i horyzontu stała się podstawą opracowania „gwiazdnych zegarów” umożliwiających określenie przybliżonego czasu na podstawie obserwacji nieba.

Autorzy podręcznika „Fizyka współczesna” zwracają też uwagę na istotny i mający liczne konsekwencje fakt, że wszystkie planety (i Księżyc) krążą wokół Słońca w przybliżeniu w jednej płaszczyźnie. Roczny obieg Ziemi skutkuje pozornym przesuwaniem się Słońca wzdłuż ekliptyki. Jej nazwa wywodzi się od greckiego słowa oznaczającego zaćmienie. Nie każdy miesiąc przynosi tego typu zjawisko w układzie Ziemia-Księżyc-Słońce. Przyczyną tego stanu rzeczy jest fakt, że płaszczyzna orbity Księżyca jest jednak nachylona do płaszczyzny ekliptyki pod kątem ok. 5 stopni, nie każdej więc pełni towarzyszy zaćmienie Księżyca i nie każdy nów wiąże się z zaćmieniem Słońca. Podobna prawidłowość dotyczy też planet, np. Merkury i Wenus mogą przechodzić na tle tarczy Słońca, ale nie czynią tego za każdym razem; przeciwnie – transyty tych planet należą do zjawisk rzadkich (patrz niżej).



Do tranzytu dochodzi, gdy jedna z planet wewnętrznych (Merkury lub Wenus) znajdzie się pomiędzy Ziemią a Słońcem. Tranzyt planety Wenus zachodzi okresowo co: 8, 105, 8, 121 lat. Ostatni tranzyt Wenus obserwowany był w 2004 r., kolejny w 2012 r., następane będą w 2117 r. oraz 2125 r.

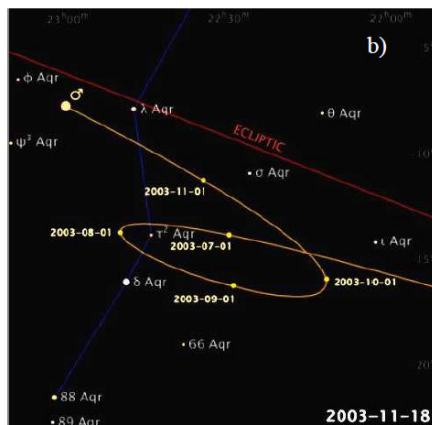
Fot. 4.12 Tranzyt Wenus na tle tarczy słonecznej godz. 6:25, 6/6/2012, Monte Bondone, szer. geogr. 46°N, foto Ch. Lavarian. Wenus to plamka w górnym prawym rogu, pozostałe ciemne punkty to plamy słoneczne. Linia przerywana to położenie ekliptyki (przy Słońcu wschodzącym)

Wyjaśniając ruch Ziemi i towarzyszącego jej Księżyca warto odwołać się do codziennych obserwacji naszego naturalnego satelity. Dość dobrze znane fakty – zmienność faz, przemieszczanie się wśród gwiazd na niebie, możliwość oglądania ciągle tej samej strony – warto wykorzystać do wyjaśnienia faktycznie zachodzących w układzie Słońce – Ziemia – Księżyc zmian oraz podkreślenia jego znaczenia dla stabilizacji nachylenia ziemskiej osi obrotu, a tym samym ziemskiego klimatu. Należy też zwrócić uwagę, że możliwość oglądania jednej strony Księżyca nie oznacza, że się on nie obraca, a jedynie że jest to rotacja synchroniczna z obiegiem dookoła Ziemi. Warto podkreślić, że nie zawsze w odległej przeszłości tak było oraz wpływ Księżyca na wydłużanie się ziemskiej doby, który w bardzo odległej przyszłości może doprowadzić do synchronicznej do obiegiem rotacji obu ciał (podobny przypadek obserwujemy np. w układzie Pluton-Charon).

Kolejne, szczególnie istotne dla rozwoju astronomii, ale też i poglądu na nasze miejsce w kosmosie fakty wiążą się z obserwacjami planet – ich wyglądu oraz pozycji na niebie (patrz niżej).



Fot. 4.14. Dwa dowody na prawdziwość teorii Kopernika: **(a)** fazy Wenus¹⁴, zaobserwowane po raz pierwszy przez Galileusza; **(b)** zapętłona (jeśli widziana z Ziemi) trajektoria Marsa na niebie¹⁵.



Obserwacje tego typu są co prawda nieco trudniejsze, wymagają też dłuższej perspektywy czasowej. Pozwalają jednak docenić zasługi naszego wielkiego astronoma Mikołaja Kopernika w budowaniu nowego obrazu Układu Słonecznego i uświadamianiu miejsca, które zajmuje w nim Ziemia.

8.8. Astronomia w komputerze

W dalszej części niniejszego działu wykażemy, jak bardzo przydatnym narzędziem w rozwijaniu astronomicznych zainteresowań jest komputer. Część rekomendowanych źródeł najlepiej wykorzystywać bezpośrednio z użyciem internetu, ale nawet niepodłączony do sieci komputer może w znacznym stopniu ułatwić i usprawnić prezentowanie bądź wyjaśnianie wielu zjawisk. Rozpocznemy od krótkiego zaprezentowania wybranych witryn o tematyce

astronomicznej, co stanowi dobry punkt wyjścia do pogłębiania zainteresowań. Przedstawimy oprogramowanie pomocne w poznawaniu nieboskłonu i obserwacjach zjawisk. Omówimy wybrane teleskopy internetowe, wskazując na ich możliwe wykorzystanie. Poświęcimy szczególną uwagę programom komputerowym przeznaczonym do samodzielnych eksperymentów i ćwiczeń oraz ciekawym projektem edukacyjnym, w których realizację każdy może się włączyć.

8.8.1 Internetowe witryny astronomiczne

Na początek wymienimy kilka godnych uwagi adresów witryn internetowych:

- Astronomia.pl – www.astronomia.pl
- Serwis edukacyjny PTA Orion – www.pta.edu.pl/orion
- Portal to the Universe – www.portaltotheuniverse.org
- Heavens Above – www.heavens-above.com
- „Urania – Postępy Astronomii” – urania.pta.edu.pl
- „Astronomy” – www.astronomy.com
- „Sky & Telescope” – www.skyandtelescope.com
- Międzynarodowa Unia Astronomiczna – www.iau.org
- Teleskop kosmiczny Hubble’a – hubblesite.org
- Europejskie Obserwatorium Południowe – www.eso.org
- Wirtualny Wszechświat – www.wiw.pl
- Astro Vision – www.astrovision.pl
- Galeria zdjęć astronomicznych – gallery.astronet.pl
- Astrohobby.pl – www.astrohobby.pl

Wirtualną przygodę z astronomią przeciętny użytkownik zwykle rozpoczyna od wpisania hasła „astronomia” w wyszukiwarce. Warto zauważyć, że dziedzina ta jest jednym z niewielu przykładów, kiedy takie automatyczne wyszukiwanie nie kieruje nas od razu do wikipedii, ale do Polskiego Portalu Astronomicznego [astronomia.pl](http://www.astronomia.pl) (www.astronomia.pl). Portal działa od 2001 roku (obecnie nie jest już w pełni aktualizowany), a jego misją jest jak najszersze popularyzowanie nauki o Wszechświecie oraz innych nauk ścisłych. Z założenia jest kierowany przede wszystkim do młodzieży szkolnej, studentów oraz miłośników astronomii. Koordynowany przez astronomów i objęty patronatem PTMA stawia na rzetelną wiedzę podawaną w sposób jak najbardziej przystępny. Na stronie głównej odnajdziemy odnośniki do interesujących działów, opisy zjawisk na niebie, efemerydy, ale też całą gamę form społecznościowych – forum użytkowników, czat astronomiczny, porady i ankiety. Jest tu miejsce i na ogólny opis astronomii jako nauki z jej historią i podziałem na poszczególne grupy obiektów (planety, gwiazdy, galaktyki), i na wskazówki dotyczące obserwacji i instrumentów (niebo dla początkujących, kalendarzyk astronomiczny, mapki nieba; informacje o lornetkach, teleskopach, fotografowaniu nieba), a także na bogatą dodatkową literaturę oraz dalsze wskazówki pomocne w edukacji (astronomia w szkole, studiowanie astronomii), a nawet astrożarty.

Wikipedia (przy zachowaniu rozsądku i odrobiny rezerwy) też jest dobrym źródłem porządkującym wiedzę, pozwalającym łatwo znaleźć informację na interesujący nas temat, docierać do szczegółów i przenosić się w cyberprzestrzeni dzięki hiperłączom.

Z astronomicznych stron polskojęzycznych warto jeszcze wymienić Serwis Edukacyjny Orion Polskiego Towarzystwa Astronomicznego (czyli organizacji zrzeszającej zawodowych astronomów): www.pta.edu.pl/orion Odnajdziemy tu aktualne astro-wiadomości, kalendarium zjawisk na niebie, informacje o dwumiesięczniku „Urania – Postępy Astronomii”, ciekawe i pouczające ćwiczenia z astronomii, mamy też możliwość zadania nurtującego nas pytania astronomowi.

Jeśli posługiwanie się językiem angielskim nie stanowi dla nas problemu (a jest to już prawie naturalne narzędzie dla większości młodych ludzi), warto internetowe spotkanie z astronomią rozpocząć na stronie *Portal to the Universe* (www.portaltotheuniverse.org). Jest to witryna stworzona podczas Międzynarodowego Roku Astronomii 2009, która w sposób nowoczesny i skondensowany ułatwia start w różne tematy i aspekty nauki o kosmosie. Oprócz tradycyjnych astro-wiadomości tam między innymi: 3 codzienne propozycje zdjęcia dnia (amatorskie, astronomiczne i NASA) oraz 2 zdjęcia tygodnia (z teleskopu kosmicznego Hubble'a i obserwatorium ESO w Chile – warto zauważyć, że za pośrednictwem tych łączy trafiamy do bogatych archiwów liczących wiele tysięcy fotografii i opisanych przez zawodowych astronomów), informacje, animacje i zdjęcia prezentujące aktualny wygląd Słońca, Księżyca. Dzięki tej witrynie mamy możliwość zaobserwowania nietypowych obiektów i zjawisk – komet, zór polarnych, przelotów Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (przy okazji trafiamy m.in. na niezwykle ciekawą i oferującą dodatkowe możliwości stronę *Heavens Above*, www.heavens-above.com), otrzymujemy informacje o przejściach planetoid w pobliżu Ziemi i aktualnym stanie odkryć planet poza Układem Słonecznym (link do Encyklopedii Pozasłonecznych Układów Planetarnych – również po polsku!). Warto podkreślić dbałość autorów i koordynatorów projektu o nadążanie za aktualnymi światowymi trendami, stąd liczne materiały wideo, odnośniki do blogów, twittera, wersja na iPady itp.

Ciekawe i bogate witryny internetowe oferują też czasopisma – polskie „Urania – Postępy Astronomii” (urania.pta.edu.pl) oraz angielskojęzyczne „Astronomy” (www.astronomy.com) i „Sky & Telescope” (www.skyandtelescope.com). Warto przejrzeć strony internetowe różnych instytucji i obserwatoriów, na przykład IAU (Międzynarodowa Unia Astronomiczna, www.iau.org), HST (teleskop kosmiczny Hubble'a, hubblesite.org) czy ESO (Europejskie Obserwatorium Południowe, www.eso.org; tu część stron od niedawna jest dostępna w polskiej wersji językowej). Wspomnijmy jeszcze, że w nieuaktualnianym już serwisie Wirtualny Wszechświat (www.wiw.pl) możemy znaleźć w całości dwie ciekawe książki: *Ewolucja fizyki* Alberta Einsteina i Leopolda Infelda oraz *Boska cząstka* Leona Ledermana.

8.8.2 Oprogramowanie do obserwacji nieba

Omówimy wybrane przykłady programów i stron internetowych możliwych do wykorzystania:

- Wirtualne planetarium – www.stellarium.org
- Google Sky – www.google.com/intl/pl/sky/
- Google Moon – www.google.com/moon/
- Google Mars – www.google.com/mars/
- Full Moon Atlas – www.lunarrepublic.com/atlas/index.shtml
- Mag7 Star Atlas – www.cloudynights.com/item.php?item_id=1052
- Baza danych Simbad – simbad.u-strasbg.fr/simbad/

Mikołaj Kopernik w przedmowie do swego dzieła *O obrotach sfer niebieskich* pisał: „Cóż piękniejszego nad niebo, które przeciw ogarnia wszystko, co piękne”. W dzisiejszym świecie, zwłaszcza w miastach, trudno znaleźć miejsce oferujące ten zapierający dech w piersiach widok. Nie zawsze też mamy możliwość szybkiego zorganizowania wyprawy do planetarium. Tymczasem nawet w szkolnej pracowni, używając projektora podłączonego do komputera, możemy zaproponować uczniom ciekawą prezentację namiastki prawdziwego nieba oraz zjawisk na nim zachodzących, dzięki wielu programom astronomicznym typu wirtualne planetarium, na przykład Stellarium (www.stellarium.org). Program ten jest bezpłatny, dostępny na dowolny system operacyjny, z piękną grafiką. Demonstruje realistyczny wygląd nieba, jakie możemy zobaczyć gołym okiem lub za pomocą lornetki czy teleskopu. Zamieszczony poniżej krótki opis działania programu dotyczy aktualnie dostępnej wersji

0.10.0. Po zainstalowaniu i uruchomieniu programu będziemy oglądać niebo nad wybranym miejscem w danym czasie.



Zrzut ekranu programu Stellarium –
dzienne niebo i paski zadań.

Przy pierwszym użyciu zobaczymy najprawdopodobniej niebo nad Paryżem, ponieważ program wywodzi się z Francji, możemy jednak bardzo łatwo wprowadzić własne położenie. Dla przykładu, klawisz F6 otwiera okno Lokalizacja, gdzie wystarczy albo kliknąć na mapę, albo wybrać swoje miasto z listy miast świata, albo też ręcznie wprowadzić współrzędne geograficzne.

W lewym dolnym rogu ekranu znajduje się pasek stanu pokazujący aktualne położenie, rozmiar pola widzenia (FOV), wydajność grafiki (FPS) oraz datę i czas. Pozostałą część ekranu zajmuje obraz krajobrazu i nieba. Jeśli czas i położenie użytkownika wypadnie na godziny nocne, zobaczymy gwiazdy, planety i Księżyc w ich aktualnym ustawieniu; w ciągu dnia pojawi się Słońce i ewentualnie Księżyc. Żeby zmienić kierunek patrzenia (domyślnie: południowy), można przeciągać po niebie kursor myszki lub używać strzałek na klawiaturze. Kóleczkami myszki albo klawiszami PgUp/PgDn wykonujemy zbliżenia/oddalenia. Jeśli kursor przesuniemy nad pasek stanu, ten ostatni wysunie się w formie paska zadań umożliwiającego proste sterowanie wybranymi narzędziami programu.

Gdy uruchamiamy Stellarium, data i czas w programie ustawiają się zgodnie z systemowym zegarem komputera, a czas zaczyna płynąć w naturalnym tempie. Jednak możliwości programu są pod tym względem o wiele bogatsze. Możemy sami zdecydować, w jakim tempie czas będzie płynął, a nawet w którą stronę! Na początek spróbujmy udać się w przyszłość. Przyjrzyjmy się przyciskom tempa upływu czasu po prawej stronie dolnego paska narzędzi. Gdy umieścimy kursor nad przyciskami, zauważymy pojawiający się na ekranie krótki opis jego przeznaczenia oraz skrót klawiaturowy. Skorzystajmy z prawego przycisku Zwiększ tempo upływu czasu. Po jednorazowym kliknięciu nie widać zbyt dużej różnicy. Jeśli jednak popatrzymy na zegar na pasku stanu, zauważymy, że ukazuje on zmiany czasu w przyspieszonym tempie. Po drugim kliknięciu tempo wzrasta jeszcze bardziej. Jeśli dobrze się przyjrzymy, powinniśmy dostrzec przesuwanie się Słońca bądź gwiazd nad horyzontem – skutek ruchu obrotowego Ziemi. Po trzecim kliknięciu zmiany te staną się ewidentne, a czas naprawdę ucieka! Jak na przyspieszonym filmie obserwujemy kolejne wschody i zachody słońca oraz wędrówkę gwiazd na nocnym niebie. Analogicznie, kilkakrotnie przyciskając Zmniejsz tempo upływu czasu, możemy odbyć podróż w przeszłość.

Powróćmy do normalnej prędkości upływu czasu (lub chwili obecnej – 2. lub 3. od prawej przycisk na pasku zadań). Aby skierować wzrok – czy też środek ekranu – na dowolny obiekt, możemy wybrać go lewym klawiszem myszki i wcisnąć spację. Użycie klawisza / dodatkowo przybliży interesujący nas obiekt. Stellarium to coś więcej niż tylko gwiazdy na niebie. Poniższa rycina przedstawia wybrane efekty graficzne i wizualne, takie jak rysunki

konstelacji, nazwy planet, rozjaśnienie atmosfery wokół Księżyca. Przyciski na pasku zadań umożliwiają ich włączanie i wyłączenie.



Zrzut ekranu programu Stellarium – wybrane efekty graficzne.

Gdy zbliżymy kursor do lewego dolnego brzegu ekranu, wysunie się drugi pasek zadań. Kolejne jego przyciski otwierają okienka dialogowe umożliwiające dalszą pracę i konfigurację programu. Zachęcamy do zapoznania się z nimi, zapewniamy, że uczniowie już po kilku próbach będą w stanie odtworzyć wygląd nieba w dowolnym miejscu i czasie. Od fantazji i pomysłowości nauczyciela lub opiekuna zależy będzie, do czego ten program zostanie użyty. Możemy tylko zasugerować jego wybrane zastosowania:

- gwiazdy – podstawowe informacje o jasnościach, odległościach, barwach; konstelacje różnych kultur, legendy o gwiazdozbiorach;
- dzień i noc w różnych miejscach na Ziemi; obserwacje wschodów i zachodów oraz górowania Słońca;
- demonstrowanie skutków ruchu obrotowego Ziemi – pozorny ruch dobowy sfery niebieskiej na różnych szerokościach geograficznych;
- roczne zmiany położenia Słońca nad horyzontem, zmiana wyglądu nieba – wybrane skutki ruchu obiegowego;
- ruch Księżyca dookoła Ziemi – zmiany położenia i faz Księżyca, zakrycia gwiazd;
- odtwarzanie zaćmień Słońca i Księżyca, dyskusja;
- pomoc w obserwacjach planet – ich odnajdywanie, śledzenie wędrówki, wygląd w lornetkach i teleskopach: fazy Wenus, księżyc Jowisza, pierścienie Saturna;
- prezentowanie nieba z powierzchni Księżyca i innych ciał Układu Słonecznego;
- Słońce jako obracająca się gwiazda, plamy słoneczne;
- mgławice i gromady gwiazd – miejsca narodzin innych słońc oraz końcowe etapy ich ewolucji;
- Droga Mleczna i inne galaktyki – wyspy we Wszechświecie.

Przydatnych zastosowań programu może być oczywiście znacznie więcej. Przy odrobinie wprawy program tego typu staje się niemal niewyczerpalnym źródłem wzbogacania wiedzy i astronomicznej pasji – nazwa „wirtualne planetarium” jest więc w pełni uzasadniona.

Oprócz programów typu planetarium mamy też proste i przyjazne dla użytkownika interaktywne strony pozwalające poznawać niebo bądź powierzchnię Księżyca i Marsa – odpowiednio *Google Sky* (www.google.com/intl/pl/sky/), *Google Moon* (www.google.com/moon/) i *Google Mars* (www.google.com/mars/) – działające na podobnej zasadzie jak szeroko wykorzystywany *Google Earth* (www.google.com/intl/pl/earth/index.html). Warto podkreślić mocne, edukacyjne strony tych

narzędzi. W przypadku *Google Sky* oprócz „zwykłego” wędrowania po niebie ze zmianą skali obrazu możemy jednym kliknięciem wywołać obraz podczerwony lub mikrofalowy oglądanego fragmentu nieba. Dzięki dodatkowym narzędziom możemy łatwo nawigować wśród planet Układu Słonecznego lub gwiazdozbiorów należących do zodiaku.

Google Moon to oparta na fotografiach mapa naszego naturalnego satelity (jego strony widocznej i niewidocznej z Ziemi) z zaznaczonymi miejscami lądowania astronautów kolejnych misji Apollo. Możliwość dokładnego przyjrzenia się tym miejscom (są dodatkowe filmy i animacje oraz opis przebiegu misji) jest ogromnym atutem tej witryny. W najnowszej wersji możemy też obejrzeć dokładne, trójwymiarowe modele lądowników i księżycowych pojazdów, panoramy z miejsc lądowania, unikatowe materiały filmowe oraz wysłuchać opowieści i komentarzy samych selenonautów. Niezwykłych przeżyć dostarcza też śledzenie bardzo wiernie odtwarzanych sekwencji zbliżania się i lądowania na powierzchni Srebrnego Globu.

Google Mars to z kolei wirtualna eksploracja powierzchni Czerwonej Planety oglądanej z góry. Możemy wybrać pomiędzy widokiem mapy hipsometrycznej, obrazem w świetle widzialnym i w podczerwieni. W dodatkowych opcjach możemy przeglądać poszczególne formy rzeźby terenu, takie jak równiny, góry, kaniony, kratery i wydmy.

Zainteresowani dokładniejszym poznawaniem powierzchni Księżyca mogą znaleźć wiele interaktywnych map i atlasów, na przykład *Full Moon Atlas* (<http://www.lunarpublic.com/atlas/index.shtml>). Dla zaawansowanych obserwatorów nieba udostępniono nie tylko mapki, ale i atlasy, na przykład *Mag7 Star Atlas* (http://www.cloudynights.com/item.php?item_id=1052), nie wspominając o ogólnodostępnych, profesjonalnych narzędziach, z których korzystają zawodowi astronomowie (np. baza danych Simbad – simbad.u-strasbg.fr/simbad/), gdzie bez trudu można znaleźć wszelkie informacje o interesującym nas obiekcie.

8.8.3 Obserwacje teleskopami internetowymi

Wielką atrakcją współczesnych technologii komputerowych jest możliwość ich wykorzystania do bezpośrednich obserwacji nieba i rejestrowania jego obrazów w postaci cyfrowej, a następnie ich dalsza obróbka lub analiza. Dostępność tego typu narzędzi jest różna, zależna od ich możliwości. Jak na razie otwartym dla wszystkich użytkowników teleskopem jest Mikroobserwatorium NASA (patrz niżej), w uzyskaniu dostępu do pozostałych może pomóc polski koordynator projektu EU-HOU prof. dr hab. Lech Mankiewicz z Centrum Fizyki Teoretycznej PAN w Warszawie (adres e-mail: lech@cft.edu.pl).

Jednym z najprostszych narzędzi jest Interaktywny Teleskop Internetowy Mikroobserwatorium, <http://mo-www.cfa.harvard.edu/OWN/index.html>. To niewielka sieć 14-centymetrowych automatycznie sterowanych teleskopów, będących własnością Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics (USA), które na życzenie wykonują zdjęcia cyfrowe o rozmiarach 500 na 650 pikseli. Każdy może złożyć zamówienie na zdjęcie wybranego obiektu i w ciągu 48 godzin powinien otrzymać na adres e-mailowy informację o wykonanej obserwacji wraz z linkiem do ściągnięcia pliku (należy to zrobić w ciągu tygodnia – po tym czasie archiwalne obserwacje są usuwane). Nie należy zrażać się angielskojęzyczną witryną (są też polskie instrukcje na polskiej stronie projektu EU-HOU: www.pl.euhou.net), obsługa jest naprawdę prosta, niemal intuicyjna. Po kliknięciu przycisku Control Telescope trafiamy na stronę *Select your target*, czyli ‘Wybierz swój cel’. Wybierać można co prawda z zaproponowanej z góry listy obiektów, ale na szczęście jest ona dosyć obszerna. Odnajdziemy tam obiekty Układu Słonecznego, gwiazdy i mgławice oraz galaktyki. Po dokonaniu wyboru już tylko kilka kroków (oddzielonych kliknięciami przycisku Continue) dzieli nas od uzyskania własnych obrazów nieba! W pierwszym dowiadujemy się więcej

o samych obiektach. W drugim sami ustalamy czas ekspozycji. Tak naprawdę jest to tylko interaktywna zabawa, gdyż po wybraniu niewłaściwego czasu otrzymujemy komunikat, że zdjęcie będzie niedoświetlone lub prześwietlone. Jeśli zrobimy to poprawnie i potwierdzimy swój wybór, zostaniemy poproszeni o podanie krótkiej informacji o sobie: ile mamy lat (wskazujemy przedział) i skąd jesteśmy (do wyboru stan USA lub spoza USA), oraz o podanie adresu e-mailowego, na który zostanie wysłana informacja o wykonaniu zdjęcia. Po potwierdzeniu poprawności danych pozostaje już tylko czekać. I rzeczywiście, wszystko działa! Co prawda nie zawsze otrzymamy piękne i udane zdjęcie, gdyż Mikroobserwatorium fotografuje niebo w nocy przez cały czas, niezależnie od pogody. Zdarza się więc, że obserwacje należy powtórzyć. Ale to tylko dodaje zabawie atrakcji.

Dużym zainteresowaniem polskich uczniów i nauczycieli cieszą się udostępniane w ramach projektu EU-HOU sterowane przez internet teleskopy optyczne. Najwięcej emocji wzbudza możliwość korzystania z potężnych 2-metrowych teleskopów Las Cumbres Observatory Global Telescope (LCOGT) na Hawajach i w Australii (www.faulkes-telescope.com). To dzięki staraniom prof. Lecha Mankiewicza, dyrektora Centrum Fizyki Teoretycznej PAN w Warszawie i polskiego koordynatora projektu EU-HOU, Jana Pomiernego z portalu Astronomia.pl oraz uprzejmości British Council uczniowie początkowo pięciu (ZST Grudziądz, MOA Niepołomice, I LO Olsztyn, V LO Toruń, ZSO nr 7 Szczecin), a obecnie jedenastu szkół (j.w. oraz XXVII LO im. Czackiego Warszawa, V LO Kraków, Publiczne Salezjańskie LO Kraków, Zespół Gimnazjów nr 3 w Dzierżoniowie, Zespół Szkół w Bełżycach, Planetarium w Łodzi, Olsztyńskie Planetarium i Obserwatorium Astronomiczne) w Polsce jako pierwsi w Europie mogą od września 2005 roku używać tych niezwykłych urządzeń. Miałem szczęście znaleźć się wraz z młodzieżą V LO w Toruniu w gronie użytkowników teleskopu Faulkesa (taką nazwę nosi na cześć fundatora) od samego początku. Ponieważ obserwacje odbywają się w półgodzinnych sesjach, otrzymaliśmy do dyspozycji pięć takich sesji na okres kilku miesięcy. Ogromny teleskop (największy na świecie, z którego mogą korzystać nie tylko zawodowi astronomowie) jest idealnym narzędziem do odkrywania i obserwacji tak zwanego głębokiego kosmosu – świata gromad gwiazd, mgławic i galaktyk. Dzięki temu tego typu obiekty mogły być obserwowane przez uczniów polskich szkół, a brytyjska ekipa teleskopu od początku podkreślała znakomitą jakość tych zdjęć, wynikającą ze starannego i doskonałego przygotowania.

Bardzo szybko pojawił się też pomysł śledzenia gwiazd supernowych. Pierwsze zdjęcia wykonaliśmy w Toruniu na początku listopada 2005 roku (była to odkryta kilka dni wcześniej SN 2005ip), zachęcaliśmy też do współpracy pozostałe polskie szkoły. Już po kilku tygodniach widać było pierwsze efekty (zdjęcie poniżej).

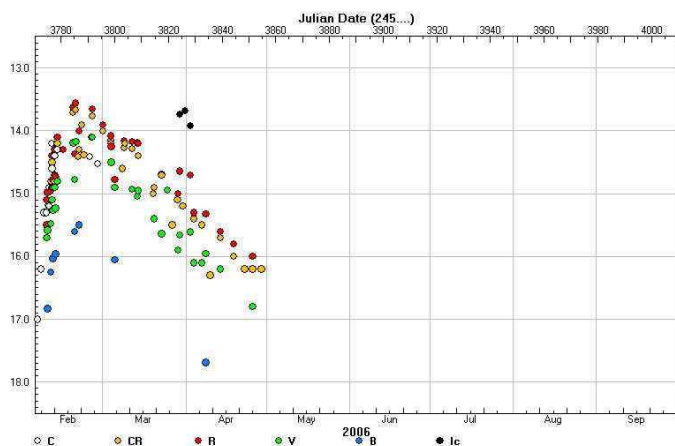


Zdjęcie galaktyki NGC 3938 z wciąż jeszcze widoczną (ponad 8 mies. po wybuchu) supernową 2005ay. Zdjęcie wykonano w V LO w Toruniu 1 grudnia 2005 roku.

Przekonaliśmy się, że wyposażony w kamerę CCD z zestawem barwnych filtrów 2-metrowy teleskop przy mniej więcej 60-sekundowej ekspozycji pozwala na sięgnięcie do około 20.

wielkości gwiazdowej, co pozwala śledzić zmiany blasku supernowych przez wiele miesięcy od chwili wybuchu. Spośród około 500 szkół – użytkowników teleskopu – byliśmy na tym polu pionierami, co wzbudziło wielkie uznanie naukowego dyrektora projektu dra Paula Roche'a z Cardiff University. Inne polskie szkoły miały też okazję pochwalić się swoimi osiągnięciami (były to m.in. projekty dotyczące klasyfikacji galaktyk Hubble'a i badania przestrzennej rozciągłości galaktyk) podczas sesji podsumowującej pierwsze miesiące obecności programu w Polsce, która została zorganizowana przez British Council w Warszawie 1 lutego 2006 roku. Sesję tę zaszczyliła swą obecnością księżniczka Anna oraz ówczesny minister edukacji i nauki, a później minister nauki i szkolnictwa wyższego prof. Michał Seweryński. Dostojni goście byli pod wrażeniem doskonałej jakości pracy polskich uczniów w projekcie oraz ich biegłej znajomości języka angielskiego.

Kilka dni po spotkaniu w Warszawie została odkryta supernowa 2006X w jasnej galaktyce spiralnej M100. Była to okazja to zachęcenia brytyjskich uczestników projektu do obserwacji za pomocą teleskopu Faulkesa i samodzielnej analizy tego obiektu. Opracowany przez astronomów w ramach EU-HOU program SalsaJ do analizy obrazów astronomicznych (do pobrania na stronie www.pl.euhou.net) umożliwia między innymi wykonanie w szybki i prosty sposób pomiarów fotometrycznych. Dzięki temu już po kilku tygodniach uzyskano piękną krzywą blasku supernowej, zaobserwowanej jeszcze przed maksimum jasności.



Pomiary jasności supernowej 2006X z galaktyki M100 w okresie luty – kwiecień 2006 roku na podstawie zdjęć wykonanych teleskopem Faulkesa.

Wyrazem uznania dla osiągniętych przez polskie szkoły rezultatów było dołączenie kolejnych użytkowników teleskopów.

Efekty użytkowania teleskopu Faulkesa są już widoczne w środowisku miłośników astronomii w Polsce. Korzystali z niego uczniowie przygotowujący referaty na Ogólnopolskie Młodzieżowe Seminarium Astronomiczne, przy czym trzeba podkreślić, że swe sukcesy zawdzięczają nie samej dostępności narzędzi oferowanych przez program EU-HOU, ale własnej pracy i pasji odkrywania Wszechświata, którą dzięki nim mogą łatwiej realizować.

8.8.4 Programy do eksperymentów i ćwiczeń (symulatory, eksploratoria)

Polecane źródła internetowe:

- Eksploratorium – www.exploratorium.edu
- Interaktywne symulacje – phet.colorado.edu
- Open Source Physics – www.opensourcephysics.org

- EU-HOU Polska – www.pl.euhou.net
- Contemporary Laboratory Experiences in Astronomy (CLEA) – www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/CLEAhome.html

W ostatnich latach również w Polsce pojawiają się interaktywne centra nauki, na przykład warszawskie Centrum Nauki Kopernik. Pierwsze takie miejsce zorganizowano w 1969 roku w San Francisco. Warto zajrzeć na stronę internetową tej placówki (www.exploratorium.edu), by zapoznać się z nią i ewentualnie wykorzystać przygotowane tam internetowe narzędzia. Oprócz poznawania tajemnic rozgwieżdżonego nieba (Planetarium) możemy się zapoznać z prostym pomysłem wykorzystania przyklejonych do globusa spinaczy jako ilustracji zmiany długości cienia rzucanego przez przedmioty na przestrzeni roku w różnych szerokościach geograficznych (*Seasons and Shadows*) oraz konstruowania modelu wyjaśniającego pory roku (*Modeling the Seasons*). Ciekawym pomysłem jest też przeliczenie swojej wagi oraz wieku mierzonego na Ziemi z odpowiednimi wartościami na innych planetach (*Your Weight... i Your Age on Other Worlds*). Przy okazji przypominamy sobie (w wyjaśnieniach) prawo powszechnego ciążenia oraz prawa Keplera. W linkach szczególnie warto zwrócić uwagę i skorzystać z tematu *Build a Solar System* – jest to interaktywne i bardzo proste w obsłudze narzędzie, dzięki któremu podając przykładowe rozmiary Słońca, uzyskujemy w przyjętej skali natychmiastowe przeliczenie rozmiarów wszystkich planet i ich odległości od centralnej gwiazdy. Jest to samo w sobie niezwykle ciekawe i kształcące, poza tym doskonale się przydaje do zbudowania prawdziwego modelu naszego Układu Słonecznego (lub jego wybranych elementów) w szkolnej pracowni, na korytarzu, boisku albo w terenie. Przy okazji (pod tabelką z planetami) mamy jeszcze możliwość porównania rozmiarów Słońca z innymi gwiazdami oraz odległościami do nich i do centrum naszej Galaktyki.

Niezwykle przydatną witryną pomocną w ilustrowaniu i poznawaniu wielu zjawisk i procesów przyrodniczych jest strona interaktywnych symulacji Uniwersytetu Kolorado w Boulder, <http://phet.colorado.edu>. Jej główna witryna nie jest wprawdzie dostępna w polskiej wersji językowej, ale już większość symulacji jest przetłumaczona na język polski. Wystarczy tylko nacisnąć przycisk Play with sims, abyśmy się przekonali, jak bogata i różnorodna jest oferta – możemy się przenieść na stronę prezentującą ostatnio dodane symulacje, po lewej stronie u góry znajdziemy odnośniki do poszczególnych dziedzin przyrody (fizyka, biologia, chemia, geografia, matematyka), możemy też wybierać według interesującego nas przedziału wiekowego odbiorców. Po kliknięciu na wybrany temat (lub jego ikonkę) uzyskamy listę dostępnych wersji językowych, możemy (teraz albo wcześniej) uruchomić aplet (wymagane jest zainstalowanie w komputerze pakietu Java) albo zapisać go na dysku. Czeką nas znakomita zabawa, nie mówiąc już o pożytku płynącym z samodzielnego sterowania doświadczeniami i możliwości natychmiastowego analizowania skutków wprowadzanych zmian.

Podobny charakter, wymagający jednak nieco więcej szperania (proszę zajrzeć pod zakładkę Browse materials!), mają programy przygotowane w ramach projektu *Open Source Physics*, <http://www.opensourcephysics.org/>. Z dziedziny astronomii można tam znaleźć między innymi:

- doskonałe ilustracje historycznych modeli Układu Słonecznego (geocentrycznego i heliocentrycznego);
- ilustrowany przykład, jak obserwacje faz planety Wenus przez Galileusza wykluczyły model Ptolemeusza;
- przeanalizować warunki powstawania zaćmień;
- analiza systemów podwójnych gwiazd oraz systemów gwiazda – planeta, czyli jak współcześnie odkrywamy obecność planet w odległych układach.

Nieco większego wysiłku, ale też proporcjonalnie większych spodziewanych efektów wymaga wykorzystanie ćwiczeń bazujących na oryginalnym materiale obserwacyjnym bądź

prosty symulacjach obserwacji. W pierwszym przypadku zachęcamy do zapoznania się z ofertą projektu EU-HOU Polska (www.pl.euhou.net). W kontekście omawianych tu zagadnień najłatwiej będzie użyć przycisku Ćwiczenia po lewej stronie, by przejść na stronę z proponowanymi tematami zagadnień, na przykład: Planeta Ziemia, Nasz System Słoneczny, Droga Mleczna, Lokalna grupa galaktyk i Wszechświat. Ćwiczenia są zainspirowane badaniami naukowymi, zostały przygotowane przez naukowców i przystosowane oraz przetestowane przez nauczycieli z krajów partnerskich. Celem tych ćwiczeń nie jest przekazywanie obszernej wiedzy z astronomii, ale raczej zmobilizowanie uczniów do odkrywania, czym jest praca naukowa, oraz tego, jak przyjmować i interpretować dane z fizyki i matematyki. W każdym temacie znajduje się kilka lub kilkanaście ćwiczeń (większość nich ma instrukcje w języku polskim; również są do pobrania jako plik pdf) oraz materiał źródłowy – na ogół zestaw zdjęć wykonanych w jednym z obserwatoriów. Do ich opracowania wykorzystywany jest zwykle program SalsaJ (również do pobrania ze strony EU-HOU – Oprogramowanie): wieloplatformowe i wielojęzyczne narzędzie do obróbki i analizy obrazów w szkole. Wymieńmy kilka zagadnień typowych dla współczesnej astrofizyki, które dzięki projektowi EU-HOU stają się zrozumiałe dla każdego, niejednokrotnie zadziwiająco proste:

- Jak latem nad jeziorem zmierzyć promień Ziemi?
- Odkryj księżyc Jowisza!
- Czarna dziura w centrum Drogi Mlecznej
- Jak zmierzyć Wszechświat: odległości do cefeid
- Skąd wiemy, że Wszechświat się rozszerza?
- Na tropie pozasłonecznych planet

Zachęcamy do zapoznania się z tymi i innymi propozycjami, to rzeczywiście doskonała wprawka do dalszych samodzielnych badań i studiów dla ciekawych świata (i Wszechświata). Kilka dodatkowych ćwiczeń opartych na rzeczywistych danych astronomicznych, pozwalających zapoznać się z metodami pracy współczesnych astronomów, można znaleźć na stronach Serwisu Edukacyjnego Orion <http://www.pta.edu.pl/orion/astroex/exercises.html>. Są to tłumaczenia materiałów przygotowanych przez Europejskie Obserwatorium Południowe (ESO), dotyczących obserwacji wykonanych przy użyciu największych teleskopów, również Teleskopu Kosmicznego Hubble’a.

Nie sposób nie wspomnieć o projekcie *Contemporary Laboratory Experiences in Astronomy* (CLEA), rozwijanym od wielu lat przez Gettysburg College w USA (<http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/CLEAhome.html>). Ma na celu prezentację nowoczesnych technik astronomicznych (obserwacji cyfrowych) oraz ich wykorzystanie do wzbogacania naszej wiedzy o różnych obiektach. Każde ćwiczenie to odrębny program komputerowy, działający w środowisku Windows, wyposażony w czytelne i wyczerpujące instrukcje obsługi dla administratora i użytkownika. Większość zadań przebiega w dwóch etapach – gromadzenia danych obserwacyjnych (symulacja obsługi teleskopu optycznego lub radioteleskopu, działających w różnych warunkach atmosferycznych) oraz ich opracowania pod kątem interesującego nas rezultatu. Przekrój tematyki, a przez to poziom złożoności zadań bywa tu bardzo obszerny i z pewnością każdy znajdzie inspirujące go zagadnienia. Podajmy kilka przykładów:

- Radarowe pomiary okresu rotacji Merkurego
- Księżyc Jowisza a prędkość światła
- Diagramy H-R dla gromad gwiazd
- Radiowe obserwacje pulsarów
- Wielkoskalowa struktura Wszechświata

Warto podkreślić, że każde ćwiczenie przynosi proste, ale konkretne wyniki. Mamy okazję porównać uzyskany rezultat z danymi literaturowymi i przedyskutować możliwe źródła

niepewności pomiarów. Przy okazji poznajemy metodykę i metodologię szerokiej gamy badań astronomicznych.

8.8.5 Projekty edukacyjne

Polecane strony internetowe:

- Galaktyczne Zoo – www.galaxyzoo.org/?lang=pl
- Cosmology@home – www.cosmologyathome.org
- Einstein@home – www.einsteinathome.org
- SETI@home – setiathome.berkeley.edu
- PlanetQuest – planetquest.jpl.nasa.gov

Projekty internetowe najogólniej można podzielić na polegające na uczestnictwie czynnym lub biernym.

Uczestnictwo czynne jest oparte na wspólnej pracy i polega na dostarczaniu, porządkowaniu, klasyfikacji lub wyszukiwaniu określonych informacji. Do tego rodzaju projektów można zaliczyć między innymi:

- Wikipedię – encyklopedię tworzoną siłami wolontariuszy;
- DMOZ – Open Directory Project – katalog stron www;
- Galaktyczne Zoo – projekt astronomiczny, w którym uczestnicy klasyfikują i porównują galaktyki na podstawie zdjęć wykonanych automatycznie 2,5-metrowym teleskopem Sloan Digital Sky Survey (w najnowszej edycji również Kosmicznym Teleskopem Hubble’a). W projekcie wzięło już udział ponad 250 tysięcy osób, z tego z Polski przeszło 10 tysięcy! I tu możemy się pochwalić polską wersją językową <http://www.galaxyzoo.org/?lang=pl>. Powstała ogromna baza danych, a odkryciami użytkowników zajęły się teleskopy na Ziemi i w kosmosie. Możemy się dowiedzieć zaskakujących rzeczy o naturze galaktyk. Na przykład, dawniej astronomowie zakładali, że galaktyki wyglądające na czerwone to najprawdopodobniej galaktyki eliptyczne. Dzięki pomocy użytkowników Galaktyczne Zoo okazało się, że mniej więcej 1/3 czerwonych galaktyk to galaktyki spiralne! Okazało się również, że więcej niż sądzono jest niebieskich galaktyk eliptycznych, obejmujących także małe, lecz istotny odsetek galaktyk formujących znaczącą liczbę nowych gwiazd – czasami aż 50-krotnie przewyższającą liczbę gwiazd w naszej Galaktyce.

Uczestnictwo bierne polega na bezpłatnym udostępnianiu mocy obliczeniowej swojego komputera przyłączonego do internetu. Zwykle projekt taki polega na wykorzystywaniu mocy obliczeniowej komputerów w celu wykonania na nich żmudnych i czasochłonnych obliczeń niezbędnych do rozwiązania danego problemu. Tę grupę projektów obejmuje wspólne hasło BOINC (od: *Berkeley Open Infrastructure for Network Computing*, tj. Otwarta Infrastruktura Przetwarzania Rozproszonego Uniwersytetu Berkeley; patrz np. <http://www.boincatpoland.org/wiki/BOINC>). Na liście odnajdziemy ponad 100 różnych projektów, w tym kilka z dziedziny astronomii (np. *Cosmology@home*, *Einstein@home*, *SETI@home*, *PlanetQuest*).

- *Cosmology@home* – projekt powstał na Uniwersytecie Illinois, może się przyczynić do lepszego rozumienia natury Wszechświata. Jego celem jest poszukiwanie modelu, który najlepiej opisywałby Wszechświat, oraz znalezienie grupy modeli zgodnych z dostępnymi danymi astronomicznymi i fizyką cząstek elementarnych. Użytkownicy obliczą przewidywania milionów teoretycznych modeli opisanych przez różne kombinacje parametrów. Wyniki obliczeń zostaną porównane ze wszystkimi dostępnymi danymi. Ponadto, projekt może ułatwić zaplanowanie przyszłych obserwacji i eksperymentów oraz analizę wynikających z nich danych (np. z satelity Planck).

- *Einstein@home*. Zgodnie z teorią wysuniętą przez Alberta Einsteina zmiany w polu grawitacyjnym powodują zmiany w zakrzywieniu czasoprzestrzeni. Najprościej można wykryć to zjawisko, mierząc w sposób ciągły odległość między dwoma punktami. Fale grawitacyjne, przechodząc w pobliżu, powodują niewielkie zmiany tej odległości. W tym celu pod Hanowerem w Niemczech zbudowano laboratorium GEO 600, a w stanach Luizjana i Waszyngton w USA – laboratoria LIGO. Do mierzenia odległości wykorzystuje się w nich po dwa bardzo długie, prostopadłe tory laserowe (600 m w GEO 600 i ok. 4 km w LIGO). Dzięki tak znacznej długości możliwe jest mierzenie zmian odległości rzędu jednej milionowej średnicy atomu wodoru. Projekt Einstein@home ma na celu badanie danych pochodzących ze wszystkich trzech laboratoriów w celu wykrywania fal grawitacyjnych wytwarzanych przez szybko obracające się gwiazdy neutronowe, czyli pulsary.
- *SETI@home* – projekt zrzesza internautów w celu znalezienia obcych cywilizacji. Zadaniem uczestników projektu jest przetwarzanie danych otrzymanych z radioteleskopów rozsianych po całym świecie w nadziei znalezienia w „kosmicznym szumie radiowym” uporządkowanych sygnałów, które mogłyby być nośnikami informacji przesyłanej przez pozaziemskie cywilizacje. Obecnie projekt SETI – choć wciąż nie może się poszczycić jakimikolwiek realnymi osiągnięciami – zrzesza ponad 2 miliony wolontariuszy i jest największym tego rodzaju projektem.
- *PlanetQuest* – projekt ma na celu poszukiwanie planet pozasłonecznych na podstawie obserwacji z obserwatoriów optycznych. Nie jest możliwe zaobserwowanie tych planet bezpośrednio. Poszukiwanie ma się opierać na próbach wykrycia cienia rzucanego przez planetę przechodzącą przez tarczę swojej gwiazdy, a dokładniej – charakterystycznego „mrugania” gwiazdy, wywołanego tranzytami obiegającej ją planety. W obecnej fazie projekt działa na podstawie danych misji Kepler i zasługuje na nieco bliższe omówienie.

Teleskop Kosmiczny Kepler to umieszczony na orbicie w 2009 roku instrument o średnicy zwierciadła 95 cm, którego głównym celem jest określenie częstotliwości występowania układów planetarnych w kosmosie i różnorodności ich struktur.

Przenosząc się na stronę internetową misji <http://www.kepler.arc.nasa.gov/>, wkraczamy na pierwszą linię frontu badań astronomicznych. Niezwykle przyjazny dla użytkownika interfejs zachęca do samodzielnego penetrowania poszczególnych tematów, na przykład: Znaczące odkrycia, Jak Kepler znajduje planety?, Misja, Nauka, Edukacja. W tym ostatnim dziale znajdziemy wiele pomysłów i inspiracji do pracy z uczniami – naprawdę warto przyjrzeć się dokładnie tej ofercie (polecamy projekt *Planethunters*, www.planethunters.org).

Warto omówić też inną pożyteczną i niezwykle kształcącą zabawę, dostępną w dziale Multimedia – *Interactives: Kepler Exoplanet Transit Hunt*. To tylko symulacja, ale niezwykle sugestywna i doskonale pod względem edukacyjnym podzielona na kolejne kroki procedury postępowania. Poniżej zamieszczamy instrukcję krok po kroku; jest dość długa, ale – jako że symulację obsługujemy w języku angielskim – chcielibyśmy uczynić ją prostą i zrozumiałą dla każdego. Może to być zarys konspektu lekcji astro-fizyki w liceum: Wyznaczanie odległości „odkrytej” planety od jej macierzystego słońca – symulacja na podstawie wyników teleskopu kosmicznego Kepler.

Po kliknięciu otworzy się okno z tekstem powitalnym i zaproszeniem do przeciągnięcia myszką pola widzenia „teleskopu” na mrugającą gwiazdkę. W powiększeniu wyjaśnia się idea tranzytu i stosowanej metody poszukiwań. Po kliknięciu Next ujrzymy fragment nieba usiany gwiazdami, przy czym niektóre z nich w charakterystyczny sposób „mrugają” – są zresztą zaznaczone kółeczkiem z dodatkową informacją o typie widmowym (nasze Słońce ma

typ G2, gorętsze od niego są typy A i F, chłodniejsze – K i M). Możemy wybrać dowolną gwiazdę – po kliknięciu otworzy się ekran z informacjami o niej, a konkretnie tabelka z zestawieniem typów widmowych oraz odpowiadających im mas, promieni i temperatur powierzchni (wszystkie gwiazdy należą do ciągu głównego, stąd to jednoznaczne przyporządkowanie). Wybrany obiekt wyróżniono kolorami i teraz należy przeciągnąć stosowne dane liczbowe do notatnika w dolnej części (gdzie te same kolorowe oznaczenia ułatwiają procedurę i uniemożliwiają pomyłkę). Po kliknięciu Next czas przygotować się na obserwację. Naszym zadaniem będzie rejestrowanie „mrugnięć” gwiazdy zielonym przyciskiem Record blink, po uruchomieniu symulacji przyciskiem Start. Oczywiście będziemy reagować z pewnym opóźnieniem, ale nie to w całej procedurze jest istotne. Po zarejestrowaniu kilku „mrugnięć” (na wyrysowywanej krzywej jasności, biegnącej prawie poziomo, pojawiają się pionowe kreseczki) naszym zadaniem jest określenie okresu pojawiania się owych „mrugnięć” i ich głębokości (jest ona ustalona automatycznie, zgodnie z rzeczywistymi obserwacjami – my tylko odczytujemy wartość jako procent spadku jasności). Żeby było łatwiej, obie osie (poziomą czasu i pionową jasności) możemy myszką dosunąć w odpowiednie miejsce przy krzywej blasku. Odczytane wartości zapisujemy w notatniku na dole (okres w ramce niebieskiej, spadek jasności – w żółtej) i klikamy Next. Teraz powinniśmy wyznaczyć odległości „odkrytej” planety od jej macierzystego słońca. Raz jeszcze wpisujemy wartość okresu do niebieskiej ramki. Jeśli wiedzeni niecierpliwością naciśniemy Calculate, program zachęci nas do chwili zastanowienia, przeczytania uwag (to w gruncie rzeczy przypomnienie III prawa Keplera i zasad posługiwania się nim) i wykonania przeliczenia (Convert) dni na części roku, tak aby uzyskać wynik w jednostkach astronomicznych (j.a.). Tym razem – jeśli nie zapomnimy podać masy naszej gwiazdy – otrzymujemy niezwykle cenną wskazówkę, jak w stosunku do naszej Ziemi w Układzie Słonecznym (bo to przecież 1 j.a., czyli 1 AU) jest położona orbita planety. Z reguły otrzymujemy ułamek j.a. (jest to częściowo efekt selekcji, wynikający z krótkiego czasu stosowania metod odkrywania planet, ale też olbrzymie zaskoczenie, że w systemach pozasłonecznych planety mogą krążyć wokół swej macierzystej gwiazdy po orbitach znacznie ciaśniejszych niż na przykład Merkury wokół Słońca) i przepisujemy tę wartość do notatnika. Po kliknięciu Next uzyskamy odpowiedź na bardzo ważne pytanie: Czy na odkrytej przez nas planecie panują warunki umożliwiające powstanie życia (takiego, jakie znamy), tj. czy może na niej występować woda w stanie ciekłym? Podstawowym tego warunkiem (koniecznym, choć niewystarczającym) jest znalezienie planety w tak zwanej ekosferze, czyli stosownej odległości od jej macierzystego słońca. Na ilustracji ten zakres możliwych odległości jest zaznaczony niebieskim pasem. Musimy jeszcze tylko się upewnić, czy rysunek dotyczy właściwej gwiazdy (na początku pojawiają się dane dla Słońca, ale wystarczy kliknąć na obraz gwiazdy lub zmienić wartości temperatury). Naszym zadaniem jest teraz przesunięcie planety na właściwą, wyznaczoną wcześniej odległość (można przesuwać albo samą planetę, albo suwakiem wybrać wartość liczbową). Po udanym ustawieniu gwiazdy i przesunięciu otrzymamy komunikat You got it! i zostaniemy poproszeni o wpisanie odpowiedzi na powyższe pytanie, przez wpisanie odpowiednio literki Y/N (tak/nie) oraz kliknięcie Next. Następnie obliczamy charakterystyczną temperaturę planety, zależną przede wszystkim od temperatury i rozmiarów jej słońca oraz jego odległości. Przenosimy stosowne dane, wciskamy Calculate i przepisujemy wynik do notatnika. Po kolejnym Next obliczymy już (na podstawie rozmiarów gwiazdy i amplitudy spadku jasności) promień planety w promieniach Ziemi. Pozostałe plansze to już prawdziwa uczta. Na pierwszej otrzymujemy graficzne porównanie „odkrytej” planety z Ziemią. Na kolejnej – artystyczną wizję jej powierzchni (i co nawet ważniejsze – nazwę rzeczywistego obiektu, którego odkrycie posłużyło do stworzenia tego bardzo ciekawego przykładu). Możemy teraz wybrać inną gwiazdę i bawić się, i uczyć raz jeszcze...

8.9. Zakończenie

Przedstawiona w niniejszym rozdziale propozycja omówienia zagadnień dydaktyki astronomii opracowana została na podstawie wieloletnich doświadczeń autora, wyniesionych zarówno z praktyki nauczania *Fizyki i astronomii* w szkole ponadgimnazjalnej, jak i licznych doświadczeń dydaktycznych zdobytych w ramach pracy w Zakładzie Dydaktyki Fizyki UMK. Na doświadczenie to złożyły się prowadzone dla studentów WFAiS UMK zajęcia związane z przygotowaniem do nauczania fizyki i astronomii, liczne wykłady z pokazami i prezentacje w czasie festiwalu nauki i sztuki, nocy naukowców, pokazów przygotowywanych przez ZDF UMK. Naturalnie ten zestaw zagadnień nie wyczerpuje tematu, stanowi jedynie próbę zarysowania współczesnego stanowiska odnośnie zagadnień dydaktyki i metodyki przedmiotu.

Literatura

- [1] Rocard M. *et al.*: Science Education NOW: A renewed pedagogy for the future of Europe, KE, 2007 - http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf
- [2] Klus-Stańska D., Kruk J., Tworzenie warunków dla rozwojowej zmiany poznawczej i konstruowania wiedzy przez dziecko, [w:] *Pedagogika wczesnoszkolna-dyskursy, problemy, rozwiązania*. Red. D. Klus-Stańska, M. Szczepska-Pustkowska, Wydawnictwa Akademickie i Profesjonalne, Warszawa 2009.
- [3] Karwasz G.: „Między neo-realizmem a typer-konstrukttywizmem – strategie dydaktyczne dla XXI wieku”, *Problemy Wczesnej Edukacji* 2011, nr 3 (15), str. 8.
- [4] Dylak S., wg H. Kwiatkowska, T. Lewowicki, S. Dylak (red.): *Współczesność a kształcenie nauczycieli*, WSP ZNP, Warszawa 2000.
- [5] Karwasz G.: „Hyper-konstrukttywizm jako odpowiedź na hyper-inflację informacji”, XI Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Edukacja medialna w świecie ponowoczesnym”, Toruń, 10.05.2012.
- [6] Rochowicz K., Karwasz G.: „Cyberprzestrzeń: powrót z kosmosu na Ziemię – przykład astronomii i fizyki”, *Kognitywistyka i media w edukacji* 2/2011, str. 75.
- [7] Metodologia fizyki, *Wprowadzenie do kursów fizyki*, Salejda W. (2010), materiały Politechniki Wrocławskiej, www.if.pwr.wroc.pl/dokumenty/jkf/metodologia_fizyki.pdf
- [8] Wróblewski A.K.: *Historia Fizyki*. Warszawa: PWN, 2007, s. 28-33.
- [9] Zupko, J. A., ed.& tr. (1989) 'John Buridan's Philosophy of Mind: An Edition and Translation of Book III of His 'Questions on Aristotle's *De Anima* (Third Redaction), with Commentary and Critical and Interpretative Essays.' Doctoral dissertation, Cornell University.
- [10] U. Le Verrier (1859), "Lettre de M. Le Verrier à M. Faye sur la théorie de Mercure et sur le mouvement du périhélie de cette planète", *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences* (Paris), vol. 49 (1859), 379–383.
- [11] Demiański M., *Astrofizyka relatywistyczna*, Biblioteka Fizyki, Państwowe Wydawnictwo Naukowe Warszawa 1978.
- [12] Bond I.A. et al.: OGLE 2003-BLG-235/MOA 2003-BLG-53: A Planetary Microlensing Event. 2004, *ApJ* 606, L 155.
- [13] Kozielecki J. (1987), *Edukacja poza nudą i lękiem*, [w:] *Odra* nr 10, str. 7 -12.
- [14] Siemieniecki B. (2011), *Możliwości i zagrożenia cyberprzestrzeni - uwagi wstępne*, referat wygłoszony podczas X Międzynarodowej Konferencji Naukowej: *Możliwości i zagrożenia Cyberprzestrzeni*
- [15] Rochowicz K., Służewski K., Karwasz G.: *Kopernik w krótkiej koszulce, czyli jak zakręcić Ziemią?*, Łódzka Konferencja Problemy Dydaktyki Fizyki 2011 – działalność pozalekcyjna, str. 49.

IX. Pracownia Metodyki Eksperymentu Fizycznego⁹¹

9.1. Wstęp

Podczas zajęć laboratoryjnych w Pracowni Metodyki Eksperymentu Fizycznego studenci wykonują doświadczenia wspomagane komputerowo z fizyki w sposób innowacyjny i efektywny. Na każdych zajęciach wykonują jedno ćwiczenie z zestawem pomiarowym Pasco, Logit lub Coachlab, a po jego zakończeniu piszą raport, w którym znajdują się tabele, wykresy, obliczenia, pytania problemowe oraz treści uwzględniające kompetencje społeczne. Dużą uwagę zwraca się przy tym, aby studenci rozumieli rolę eksperymentu fizycznego w metodologii badań naukowych i mieli świadomość ograniczeń technologicznych, aparaturowych i metodologicznych we współczesnych badaniach. Bardzo ważna jest również znajomość podstawowych praw fizyki klasycznej i kwantowej oraz posiadanie wiedzy o podstawowych składnikach materii i rodzajach podstawowych oddziaływań między nimi. W trakcie zajęć wykorzystywane są także metody obliczeniowe fizyki klasycznej i kwantowej. Studenci nabywają wiedzę o aktualnych kierunkach rozwoju dydaktyki fizyki oraz technologii informacyjnej i komunikacyjnej, w szczególności wykorzystywanej na lekcjach fizyki. Nabywają umiejętności wykonywania pomiarów podstawowych wielkości fizycznych z zakresu fizyki klasycznej, potrafią opracować i przedstawić wyniki prostych eksperymentów fizycznych w formie raportów i symulacji komputerowych. Zdobywają także umiejętności ilościowego szacowania wielkości mierzonych oraz mają świadomość przybliżeń w opisie rzeczywistości. Spośród kompetencji społecznych istotną rolę odgrywa świadomość i zrozumienie społecznych aspektów praktycznego stosowania zdobytej wiedzy i umiejętności oraz związanej z tym odpowiedzialności, szczególnie w procesie kształtowania młodzieży, zwłaszcza na lekcjach fizyki w szkole. Dzięki temu studenci rozumieją potrzebę popularyzacji wiedzy fizycznej oraz działań pozaszkolnych.

Komputerowo sterowane doświadczenia z fizyki mają cztery aspekty [1]:

1. komputerowy, który polega na wybraniu odpowiedniego standardu pomiarowego i oprogramowania do analizy i prezentacji danych pomiarowych,
2. fizyczny – podczas pomiarów stosuje się różnego rodzaju czujniki, np. położenia, który wykorzystuje określony proces fizyczny. W tym przypadku jest to rozchodzenie się fal ultradźwiękowych,
3. elektroniczny – sygnał z czujnika, np. napięcie z czujnika piezoelektrycznego, jest odpowiednio wzmacniany i zamieniany na sekwencję bitów przesyłanych do komputera,
4. dydaktyczny – czyli umiejętność wyboru takich eksperymentów, które z komputerem można wykonać szybciej i lepiej zaprezentować oraz przeanalizować wyniki, dzięki czemu możemy precyzyjniej i efektywniej przekazywać wiedzę z fizyki.

W celu zmierzenia wielkości nieelektrycznych trzeba stosować przetworniki, które przetworzą wielkość mierzoną na napięcie elektryczne [2]. W niektórych przypadkach jest to bardzo proste. Na przykład mikrofon przetwarza falę akustyczną na napięcie. Podobnie fotodioda lub fototranzystor pozwala przetworzyć światło na napięcie. Dysponując takimi przetwornikami wystarczy jedynie dokonać wzorcowania (kalibracji), to znaczy określić przelicznik, który pozwala obliczyć wartość liczbową mierzonej wielkości na podstawie wartości napięcia wskazanego przez zestaw komputerowy.

⁹¹ Autor: dr Andrzej Karbowski, współpraca mgr Krzysztof Służewski

Praca z nowoczesnym sprzętem pomiarowym powoduje wzrost efektywności nauczania oraz motywuje studentów i uczniów do samodzielnej, często badawczej pracy. Wzbogacenie zajęć laboratoryjnych lub lekcji w szkole o nowoczesne środki dydaktyczne przynosi wiele korzyści. Samodzielna lub grupowa analiza wyników pozwala na pobudzenie aktywności wśród studentów i uczniów do twórczego myślenia i poszukiwania własnych odpowiedzi, uczy współpracy, dyskusji oraz rozwija umiejętność argumentowania.

Poniżej przedstawiono kilka instrukcji do zajęć w Pracowni Metodyki Eksperymentu Fizycznego.

9.2. Komputerowe badanie ruchu jednostajnego

Kinematyka: zależność położenia od czasu, ruch prostoliniowy, rysowanie i analiza wykresów.

Cel ogólny:

Poznanie zasady pomiaru położenia poruszającego się ciała za pomocą zestawu pomiarowego Coach i komputera.

Cele operacyjne:

- Nabycie umiejętności stosowania konsoli pomiarowej Coachlab II i ultradźwiękowego czujnika położenia do badania ruchu.
- Nabycie umiejętności planowania eksperymentu prezentującego dowolny ruch i ruch jednostajny.
- Poznanie sposobów prawidłowej analizy danych doświadczalnych oraz interpretacji fizycznej otrzymanych wyników.

Stosowane przyrządy:

- interfejs pomiarowy Coachlab II lub Coachlab II+,
- program Coach 5,
- ultradźwiękowy czujnik położenia,
- komputer,
- samochód z silnikiem elektrycznym,
- stolik.

Wprowadzenie

Badając ruch prostoliniowy przyjmujemy taki układ odniesienia, który umożliwi najprostszemu opisowi ruchu, np. oś x obieramy na prostej, wzdłuż której ciało się porusza. Położenie ciała, czyli współrzędną punktu, w jakim się ono znajduje, wyznaczamy względem pewnego punktu odniesienia, najczęściej początku osi x (punkt zerowy osi). Równanie ruchu jednostajnego prostoliniowego jest następujące:

$$x(t) = x_0 + vt \quad .$$

Wykresem zależności $x(t)$ jest linia prosta, czyli położenie x jest wprost proporcjonalne do czasu t . W ruchu jednostajnym wartość prędkości ciała jest stała. Położenie ciała w danym przedziale czasu może być zaznaczane na wykresie. Wykres jest matematycznym obrazem ruchu ciała. Dlatego też ważne jest zrozumienie, jak interpretować wykres zależności położenia od czasu.

Pytania wstępne

Czy łatwo można uzyskać ruch jednostajny? Czy osoba poruszająca się w sali może poruszać się ruchem jednostajnym? Czy samochód zabawka z silnikiem elektrycznym może poruszać się ruchem jednostajnym prostoliniowym na stole? Jak będzie zmieniał się wykres zależności położenia od czasu, jeśli będziesz oddalał się od czujnika położenia, a jak, gdy będziesz się do niego zbliżał?

Bezpieczeństwo

Postępuj zgodnie z instrukcjami dołączonymi do sprzętu i zasadami BHP.

Pomiary

Do wejścia Sonic konsoli pomiarowej Coachlab II podłącz ultradźwiękowy czujnik położenia (wejście znajduje się z tyłu konsoli, rys. 1). Czujnik położenia CMA (Centre for Microcomputer Applications), podobnie jak nietoperz, wysyła krótkie impulsy ultradźwiękowe i rejestruje te, które zostały odbite od przeszkody (np. samochodu). Dzięki obliczeniu przez program Coach 5 czasu, który upływa od momentu wysłania impulsu ultradźwiękowego do momentu zarejestrowania jego powrotu, możliwe jest określenie odległości od przeszkody, czyli określenie położenia mierzonego obiektu. Wartości położenia w określonych chwilach służą do obliczenia prędkości lub przyspieszenia poruszającego się obiektu przez program Coach 5.

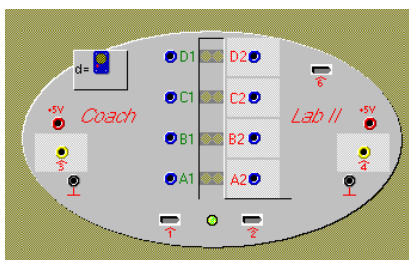


Rys. 1. Sposób podłączenia ultradźwiękowego czujnika położenia do konsoli pomiarowej Coachlab II (foto A. Karbowski).

W programie Coach 5 wybierz projekt *Pomiary w fizyce*, a następnie wczytaj projekt pt. *Pomiar położenia i prędkości*. Klikając prawym klawiszem myszki na ikonie czujnika ruchu




wybierz opcję *Prezentuj wykres*, która pozwoli wyświetlić okno wykresu w programie Coach 5.

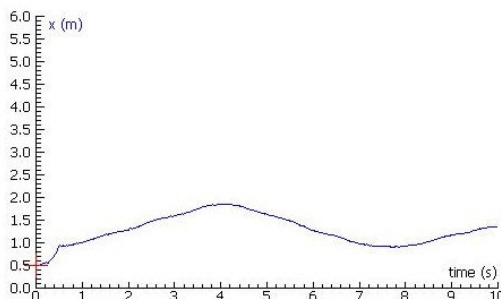


Rys. 2. Widok konsoli pomiarowej Coachlab II z ikoną czujnika ruchu w programie Coach 5.

1. Badanie dowolnego ruchu

Naciśnij zielony przycisk  *Start* na ekranie i rozpocznij pomiar położenia w funkcji czasu. Oddalaj się od czujnika położenia, zatrzymaj się na chwilę i zacznij zbliżać się do czujnika położenia. Równocześnie obserwuj wykres położenia w funkcji czasu $x(t)$ rysowany na ekranie komputera w czasie rzeczywistym. Zwróć uwagę, że program Coach 5 rysuje kilkadziesiąt punktów pomiarowych w ciągu 1 sekundy.

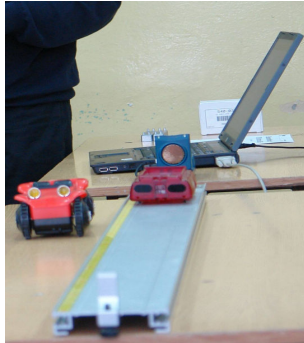
Przykładowy wykres położenia od czasu dla powyższego przypadku został przedstawiony poniżej:



Rys. 3. Wykres położenia ciała w funkcji czasu dla dowolnego ruchu.

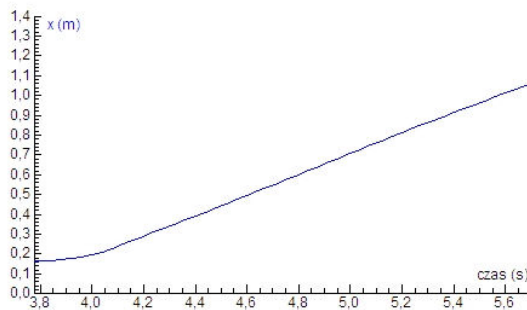
2. Badanie ruchu jednostajnego

Sprawdź czy samochód na baterie porusza się po stole ruchem jednostajnym prostoliniowym. Wykonaj odpowiednie pomiary i przeprowadź analizę tego ruchu. Podobny pomiar przeprowadź dla wózka poruszającego się na poziomej szynie aluminiowej. Ultradźwiękowy czujnik ruchu umieść na początku szyny.



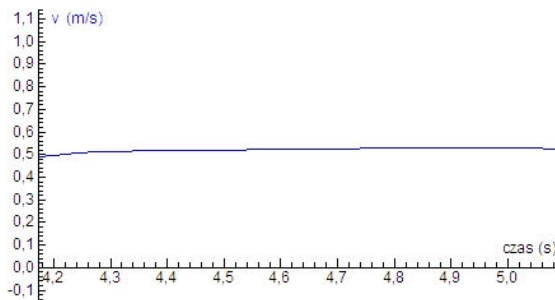
Rys. 4. Samochód na baterie (po lewej stronie) porusza się na poziomym stoliku, a wózek na poziomej szynie aluminiowej (foto A. Karbowski).

Przykładowe wyniki dla tego doświadczenia przedstawione są poniżej:



Rys. 4. Wykres położenia wózka w funkcji czasu dla badanego ruchu.

Wartości położenia wózka rosną proporcjonalnie w czasie i układają się na linii prostej nachylonej pod pewnym kątem do poziomu. Na tej podstawie możemy sformułować wniosek, że wózek poruszał się ruchem jednostajnym. Aby upewnić się o tym jeszcze lepiej, uzyskaj wykres prędkości w funkcji czasu dla omawianego ruchu korzystając z opcji (po wciśnięciu prawego klawisza myszki) *Process* i *Derivative*.



Wykres prędkości wózka w funkcji czasu, który poruszał się na poziomej szynie.

Lepsze wygładzenie wykresów można uzyskać stosując opcję *Filter Graph* dostępną po wciśnięciu prawego klawisza myszki i wybraniu pozycji *Process*.

Analiza wyników i obliczenia

1. Odczytaj z uzyskanego wykresu, dla dowolnego ruchu (zadanie 1), z jaką największą prędkością chwilową oddalałeś się od czujnika położenia, a z jaką zbliżałeś się do niego.
2. Oblicz prędkość średnią podczas oddalania się i prędkość średnią podczas zbliżania się do czujnika ruchu. Odpowiedz na pytanie, czy łatwo możemy uzyskać ruch jednostajny, gdy chodzimy po klasie?
3. Oblicz z jaką prędkością poruszał się samochód w zadaniu 2. Czy był to ruch jednostajny przostoliniowy?
4. Odczytaj z wykresu ile czasu trwał badany ruch samochodu oraz jakie było położenie początkowe i końcowe samochodu?
5. Oblicz prędkość średnią samochodu na całej trasie.
6. Podobną analizę wyników przeprowadź dla wózka poruszającego się po poziomej szynie.

Dyskusja wyników i wnioski

1. W przypadku dowolnego ruchu możemy wyznaczyć prędkość chwilową, z którą poruszamy się w sali oraz możemy stwierdzić jaki rodzaj ruchu obserwujemy w danym przedziale czasu.
2. Badając ruch jednostajny możemy określić z jaką prędkością porusza się ciało oraz stwierdzić, czy jest to rzeczywiście taki rodzaj ruchu.
3. Gdy chodzimy w sali uzyskanie ruchu jednostajnego przez dłuższy czas jest bardzo trudne.
4. Znajdź w literaturze przykłady wykorzystania pomiarów parametrów ruchu w nauce i technice.

Literatura:

- [1] Karwasz G., Komputer w szkolnym laboratorium fizycznym, Postępy Fizyki, tom 60, zeszyt 6, 2009.
- [2] Szydłowski H., Pomiary wspomagane komputerowo, Postępy Fizyki, tom 60, zeszyt 6, 2009.
- [3] Szydłowski H., Pomiary fizyczne za pomocą komputera, Wyd. UAM, Poznań 1999.
- [4] Karwasz G, Więcek M, Fizyka współczesna. Toruński poręcznik do fizyki, Materiały dydaktyczne Zakładu Dydaktyki Fizyki UMK, Toruń, 2011
- [5] Karwasz G, Sadowska M, Rochowicz K, Toruński poręcznik do fizyki. Mechanika. Gimnazjum I klasa, Wyd. Naukowe UMK, Toruń, 2010
- [6] T. Dryński, Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, PWN, 1980.
- [7] H. Szydłowski, Pracownia fizyczna, PWN, Warszawa, 1989.

9.3. Komputerowe badanie ruchu jednostajnie przyspieszonego

Cel ogólny:

Poznanie zasad rejestracji i analizy parametrów ruchu za pomocą komputerowego zestawu pomiarowego Coach.

Cele operacyjne:

- Nabycie umiejętności stosowania konsoli pomiarowej Coachlab II i ultradźwiękowego czujnika położenia do badania ruchu.
- Nabycie umiejętności planowania eksperymentu prezentującego ruch jednostajnie przyspieszony.
- Poznanie sposobów prawidłowej analizy danych doświadczalnych oraz interpretacji fizycznej otrzymanych wyników.

Stosowane przyrządy:

- komputer,
- interfejs pomiarowy Coachlab II lub Coachlab II+,
- program Coach 5,
- ultradźwiękowy miernik położenia,
- wózek,
- stolik,
- aluminiowa szyna.

Wprowadzenie

Badając ruch prostoliniowy przyjmujemy taki układ odniesienia, który umożliwi najprostszy opis ruchu, np. oś OX obieramy na prostej, wzdłuż której ciało się porusza. Równanie ruchu dla ruchu prostoliniowego jednostajnie przyspieszonego jest następujące:

$$x(t) = x_0 + v_{0x}t + \frac{1}{2}at^2 .$$

Wykresem zależności $x(t)$ jest parabola, czyli położenie x jest wprost proporcjonalne do kwadratu czasu t . W ruchu jednostajnie przyspieszonym przyspieszenie a jest stałe. Równanie opisujące prędkość ciała jest następujące:

$$v(t) = v_{0x} + at ,$$

natomiast równanie opisujące położenie ciała w funkcji czasu, gdy $x_0 = 0$ m i $v_0 = 0$ m/s przyjmuje następującą postać:

$$x(t) = \frac{1}{2}at^2 .$$

Galileusz badając ruch metalowych kul na równi pochyłej odkrył, że odcinki drogi pokonywane w kolejnych równych odstępach czasu mają się do siebie jak kolejne liczby nieparzyste, czyli 1, 3, 5, 7, 9 itd. Jest to matematyczna konsekwencja powyższego wzoru, o ile kolejne odcinki czasu ponumerujemy jako n i $n+1$: $(n+1)^2 - n^2 = (2n+1)$, czyli liczby nieparzyste.

Pytania wstępne

Czy zjeżdżający wózek na równi pochyłej porusza się ruchem jednostajnie przyspieszonym? Jeśli tak, to czy przyspieszenie wózka zależy od jego masy? Czy przyspieszenie wózka zależy od kąta nachylenia równi (aluminiowej szyny)? Czy spadający zeszyt porusza się ze stałym przyspieszeniem?

Bezpieczeństwo


Postępuj zgodnie z instrukcjami dołączonymi do sprzętu i zasadami BHP.

Pomiary

Do konsoli pomiarowej Coachlab II podłącz ultradźwiękowy czujnik położenia (wejście Sonic znajduje się z tyłu konsoli). W programie Coach 5 wybierz projekt *Pomiary fizyczne*, a następnie wczytaj projekt pt. *Pomiar położenia i prędkości*.



Rys. 1. Sposób podłączenia ultradźwiękowego czujnika położenia do konsoli pomiarowej Coachlab II (foto A. Karbowski).


Klikając prawym klawiszem myszki na ikonie czujnika ruchu  wybierz opcję *Prezentuj wykres* i wyświetl okno wykresu na ekranie komputera.

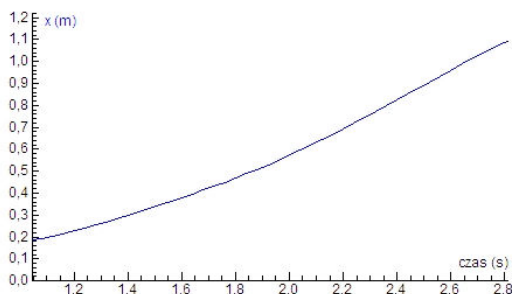
1. Badanie ruchu wózka na równi pochyłej

Na górze równi pochyłej (pochyły stół lub pochyła aluminiowa szyna) umieść czujnik położenia i w odległości kilku lub kilkunastu centymetrów od niego wózek. Na wózku umieść pudełko dobrze odbijające fale ultradźwiękowe.

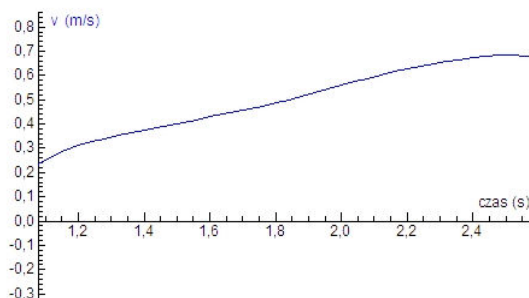


Rys. 2. Wózek z pudełkiem odbijającym fale ultradźwiękowe na równi pochyłej. Uczennica wykonuje doświadczenie podczas zajęć kółka fizycznego w Gimnazjum nr 1 w Chelmy, które przeprowadził autor (foto A. Karbowski).

Naciśnij zielony przycisk  *Start* i rozpocznij pomiar położenia w funkcji czasu. Równocześnie obserwuj wykres $x(t)$ rysowany na ekranie komputera w czasie rzeczywistym. Wykonaj kilka pomiarów dla przypadku, gdy wózek zjeżdża w dół równi. Uzyskaj wykres prędkości w funkcji czasu dla omawianego ruchu korzystając z opcji (po wciśnięciu prawego klawisza myszki) *Process* i *Derivative*. Lepsze wygładzenie wykresów można uzyskać stosując opcję *Filter Graph* dostępną po wciśnięciu prawego klawisza myszki i wybraniu pozycji *Process*.



Wykres położenia x w funkcji czasu dla wózka zjeżdżającego po równi pochyłej w dół.



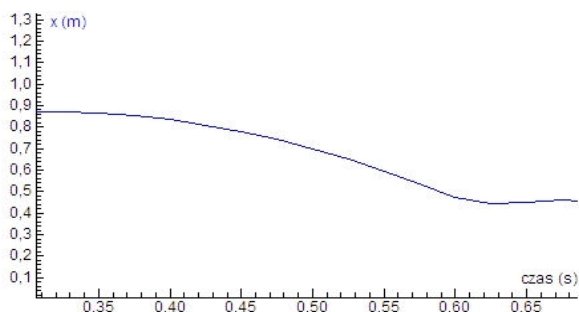
Wykres prędkości wózka w funkcji czasu dla zjeżdżającego wózka.

Analizując wykresy położenia, prędkości i przyspieszenia w funkcji czasu upewnij się, czy rzeczywiście jest to ruch jednostajnie przyspieszony.

2. Badanie ruchu spadającego ciała

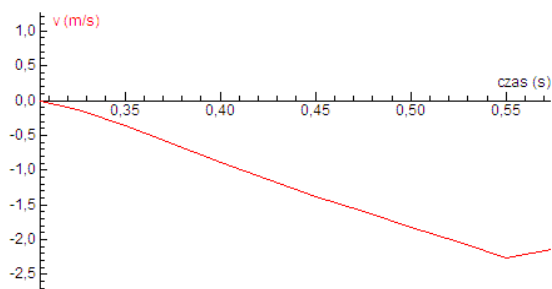
Umieść czujnik położenia na stole. Zbadaj rzut pionowy zeszytu lub notatnika formatu A4 spadającego z góry z wysokości ok. 1 m nad stołem. Ustaw czas pomiaru na 3 s, a częstotliwość pomiaru *Frequency* na 25 na sekundę.

Uzyskaj wykres prędkości w funkcji czasu dla omawianego ruchu korzystając z opcji (po wciśnięciu prawego klawisza myszki) *Process* i *Derivative*. Lepsze wygładzenie wykresów uzyskaj stosując opcję *Filter Graph* dostępną po wciśnięciu prawego klawisza myszki i wybraniu pozycji *Process*.



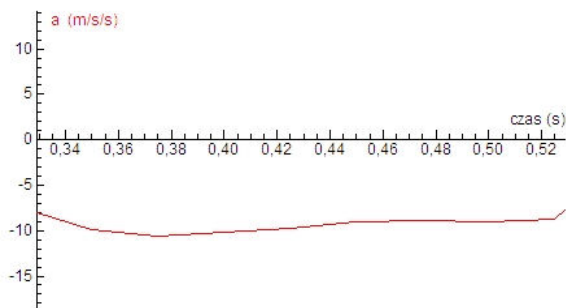
Wykres położenia w funkcji czasu dla spadającego zeszytu.

Zauważ, że czas spadania zeszytu jest bardzo krótki i wynosi tylko ok. 0,3 s. Zastanów się czy za pomocą ręcznego stopera mógłbyś dokładnie zmierzyć czas spadania zeszytu?



Na rysunku przedstawiono wykres prędkości w funkcji czasu dla spadającego zeszytu.

Maksymalna prędkość, którą uzyskał spadający zeszyt wynosiła 2,3 m/s. Czy na podstawie danych znajdujących się na powyższym wykresie można obliczyć przyspieszenie, z którym spadał zeszyt?



Wykres przyspieszenia w funkcji czasu dla spadającego zeszytu.

Obliczenia

1. W przypadku zadania 1 odczytaj z wykresów największą wartość prędkości chwilowej wózka, oblicz wartość średnią prędkości wózka. Z wykresu przyspieszenia w funkcji czasu odczytaj wartość przyspieszenia wózka oraz odpowiedz jakim rodzajem ruchu porusza się wózek na równi pochyłej. Czy przyspieszenie zjeżdżającego w dół wózka zależy od jego masy i kąta nachylenia równi? Wykonaj kilka doświadczeń i sprawdź to.
2. Badając ruch spadającego ciała w zadaniu 2 określ jak zmienia się prędkość ciała. Odczytaj maksymalną wartość prędkości ciała i oblicz prędkość średnią ciała. Na podstawie wykresu przyspieszenia w funkcji czasu sprawdź czy ciało rzeczywiście porusza się ruchem jednostajnie przyspieszonym. Odczytaj wartość przyspieszenia ciała. Odpowiedz na pytanie jakie siły działają na spadające ciało?
3. Oblicz z jakim przyspieszeniem zeszyt spadał pionowo w dół. Dlaczego jest ono inne niż przyspieszenie ziemskie?

Dyskusja wyników i wnioski

1. W przypadku zadania 1 odczytaj dane z wykresów i uzasadnij jakim rodzajem ruchu porusza się wózek na równi pochyłej. Jakie siły działają na wózek?
2. Badając ruch spadającego ciała w zadaniu 2 określ jak zmienia się prędkość ciała. Wykres prędkości w funkcji czasu jest linią prostą nachyloną pod pewnym kątem do osi czasu. Na podstawie wykresu przyspieszenia w funkcji czasu można odczytać z jakim przyspieszeniem spada ciało. Nie jest to wartość przyspieszenia ziemskiego g , ponieważ na ciało działa oprócz siły grawitacji siła oporu powietrza.
3. Znajdź w literaturze przykłady wykorzystania pomiarów parametrów ruchu w nauce i technice.

Literatura:

- [1] Karwasz G., Komputer w szkolnym laboratorium fizycznym, Postępy Fizyki, tom 60, zeszyt 6, 2009.
- [2] Szydłowski H., Pomiaru wspomagane komputerowo, Postępy Fizyki, tom 60, zeszyt 6, 2009.
- [3] Szydłowski H., Pomiaru fizyczne za pomocą komputera, Wyd. UAM, Poznań 1999.
- [4] Karwasz G, Sadowska M, Rochowicz K, Toruński poręcznik do fizyki. Mechanika. Gimnazjum I klasa, Wyd. Naukowe UMK, Toruń, 2010

9.4. Komputerowe badanie ruchu jednostajnie opóźnionego

Cel ogólny:

Poznanie zasad rejestracji i analizy parametrów ruchu za pomocą komputerowego zestawu pomiarowego firmy Pasco.

Cele operacyjne:

1. Nabycie umiejętności planowania i przeprowadzenia eksperymentu prezentującego ruch jednostajnie opóźniony.
2. Poznanie metod rejestracji ruchu jednostajnie opóźnionego w odpowiednim układzie odniesienia.
3. Poznanie sposobów prawidłowej analizy uzyskanych danych doświadczalnych i interpretacji fizycznej otrzymanych wyników.

Stosowane przyrządy:

- komputer,
- konsola pomiarowa ScienceWorkshop 750 firmy Pasco,
- program DataStudio,
- ultradźwiękowy miernik położenia,
- wózek,
- stół,
- aluminiowa szyna.

Wprowadzenie

Badając ruch prostoliniowy przyjmujemy taki układ odniesienia, który umożliwi najprostszy opis ruchu, np. oś OX obieramy na prostej, wzdłuż której ciało się porusza. Równanie ruchu dla ruchu prostoliniowego jednostajnie opóźnionego jest następujące:

$$x(t) = x_0 + v_{0x}t - \frac{1}{2}at^2 .$$

Wykresem zależności $x(t)$ jest parabola, czyli położenie x jest wprost proporcjonalne do kwadratu czasu t . W ruchu jednostajnie opóźnionym działa stała siła, która nadaje ciało stałe ujemne przyspieszenie a (opóźnienie). Równanie opisujące prędkość ciała jest następujące:

$$v(t) = v_{0x} - at ,$$

natomiast równanie opisujące położenie ciała w funkcji czasu, gdy $x_0 = 0$ i $v_0 = 0$ przyjmuje następującą postać:

$$x(t) = \frac{1}{2}at^2 .$$

Pytania wstępne

Czy wózek wjeżdżający na równi pochyłej z dołu do góry porusza się ruchem jednostajnie opóźnionym? Jeśli tak, to czy przyspieszenie wózka zależy od jego masy? Czy zeszyt poruszający się w powietrzu, z dołu do góry, porusza się ze stałym przyspieszeniem?

Bezpieczeństwo

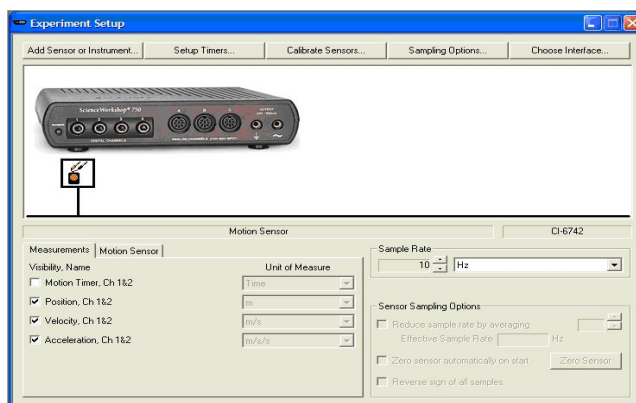
Postępuj zgodnie z instrukcjami dołączonymi do sprzętu i zasadami BHP.

Pomiary

Do wejścia cyfrowego nr 1 i 2 konsoli pomiarowej firmy Pasco np. ScienceWorkshop 750 podłącz ultradźwiękowy czujnik położenia. W programie DataStudio w oknie *Displays* kliknij na *Graph* i wybierz *Position*, *Velocity* i *Acceleration*. W ten sposób wyświetlone zostaną trzy okienka prezentujące wykresy $x(t)$, $v(t)$ i $a(t)$.



Rys. 1. Sposób podłączenia ultradźwiękowego czujnika położenia do konsoli pomiarowej ScienceWorkshop 750.

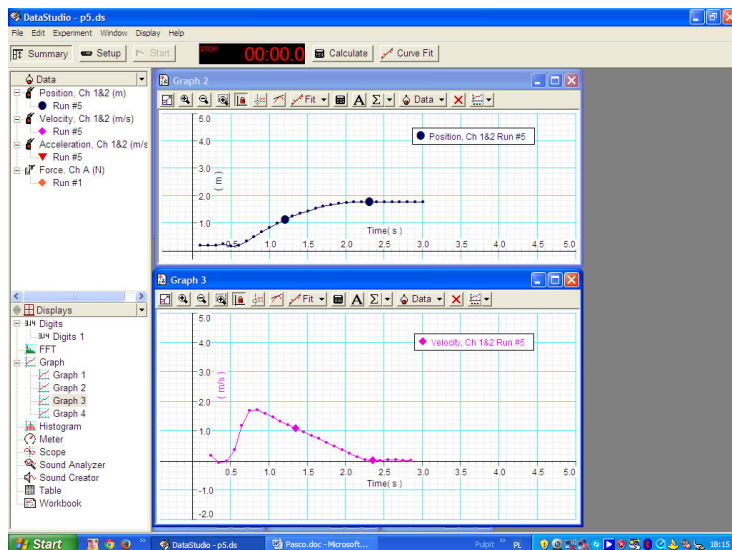


Rys. 2. Widok konsoli pomiarowej ScienceWorkShop 750 i podłączonego do niej ultradźwiękowego czujnika położenia w programie DataStudio.

1. Badanie ruchu wózka na równi pochyłej

Na dole równi pochyłej (pochyły stolik lub pochyła aluminiowa szyna) umieść czujnik położenia i w odległości kilku lub kilkunastu centymetrów od niego wózek. Naciśnij przycisk

Start w programie DataStudio. Następnie nadaj prędkość początkową wózkowi pchając go przez chwilę i puszczając ku górze równi. Przykładowe wyniki pomiarów zostały przedstawione na wykresie poniżej (rys. 2).



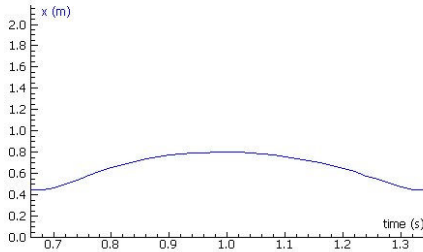
Rys. 3. Przykładowe wyniki pomiarów dla wózka wjeżdżającego ruchem jednostajnie opóźnionym w górę równi prezentowane w programie DataStudio.

Powyżej na rys. 3 przedstawiono wykres położenia w funkcji czasu. Wartości położenia tworzą krzywą na wykresie i rosną coraz wolniej w czasie. Na dolnym wykresie przedstawiono wykres prędkości w funkcji czasu. Wózek w chwili początkowej posiadał maksymalną prędkość początkową 1,8 m/s, a na górze równi prędkość wózka była równa 0 – wózek zatrzymał się.

2. Badania rzutu pionowego do góry

Zbadaj rzut pionowy zeszytu lub notatnika formatu A4 podrzucając go do góry nad miernikiem położenia. Ustaw czas pomiaru na 5 s, a częstotliwość pomiaru *Frequency* na 25 na sekundę.

Analizując wykresy prędkości i przyspieszenia sprawdź czy zeszyt porusza się ku górze ruchem jednostajnym opóźnionym, a spada ku dołowi ruchem jednostajnie przyspieszonym.



Rys. 4. Wykres położenia ciała w funkcji czasu dla rzutu pionowego zesztytu do góry.

Przykładowe wyniki dla omawianego doświadczenia przedstawiono powyżej.

Obliczenia

1. Oblicz z jakim opóźnieniem poruszał się wózek poruszając się ku górze równi. Skorzystaj z definicji przyspieszenia $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$. Odczytaj odpowiednie wartości z wykresu $v(t)$.
2. Zmieniając kąt nachylenia równi powtórz pomiary i zbadaj, w jaki sposób przyspieszenie wózka zależy od kąta nachylenia równi.
3. Dla rzutu pionowego do góry np. zesztytu uzyskano wykresy $x(t)$, $v(t)$ i $a(t)$, które nie są idealnie regularne. Ich nieregularność wynika z tego, że na ciało działa zmienna w czasie siła oporu powietrza oraz z występowania niepewności pomiarowych podczas pomiaru położenia ciała.

Dyskusja wyników i wnioski

1. W przypadku zadania 1 odczytaj dane z wykresów i uzasadnij jakim rodzajem ruchu poruszał się wózek na równi pochyłej, gdy wjeżdżał "pod górę". Jakie siły działały na wózek?
2. Badając ruch ciała poruszającego się do góry (zadanie 2) określ jak zmienia się prędkość ciała. Wykres prędkości w funkcji czasu jest linią prostą nachyloną pod pewnym kątem do osi czasu. Na podstawie wykresu przyspieszenia w funkcji czasu można odczytać z jakim przyspieszeniem ciało poruszało się. Nie jest to wartość przyspieszenia ziemskiego g , ponieważ na ciało działa, oprócz siły ciężkości, siła oporu powietrza.
3. Znajdź w literaturze przykłady wykorzystania pomiarów parametrów ruchu w nauce i technice.

Literatura:

- [1] Karwasz G., Komputer w szkolnym laboratorium fizycznym, Postępy Fizyki, tom 60, zeszyt 6, 2009.
- [2] Szydłowski H., Pomiary wspomagane komputerowo, Postępy Fizyki, tom 60, zeszyt 6, 2009.
- [3] Szydłowski H., Pomiary fizyczne za pomocą komputera, Wyd. UAM, Poznań 1999.
- [4] Karwasz G, Sadowska M, Rochowicz K, Toruński poręcznik do fizyki. Mechanika. Gimnazjum I klasa, Wyd. Naukowe UMK, Toruń, 2010
- [5] H. Szydłowski, Pracownia fizyczna, PWN, Warszawa, 1989.

9.5. Komputerowe badanie zjawiska dudnień

Cel ogólny:

Poznanie podstawowych zasad wytwarzania, rejestracji i analizy dźwięku za pomocą komputera i zestawu pomiarowego Coach.

Cele operacyjne:

1. Przypomnienie podstawowych wielkości opisujących fale dźwiękowe takich, jak: natężenie, wysokość i barwa dźwięku.
2. Poznanie fizycznych podstaw dotyczących zjawiska dudnień i ich opisu.
3. Nabycie umiejętności wykorzystania możliwości programu COACH 5 do badania zjawiska dudnień.

Stosowane przyrządy:

- komputer,
- interfejs pomiarowy Coachlab II lub Coachlab II+,
- program Coach 5,
- czujnik dźwięku,
- 2 kamertony,
- metalowy przedmiot obciążający widelki stroikowe,
- młoteczek.

Badane zjawisko

Dudnienia powstają wówczas, gdy nakładają się na siebie dwie fale o częstościach niewiele różniących się od siebie, przy czym efekt jest najwyraźniejszy, gdy ich moc jest w przybliżeniu równa. Aby wytworzyć takie dudnienia wykorzystujemy dwa kamertony, ustawione naprzeciwko siebie, z których jeden przestrajamy doczepiając dodatkową masę, po czym pobudzamy je do drgań. Wytworzona w ten sposób fala akustyczna, będąca złożeniem dwóch fal o różnych częstościach, ma charakter fali modulowanej (za dudnienia odpowiedzialna jest właśnie ta modulacja). Częstość nośną fali oraz częstość modulacji możemy powiązać z częstościami źródłowymi (tzn. z częstościami obu kamertonów) korzystając z odpowiednich wzorów trygonometrycznych. Dokonujemy zatem superpozycji (nałożenia) dwu fal o różnych lecz niewiele różniących się częstościach; fale te opisują funkcje ψ_1 i ψ_2 :

$$\begin{aligned}\psi_1 &= A \cos(\omega_1 t + \varphi_1) \\ \psi_2 &= A \cos(\omega_2 t + \varphi_2) \\ \omega_1 &\approx \omega_2 .\end{aligned}\tag{1}$$

Po złożeniu otrzymamy:

$$\psi = \psi_1 + \psi_2 = A [\cos(\omega_1 t + \varphi_1) + \cos(\omega_2 t + \varphi_2)] .\tag{2}$$

Po zastosowaniu wzoru na sumę *cosinusów* wzór (2) możemy zapisać następująco:

$$\psi = [2A \cos(\frac{\omega_1 t + \varphi_1 - \omega_2 t - \varphi_2}{2})] \cdot \cos(\frac{\omega_1 t + \varphi_1 + \omega_2 t + \varphi_2}{2})\tag{3}$$

lub

$$\psi = [2A \cos(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} \cdot t + \varphi')] \cdot \cos(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \cdot t + \varphi'') \quad (4)$$

Wzór (4) interpretujemy następująco: czynnik ujęty w nawias kwadratowy odpowiada za zmieniającą się amplitudę drgań, czyli modulację. Jest on wolnozmienny, ponieważ $(\omega_1 - \omega_2 \rightarrow 0)$. Drugi czynnik zaś odpowiedzialny jest za falę nośną. Powyższy wzór możemy zatem zapisać następująco:

$$\psi = [2A \cos(\omega_{\text{mod}} t + \varphi')] \cdot \cos(\omega_{\text{noś}} t + \varphi'') \quad (5)$$

gdzie:

$$\omega_{\text{mod}} = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} \quad \text{i} \quad \omega_{\text{noś}} = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \quad (6)$$

Dzieląc wzory (6) stronami przez 2π otrzymamy:

$$f_{\text{mod}} = \frac{f_1 - f_2}{2} \quad \text{i} \quad f_{\text{noś}} = \frac{f_1 + f_2}{2} \quad (7)$$

gdzie f oznacza częstotliwość.

Bezpieczeństwo

Postępuj zgodnie z instrukcjami dołączonymi do sprzętu i zasadami BHP.

Pomiary

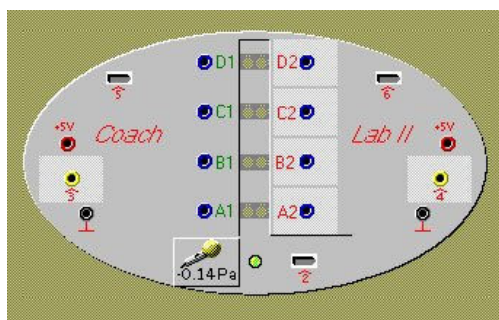
Wyznaczenie częstotliwości modulacji (f_{mod}) i częstotliwości fali nośnej ($f_{\text{noś}}$).

1. Do konsoli pomiarowej Coachlab II podłącz czujnik dźwięku np. do wejścia pomiarowego nr 1.



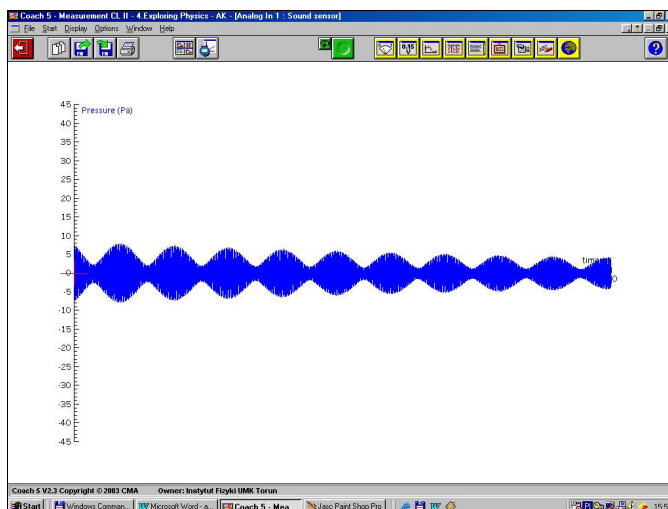
Rys.1. Sposób podłączenia czujnika dźwięku do konsoli pomiarowej Coachlab II.

2. W programie Coach 5 do wejścia pomiarowego nr 1 konsoli pomiarowej przesunąć i upuścić ikonę czujnika pomiarowego.



Rys.2. Widok konsoli pomiarowej w programie Coach 5.

3. W jednym z okien umieść wykres ciśnienia (od -45 Pa do 45 Pa) w funkcji czasu. Parametry pomiarowe dla czasu wybierz następująco: czas pomiaru – 5 s, ilość pomiarów w ciągu 1 sekundy – 1000.
4. Ustaw dwa kamertony otworami naprzeciwko siebie w odległości ok. 5 cm. Umieść dodatkowy metalowy element na widelkach jednego z kamertonów, aby częstotliwość wytwarzanej fali była nieco niższa od częstotliwości fali wytwarzanej przez drugi kamerton.
5. Uderz mocno młoteczkiem widelki obydwu kamertonów i przystaw mikrofon jak najbliżej ich otworów (między dwa kamertony). Zarejestruj wytworzoną falę akustyczną i przeanalizuj oscylogram w powiększeniu.



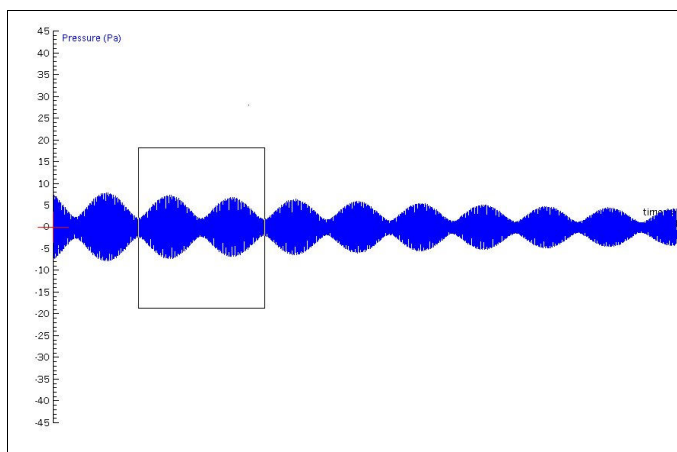
Rys. 3. Dudnienia zarejestrowane za pomocą zestawu pomiarowego i programu Coach 5.

Obliczenia

Na podstawie znajomości częstotliwości modulacji i częstotliwości fali nośnej oblicz częstotliwości fal współtworzących dudnienia f_1 i f_2 .

1. Wyznacz częstotliwość modulacji f_{mod}

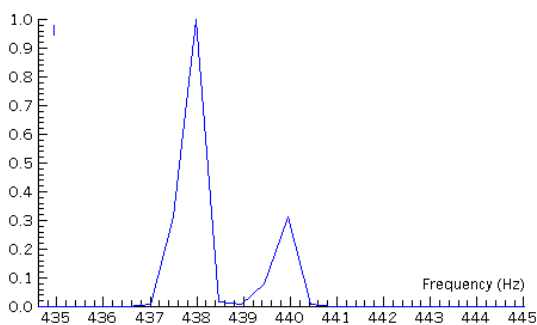
Posługując się programem Coach 5 odczytaj okres modulacji, korzystając ze wskazówki zawartej na poniższym rysunku. Odczytaj czas na osi poziomej w przedziale zaznaczonym przez ramkę.



Rys. 4. Okres modulacji zaznaczony za pomocą ramki.

2. Wyznacz częstotliwość fali nośnej $f_{\text{noś}}$

W tym celu użyj transformacji Fouriera korzystając z następujących opcji (po wciśnięciu prawego klawisza myszy): *Analyse, Signal analysis, Fourier transform*.



Rys. 5. Widmo częstotliwości badanej fali akustycznej.

8. Przekształć wzór (7) i oblicz częstotliwość f_1 i f_2 .

Dyskusja wyników i wnioski

1. Częstotliwość drgań widełek kamertonu z dodatkową masą zależy od miejsca jej przymocowania.
2. Im wyżej przymocowana jest dodatkowa masa do widełek kamertonu, tym niższa jest częstotliwość wytwarzanych drgań.
3. Częstotliwość modulacji i częstotliwość fali nośnej zależą od różnicy częstotliwości kamertonów, czyli od miejsca przyłączenia dodatkowej masy do jednych z widełek.
4. Częstotliwość drgań kamertonu zależy również od temperatury widełek.
5. Zastanów się, gdzie zjawisko dudnień występuje w twoim otoczeniu.
6. Znajdź w literaturze przykłady wykorzystania zjawiska dudnień w nauce i technice.

Literatura:

- [1] Karwasz G., Komputer w szkolnym laboratorium fizycznym, Postępy Fizyki, tom 60, zeszyt 6, 2009.
- [2] Szydłowski H., Pomiaru wspomaganie komputerowo, Postępy Fizyki, tom 60, zeszyt 6, 2009.
- [3] Szydłowski H., Pomiaru fizyczne za pomocą komputera, Wyd. UAM, Poznań 1999.
- [4] Karwasz G, Więcek M, Fizyka współczesna. Toruński poręcznik do fizyki, Materiały dydaktyczne Zakładu Dydaktyki Fizyki UMK, Toruń, 2011
- [5] Karwasz G, Sadowska M, Rochowicz K, Toruński poręcznik do fizyki. Mechanika. Gimnazjum I klasa, Wyd. Naukowe UMK, Toruń, 2010
- [6] H. Szydłowski, Pracownia fizyczna, PWN, Warszawa, 1989.

9.6. Badanie zjawisk cieplnych wspomaganie komputerowo

Cel ogólny:

Poznanie podstawowych zasad pomiaru temperatury za pomocą komputera i rejestratora danych LOGIT z czujnikami.

Cele operacyjne:

1. Przypomnienie podstawowych wielkości występujących w termodynamice takich, jak: temperatura, ciepło, ciepło właściwe.
2. Poznanie zjawisk cieplnych występujących podczas spoczynku i wykonywania ćwiczeń fizycznych.
3. Poznanie mechanizmu przekazywania ciepła poprzez promieniowanie.

Stosowane przyrządy:

- komputer,
- rejestrator danych LOGIT,
- program Insight,
- 2 czujniki temperatury,
- kubki.

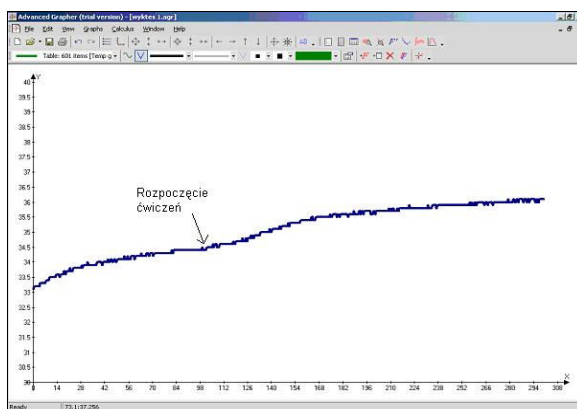
Bezpieczeństwo

Postępuj zgodnie z instrukcjami dołączonymi do sprzętu i zasadami BHP.

Pomiary

1. Sprawdzenie, czy jest różnica w temperaturze ludzkiego ciała w czasie spoczynku i podczas wykonywania ćwiczeń fizycznych.

Do pomiaru użyj rejestratora danych LOGIT z czujnikiem temperatury. Czujnik temperatury trzymaj w zaciśniętej dłoni i włącz pomiar temperatury naciskając przycisk *Start*. Poczekaj do momentu, kiedy temperatura przestanie rosnąć, następnie wykonaj np. 10 przysiadów. Porównaj otrzymane wyniki uzyskane podczas spoczynku i w czasie wykonywania ćwiczeń fizycznych (rys. 1).

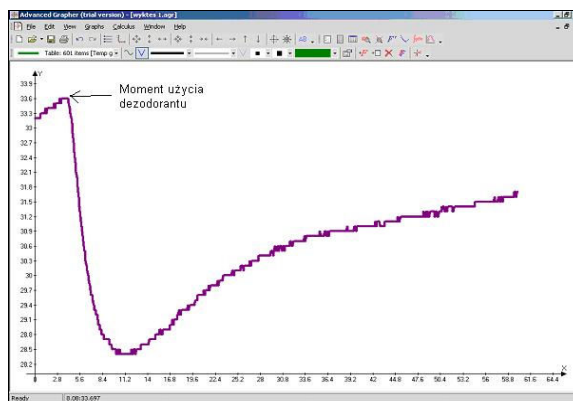


Rys. 1. Zmierzona temperatura ciała człowieka podczas spoczynku i wykonywania ćwiczeń fizycznych.

Na powyższym wykresie można zauważyć, że w czasie wykonywania ćwiczeń temperatura ciała człowieka wzrosła. Energia, jaką zużyły mięśnie zamieniła się na wykonaną pracę (ćwiczenia fizyczne) oraz wydzielila się w postaci ciepła i zaobserwowano wzrost temperatury ciała. Jednocześnie możemy zaobserwować zjawisko pocenia się, które ma za zadanie odprowadzić nadmiar ciepła z organizmu. Temperatura ciała obniża się na skutek parowania wody z powierzchni skóry. Cząsteczki wody, aby oderwać się od skóry i innych cząsteczek wody (przejść ze stanu ciekłego do stanu gazowego) muszą mieć pewną energię i po wyparowaniu obniżają średnią energię kinetyczną cząsteczek skóry i wody pozostałej na skórze. W ten sposób ciało człowieka ochładza się.

2. Jak zmienia się temperatura ciała, gdy powierzchnię skóry spryskamy dezodorantem?

Trzymaj w zaciśniętej dłoni czujnik temperatury, włącz pomiar naciskając przycisk *Start* i po ustaleniu się temperatury (trwa to ok. 20 s) popsikaj skórę dezodorantem.



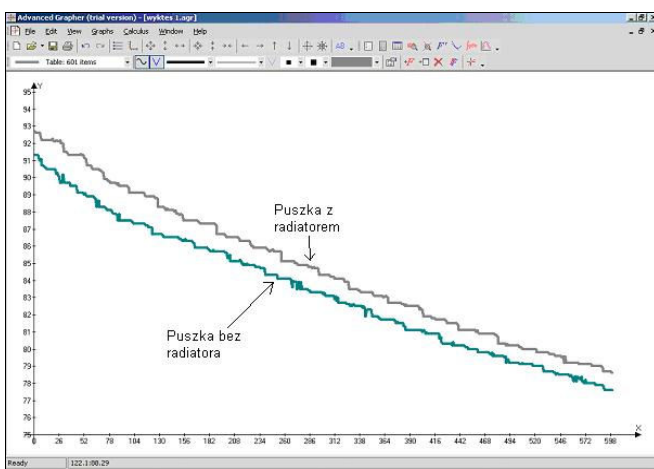
Rys. 2. Wykres zmian temperatury ciała w miejscu użycia dezodorantu.

W momencie użycia dezodorantu można zaobserwować nagły spadek temperatury skóry. W puszcze znajduje się ciecz wraz z gazem. Gaz opuszczając puszkę rozpręża się i jednocześnie znacznie obniża swoją temperaturę i drobnych kropeł cieczy. Chłodny dezodorant dociera na powierzchnię skóry chłodząc ją. Następnie dezodorant, zaczyna parować i obniża się średnia energia kinetyczna cząsteczek skóry, co obserwujemy na wykresie (rys. 2) jako obniżenie temperatury ciała i odczuwamy jako jego ochłodzenie.

3. Przekazywanie ciepła poprzez promieniowanie

Do pomiarów użyj rejestratora danych oraz dwóch takich samych czujników temperatury. Do jednej aluminiowej puszkę przymocuj za pomocą taśmy dwa radiatory w postaci pasków folii aluminiowej. Następnie do obu pojemników wlej gorącą wodę porcjami, tzn. trochę do jednej puszkę i trochę do drugiej na zmianę, i zanurz w każdej czujniki temperatury. Przykładowe wyniki pomiarów zostały przedstawione na poniższym wykresie.

Na początku różnica temperatur wody w puszkach jest podobna. Analizując dane na wykresie można odczytać, że po upływie ok. 20 minut puszkę z radiatorem będzie miała niższą temperaturę niż puszkę bez radiatora. Wniosek: im większa powierzchnia wymiany ciepła z otoczeniem (radiator), tym wymiana ciepła jest szybsza.



Rys. 3. Wykres zmian temperatury wody w puszcze z radiatorem i bez radiatora.

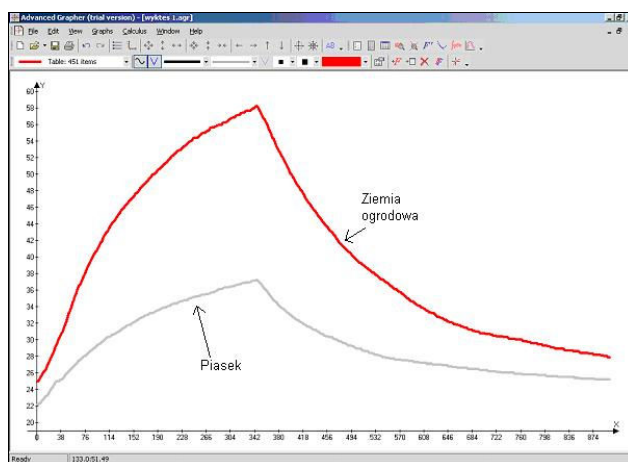
Dlatego w naszych domach stosujemy żebra w kaloryferze, a w samochodowych chłodnicach, czy domowych lodówkach wiele rurek, w których znajduje się płyn chłodzący. W przyrodzie można zaobserwować, że np. słoń ma duże uszy i dzięki nim oddaje nadmiar ciepła do otoczenia.

4. Jaki rodzaj gleby jest korzystniejszy dla wzrostu roślin?

Do przeprowadzenia doświadczenia użyj rejestratora danych LOGIT, dwóch takich samych czujników temperatury, dwóch znacznie różniących się od siebie rodzajów gleby (piasek i ziemia ogrodowa), oraz lampy o dużej mocy.

Piasek i ziemię wysypujemy do pojemnika tak, aby były umieszczone oddzielnie. Następnie tuż pod powierzchnią piasku i ziemi umieszczamy czujniki temperatury oraz zapalamy lampę i rozpoczynamy pomiar naciskając na przycisk *Start*. Przykładowe wyniki pomiarów zostały przedstawione na poniższym wykresie (rys. 4).

Analizując wyniki możemy zaobserwować szybki wzrost temperatury dla ziemi ogrodowej i znacznie wolniejszy dla piasku, jednocześnie po ok. 5 min i 40 s wyłączamy lampę i efekt się odwraca ziemia szybko oddaje ciepło do otoczenia, natomiast piasek znacznie wolniej. Gęstość piasku jest większa niż ziemi (zakładamy, że oba podłoża są suche lub zawierają nieznaczne ilości wody). Piasek ma znacznie większe ciepło właściwe niż ziemia, czyli aby wzrosła temperatura piasku o jeden kelwin, trzeba dostarczyć mu więcej energii niż w przypadku ziemi ogrodowej. Kolejnym czynnikiem wpływającym na prędkość powierzchniowego wzrostu temperatury podłoża jest przewodnictwo cieplne. Również w tym przypadku piasek ma znacznie większy współczynnik przewodnictwa cieplnego niż czarna ziemia ogrodowa. Najistotniejszym czynnikiem dla wyjaśnienia wyników uzyskanych podczas doświadczenia jest barwa substancji. Piasek jest jasny, a ziemia ogrodowa ciemna, wręcz czarna. Łatwo można zaobserwować, jaka jest różnica, jeśli w słoneczny dzień ubierzemy czarne spodnie i białą koszulę, a następnie usiądziemy na słońcu. Ciemny materiał absorbuje znacznie więcej promieniowania cieplnego niż jasny.



Rys. 4. Wykres zmian temperatury dla czarnej ziemi ogrodowej i piasku, które były ogrzewane za pomocą lampy o dużej mocy.

W drugiej części eksperymentu obserwujemy sytuację odwrotną. Ziemia szybko oddaje (wypromieniowuje) ciepło do otoczenia, a piasek znacznie wolniej. W tym przypadku znaczenie mają inne parametry obu podłoży. Ziemia jest porowata, przez co ma większą powierzchnię i jednocześnie jest bardziej przewiewna, a dodatkowo działając jako izolator nie magazynuje energii cieplnej w głębszych warstwach tylko w warstwie powierzchniowej. Piasek zachowuje się przeciwnie, jego powierzchnia jest dość gładka. W przypadku roślin ma to duże znaczenie, ponieważ dzięki temu czarna ziemia pozostaje na większych głębokościach dłużej wilgotna i nie wysycha tak szybko.

Literatura:

- [1] Karwasz G., Komputer w szkolnym laboratorium fizycznym, Postępy Fizyki, tom 60, zeszyt 6, 2009.
- [2] Szydłowski H., Pomiary wspomaganie komputerowo, Postępy Fizyki, tom 60, zeszyt 6, 2009.
- [3] Szydłowski H., Pomiary fizyczne za pomocą komputera, Wyd. UAM, Poznań 1999.
- [4] Karwasz G, Więcek M, Fizyka współczesna. Toruński poręcznik do fizyki, Materiały dydaktyczne Zakładu Dydaktyki Fizyki UMK, Toruń, 2011
- [5] Karwasz G, Sadowska M, Rochowicz K, Toruński poręcznik do fizyki. Mechanika. Gimnazjum I klasa, Wyd. Naukowe UMK, Toruń, 2010
- [6] Hewitt P G, Fizyka wokół nas, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2010
- [7] Resnick R., Halliday D., Fizyka dla studentów nauk przyrodniczych i technicznych, PWN, Warszawa, 1984
- [8] Rogers E. M., Fizyka dla dociekliwych, Cz. I-V, PWN, Warszawa, 1974
- [9] Fizyka doświadczalna, Sz. Szczeniowski, cz. I, PWN, Warszawa 1972.
- [10] T. Dryński, Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, PWN, 1980.
- [11] H. Szydłowski, Pracownia fizyczna, PWN, Warszawa, 1989.