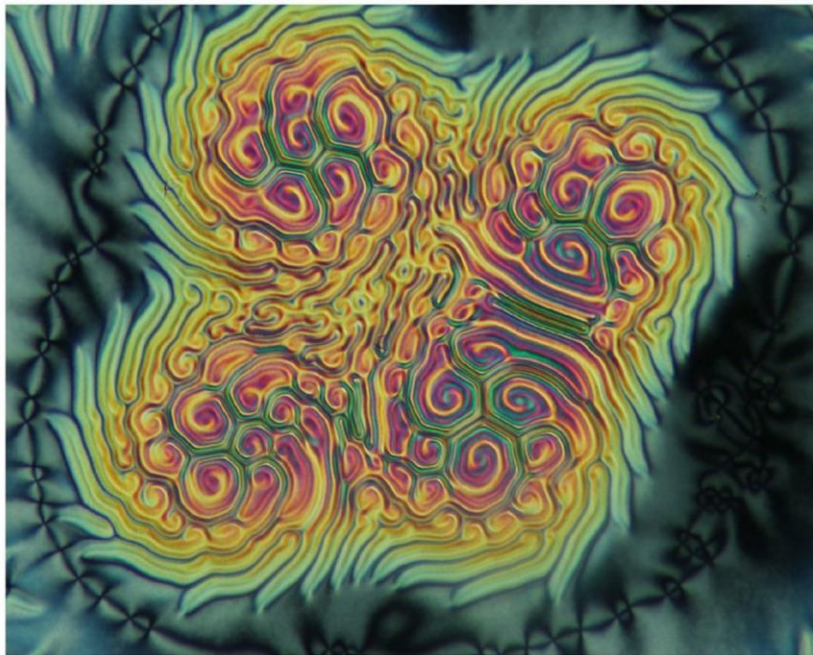


Foton

130
Jesień
2015

Pismo dla nauczycieli i studentów fizyki oraz uczniów

INSTYTUT FIZYKI  UNIWERSYTET JAGIELLOŃSKI
SEKCJA NAUCZYCIELSKA POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO



tumblr.com

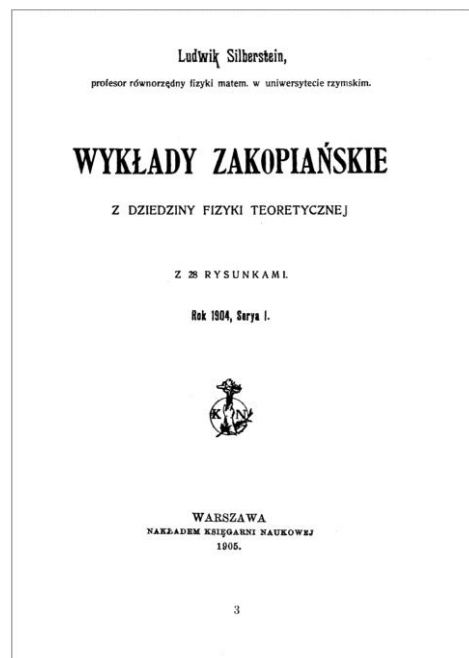
Emergentność
Komety - kosmiczne koty
O wchodzeniu pod górę
SCIENTIX

Ludwik Silberstein (1872–1948)
zapomniany wybitny polski astrofizyk

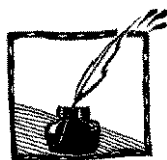


A. A. Michelson (w pierwszym rzędzie po lewej) i Ludwik Silberstein (obok) na zjeździe Amerykańskiego Towarzystwa Astronomicznego ok. roku 1925.

(źródło fot.: *Urania*, 3/2015)



Ludwik Silberstein był absolwentem gimnazjum św. Jacka w Krakowie i studentem Uniwersytetu Jagiellońskiego, był też organizatorem pierwszych zakopiańskich szkół fizyki teoretycznej (1904).



Siedmiolatki do szkoły – regres cywilizacyjny

Wrócił problem obowiązku szkolnego dla sześciolatek. Uważam za absolutny sukces to, że już sześciolatkom możemy zapewnić powszechny dostęp do nauki. Chodzi głównie o dzieci z takich środowisk, które nie zapewniają dostępu do edukacji, do kultury, do uprawiania zabaw ruchowych. Powrót do obowiązku szkolnego od siedmiu lat byłby regresem cywilizacyjnym. Dla nas, nauczycieli fizyki, szczególnie dotkliwym, gdyż dzieci utraciłyby szansę na rozpoczęcie nauki fizyki (przyrody) w wieku rozwojowej, naturalnej ciekawości świata, która jest tracona w późniejszym wieku. Siedmiolatki spotykają się z fizyką w gimnazjum rok później, gdy ta naturalna ciekawość przyrodnicza zaczyna słabnąć.

Zastanawiam się, czemu państwo Elbanowscy nie mobilizują rodziców, by domagali się od MEN dobrze zorganizowanych i wyposażonych świetlic, w których zajmowałiby się dziećmi fachowi i stale doksztalcani nauczyciele i opiekunowie. A przecież takie świetlice potrafią zorganizować niektóre szkoły, zwłaszcza prywatne.

Nieswojo się czuję na myśl, że rodzice mogliby też zaprotestować przeciwko stresowaniu uczniów rozwiązywaniem równań kwadratowych i używaniem siódmego przypadku. Oby MEN nie wyszedł na przeciw *vox populi* i nie dawał na maturze infantylnych zadań typu „nazwij prawo, które...”. Na razie, na szczęście, obserwujemy poprawę jakości maturalnych zadań z fizyki.

Jesteśmy dumni z osiągnięć naszych studentów na konkursach inżynierskich i międzynarodowych olimpiadach. Opóźnienie wieku nauczania fizyki najprawdopodobniej zamknie drogę do sukcesów wielu uczniom. To byłaby wielka strata.

W tym zeszycie prezentujemy Państwu artykuły na temat pojęcia *emergencji*, które obecnie „robi karierę” w fizyce. Polecamy artykuły o kometach, i o wchodzeniu pod górę.

Zachęcamy Państwa uczniów do udziału w konkursach rozwijających kreatywność – w „Lwiątku” i „Świetliku”, a starszych uczniów np. w Turnieju Młodych Fizyków. Można wybrać konkurs, który najlepiej odpowiada uczniom.

Z.G-M



Contents

Editorial. Late primary school starting age – less opportunities for future <i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	1
Emergence as a Fundamental Principle of Nature Description or Appearance of New Qualitative Features on Consecutive Stages of Complexity <i>Józef Spalek</i>	4
Comets – Space Cats, part I <i>Piotr Gronkowski, Marcin Wesolowski</i>	8
Walking uphill <i>Stanisław Kobus</i>	15
Evolution of school problems of physics throughout the 20 century <i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	26
Two balloons. The 5 th problem from IYPT 2015 <i>Krzysztof Zamarski</i>	41
Temperature of black ball located in a focal point and heated with the Sun rays – problem from XXIX Physics Olympiad 1979/1980 <i>Tadeusz Molenda</i>	46
SCIENTIX – The community for science education in Europe <i>Dobromiła Szczepaniak</i>	51
<i>Conceptual Physics</i> of Paul Hewitt <i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	54
What to read – <i>Introduction to condense matter physics</i> of Józef Spalek	56
– <i>Urania</i> about Ludwik Silberstein	57
– Brian Cox’s books	57
Awards of the Polish Physical Society 2015	58
Problems for the Tournament of Young Physicists 2016 <i>Dobromiła Szczepaniak</i>	60
Physics in poetry of Czesław Miłosz (Nobel Prize Winner in 1980) <i>Andrzej Zięba</i>	63



Spis treści

Siedmiolatki do szkoły – regres cywilizacyjny <i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	1
Emergentność jako fundamentalna cecha opisu Przyrody, czyli pojawienie się nowych cech jakościowych na następnych etapach złożoności <i>Józef Spalek</i>	4
Komety – kosmiczne koty, cz. I <i>Piotr Gronkowski, Marcin Wesółowski</i>	8
O wchodzeniu pod górę <i>Stanisław Kobus</i>	15
Szkolne zadania na przestrzeni ostatnich stu lat <i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	26
Zagadkowe baloniki <i>Krzysztof Zamarski</i>	41
Temperatura czarnej kulki umieszczonej w ognisku soczewki i ogrzanej promieniami słonecznymi – zadanie z XXIX Olimpiady fizycznej 1979/1980 <i>Tadeusz Molenda</i>	46
SCIENTIX – Społeczność na rzecz nauczania przedmiotów ścisłych w Europie <i>Dobromiła Szczepaniak</i>	51
<i>Fizyka wokół nas</i> Paula Hewitta <i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	54
Co czytać – <i>Wstęp do fizyki materii skondensowanej</i> Józefa Spalka	56
– O Ludwiku Silbersteinie (1872–1948)	57
– Książki Briana Coxa	57
Nagrody PTF 2015	58
Turniej Młodych Fizyków 2016 – Problemy <i>Dobromiła Szczepaniak</i>	60
Fizyka w poezji Czesława Miłosza <i>Andrzej Zięba</i>	63



Emergentność jako fundamentalna cecha opisu Przyrody, czyli pojawienie się nowych cech jakościowych na następnych etapach złożoności

*Józef Spalek
Instytut Fizyki UJ*

Jako student i doktorant często się zastanawiałem, czytając czy ucząc się nowego materiału, jak twórca jakiejś niebanalnej koncepcji fizycznej wpadł na nią? Moje zdziwienie czy niezrozumienie materiału było szczególnie silne, gdy koncepcja nie mieściła się w kontekście danej dziedziny. Zrozumienie dogłębne otoczki oryginalnego pomysłu naukowego jest także bardzo pożyteczne przy jego objaśnianiu studentom czy uczniom. Na przykład, jak uzasadnić, że układ wielocząstkowy w zadanych warunkach (np. równowagi termicznej) nagle spontanicznie zmienia swój stan, czy w ogóle symetrię wewnętrzną? Dlaczego gaz skrapla się w ściśle określonej temperaturze, a nie następuje stopniowe spowolnienie atomów przy obniżaniu temperatury, jakby to wynikało z elementarnej zasady ekwipartycji energii, że na każdy stopień swobody przypada energia szumu termicznego proporcjonalnego do temperatury T ? Oczywiście, zasadniczą rolę odgrywa tu oddziaływanie pomiędzy cząstkami, ale gwałtownej zmiany fazy układu nie da się zrozumieć wyłącznie na podstawie praw mechaniki. Wystąpienie gwałtownego przejścia fazowego (topnienia) jest więc *cechą emergentną* układu. Oczywiście zjawisko skroplenia da się zrozumieć poprzez wprowadzenie opisu termodynamicznego (np. zgadniętego równania van der Waalsa), ale w przypadku spontanicznej zmiany symetrii w kwantowych układach wielocząstkowych już nie jest to takie łatwe.

Te i podobne pytania zrozumiałem poprzez uzmysłowienie sobie tej cechy naszego opisu zwanej *emergentnością zjawisk i praw Przyrody*. Polega ona na tym, iż uważamy, że oprócz praw matematycznych, takich jak równania ruchu czy opis poprzez równania stanu, mamy jeszcze zasadnicze założenia jakościowe, które są równie ważne, jak prawa ilościowe, a czasami nawet ważniejsze. Te założenia są nie tylko dopełnieniem naszego opisu ilościowego, ale są wręcz nieodzowne dla stworzenia kompletnego obrazu czy kompletnej teorii. Można powiedzieć, że koncepcja atomu czy cząstek elementarnych jest pierwotną cechą emergentną Przyrody. Po przejściu do układu złożonego z bardzo dużej liczby cząstek pojawia się koncepcja spontanicznie złamanej symetrii i przejścia fazowego jako wystąpienia w takim praktycznie nieskończonym układzie istotnych osobliwości wielkości fizycznych, takich jak ciepło właściwe czy nawet moduł ściśliwości (w przypadku cieczy w pobliżu tzw. punktu krytycznego).

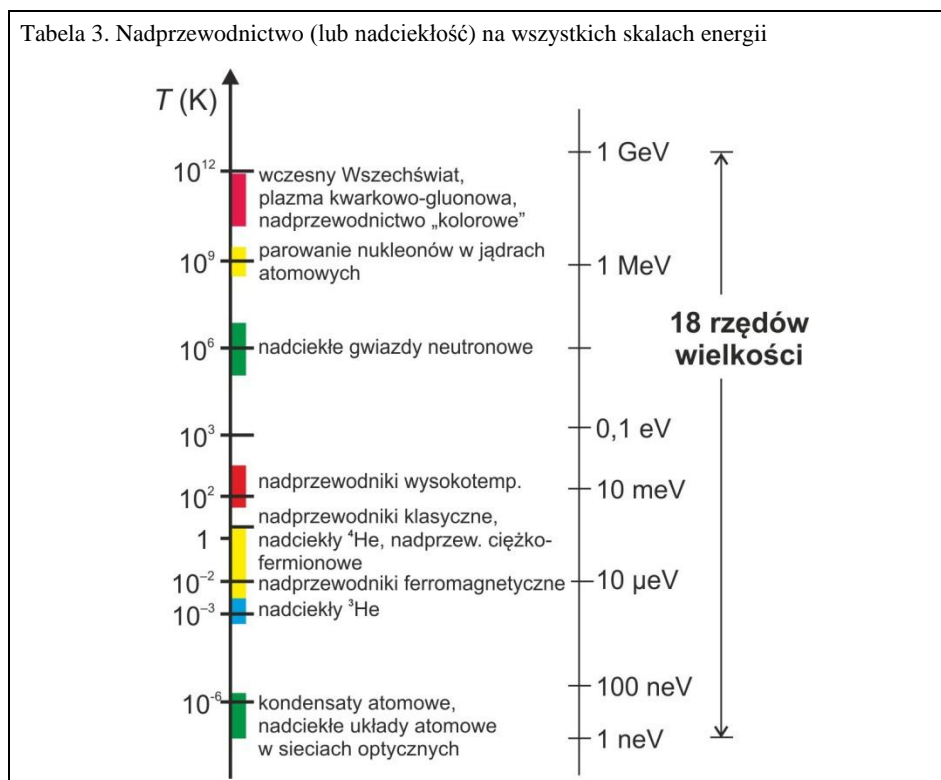
W tabeli 2 wyszczególniłem przykładowe teorie fizyczne (po prawej) oraz ich emergentne zasady (po lewej), na których zbudowana jest taka teoria ilościowa (matematyczna). Wyszczególnienie tych zasad emergentnych objaśnia nam tylko tyle, że nie da się w ramach danej teorii odpowiedzieć na pytanie, co się za tymi zasadami (założeniami) kryje; można je zwykle jedynie uzasadnić jako wyabstrahowane prawdy z faktów doświadczalnych. Jednym z koronnych takich przykładów jest równanie Newtona $F = ma$, które jest genialnym zgadnięciem Newtona. To naprawdę nie jest Prawo Przyrody w sensie matematycznym, gdyż zawiera dwie niewiadome: F oraz m . Tylko przyspieszenie jest zdefiniowane czysto matematycznie jako druga pochodna położenia po czasie. Oczywiście nie błądzimy, gdyż do tej relacji dokładamy przepis, jak doświadczalnie wyznaczyć przede wszystkim F , a m jest wtedy uniwersalnym współczynnikiem proporcjonalności o dogłębnym znaczeniu masy. Późniejszy formalizm Lagrange’a i Hamiltonian postawiły prawa Newtona na bardziej formalnej bazie.

Tabela 2. Aspekty jakościowe *versus* ilościowe opisu fizycznego – przykłady

JAKOŚCIOWE		ILOŚCIOWE
Symetria układu	↔	Grupy symetrii i ich reprezentacje
Spontaniczne złamanie symetrii	↔	Parametr uporządkowania Teoria Landaua i zjawiska krytyczne
Dualizm falowo-korpuskularny Nierozróżnialność cząstek	↔	Równanie dynamiczne (falowe), rozkład Fermiego-Diraca i Bosego-Einsteina
Uniwersalność zjawisk	↔	Teoria skalowania Równania globalne (np. Einsteina)

Ilustracją uniwersalności koncepcji emergentnych jest pojęcie nadprzewodnictwa (lub nadciekłości) występujące na wszystkich skalach energii, jak to przedstawiono w tabeli 3. Zauważmy, że tylko to jedno pojęcie wzięte z fizyki materii skondensowanej ma wpływ na inne dziedziny (plazma kwarkowo-gluonowa, nadciekłość gwiazd neutronowych czy zimnych atomów). Dlatego też filozofia emergentności uczy nas także pokory w nazywaniu fundamentalną tylko jednej, ważnej, ale bardzo wąskiej dziedziny fizyki.

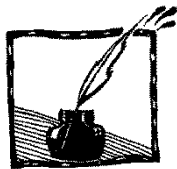
Takie *emergentne* pojmowanie złożonych („niewytłumaczonych”) pojęć Praw Przyrody ma się dobrze, jeśli pytamy tylko o to, jak się dany układ zachowuje. W żadnym przypadku nie jest bezsensownym zapytać, dlaczego akurat takie? To, co chcę powiedzieć, to że odpowiedź na pytania „dlaczego?” nie mieści się już w schemacie założonej teorii czy podstaw tej dyscypliny naukowej. Potrzebna jest wtedy nowa teoria obejmująca szerszy zakres zjawisk.



Na koniec dwie uwagi zasadnicze o *emergentności Przyrody*. Nasz mózg jest najbardziej złożonym układem w Przyrodzie. Przez mózg stało się wszystko, co wiemy o świecie i o sobie samych. Czy zauważyliście, że w zasadniczej większości badań fizycznych zakładamy, że mózg czy obserwator jest naczelnym sędzią naszego widzenia świata? Ale to nie wszystko. Bo na przykład, jeśli chcemy poznać istotę procesów myślowych stanowiących podstawę całej naszej wiedzy, to w tym przypadku układ poznaje sam siebie i mówi o sobie. A przecież układ nie zbada sam siebie w sposób zupełny, bo chociażby nie zbuduje języka bogatszego aniżeli ten, z którego sam się składa! Czy mózg zatem to układ emergentny najwyższego rzędu? Jest to pytanie najpewniej niemożliwe do odpowiedzenia przez nas samych o nas samych. W każdym razie, jest rzeczą naprawdę fantastyczną, że mimo tych ograniczeń potrafimy nie tylko coś powiedzieć o świecie, ale także budować wspaniałe teorie czy konstrukcje doświadczone przybliżające nam świat.

Dlaczego to potrafimy? Oto jest pytanie.

P.S. Dla Czytelnika zainteresowanego głębiej tą tematyką polecam mój artykuł: *Emergentność w Prawach Przyrody i Hierarchiczna Struktura Nauki*, „Postępy Fizyki”, t. 63, z. 1, s. 8–18 (2012).



Komety – kosmiczne koty, cz. I

Piotr Gronkowski, Marcin Wesółowski

Wydział Matematyczno-Przyrodniczy,

Centrum Innowacji i Transferu Wiedzy

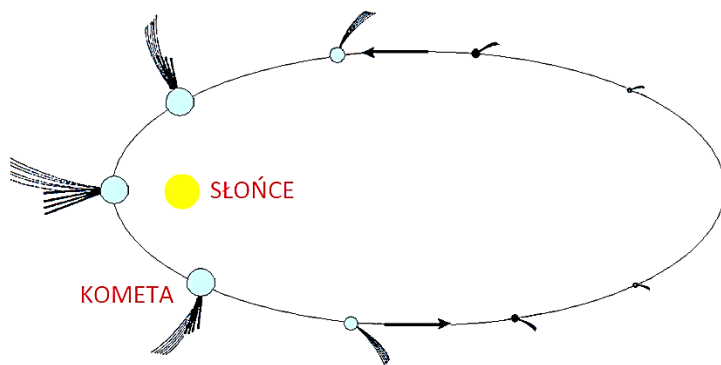
Techniczno-Przyrodniczej Uniwersytetu Rzeszowskiego

Wstęp

Układ Słoneczny tworzą Słońce, które jest jego centralnym ciałem oraz powiązane z nim grawitacyjnie planety, księżycy planetarne, planety karłowate, planetoidy, komety, meteoroidy oraz pył i gaz międzyplanetarny. Szczególne miejsce wśród składników Układu Słonecznego zajmują komety. Mimo relatywnie małej masy mogą czasami lśnić na nocnym niebie bardzo silnym blaskiem przykuwając uwagę obserwatorów. Te małe ciała kosmiczne należą do najbardziej zmiennych, trudno przewidywalnych, a jednocześnie najpiękniejszych obiektów wchodzących w skład Układu Słonecznego. Komety penetrujące wewnętrzne obszary Układu Słonecznego pochodzą z dwóch rezerwuarów. Pierwszy z nich to tzw. Obłok Oorta – jest to sferyczna warstwa o promieniu rzędu 10 000 AU¹ otaczająca Słońce. Drugie źródło jąder kometarynych to znacznie bliższy region – tzw. dysk Kuipera, który rozpościera się w odległości rzędu 40 AU od Słońca. Perturbacje pochodzące od najbliższych gwiazd zmuszają jądra kometaryne tworzące obłok Oorta do zmiany orbit na krzywe stożkowe zanurzające się głęboko we wnętrze Układu Słonecznego. Analogiczną rolę wobec jąder kometarynych zawartych w dysku Kuipera pełnią perturbacje pochodzące od wielkich planet, które powodują, że orbity kometaryne ulegają zmianom prowadzącym do głębszego penetrowania Układu Słonecznego. Przyjmuje się powszechnie, że komety są pozostałością – echem pierwotnego okresu formowania się Układu Słonecznego i ze względu na swoje małe rozmiary nie uległy istotnym zmianom od chwili swego powstania na skutek grawitacji, ciepła wewnętrznego czy też zderzeń z meteoroidami. Szczególnie tzw. komety długookresowe docierające po raz pierwszy z obłoku Oorta w pobliże Słońca zawierają najbardziej pierwotną materię, z której został uformowany nasz Układ Słoneczny. Komety długookresowe będąc świadkami narodzin Układu Słonecznego stanowią więc zapis jego formowania się z pierwotnej mgławicy. Pełnią one zatem bardzo ważną rolę w badaniach kosmogonicznych dotyczących powstania Układu Słonecznego dostarczając nam wielu informacji o warunkach i procesach towarzyszących jego narodzinom. Z drugiej strony oddziaływanie warkoczy kometarynych z wiatrem słonecznym sprawia, że są one naturalnymi sondami między-

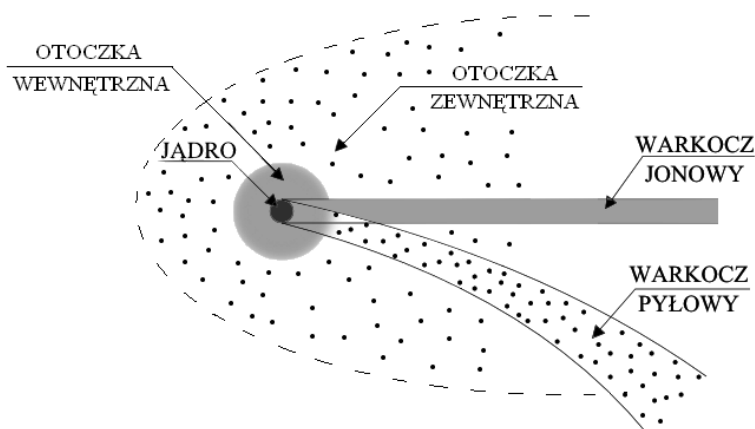
¹ AU – symbol jednostki astronomicznej. W przybliżeniu odpowiada ona średniej odległości Ziemi od Słońca. Często w obliczeniach przyjmowana jest jej przybliżona wartość równa 150 mln km.

planetarnej. Zachowanie się plazmowych warkoczy kometarnych dostarczyło najwcześniejszych informacji o istnieniu wiatru słonecznego. Przytoczone fakty sprawiają, że poznawanie struktury i ewolucji tych ciał kosmicznych jest wyjątkowo pasjonującą przygodą intelektualną dla wielu astronomów. Podstawowym, najważniejszym składnikiem komety jest jądro, trwała struktura, która pełni rolę nośnika masy kometarnej. Jądra komet okrążają Słońce po orbitach będących w przybliżeniu elipsami, parabolami lub hiperbolami. Jądra komet przybierają kształt nieregularnych brył o wymiarach od kilkuset metrów do kilkudziesięciu kilometrów. Zbudowane są z lodu wodnego zawierającego domieszki takich zestalonych substancji jak: lody tlenu i dwutlenku węgla, amoniaku oraz niewielkiej ilości innych związków chemicznych. Oprócz tego jądra komet zawierają wmrózone okruchy skalne oraz pyły. Najprawdopodobniej struktura jąder kometarnych jest porowata. Gdy kometa zbliża się po raz pierwszy z głębi Kosmosu do Słońca, jej początkowo zimne jądro pod wpływem promieniowania słonecznego nagrzewa się. Fala ciepła indukowana przez promieniowanie słoneczne stopniowo w miarę zbliżania się komety ku Słońcu przenika z powierzchni jądra do jego wnętrza powodując sublimację zamrożonych gazów kometarnych. Lody kometarne sublimują w swojej naturalnej kolejności zgodnie z temperaturami parowania. W głębokich, zimnych warstwach z jądra mogą sublimować najbardziej lotne substancje, takie jak H_2 , N_2 , CH_4 , CO . W płytszych, nieco cieplejszych warstwach parują dwutlenek węgla oraz amoniak, gdyż najbardziej lotne substancje zdążyły już wyparować. W relatywnie najcieplejszych powierzchniowych warstwach jądra sublimują te substancje, które jeszcze w nich przetrwały, a więc są najmniej lotne, m.in. H_2O oraz H_2O_2 . Przedstawiony powyżej mechanizm sublimacji utrzymuje porowatą strukturę jądra oraz sprzyja istnieniu w atmosferze komety gazów o różnym tempie sublimacji, co powszechnie obserwuje się w przypadku komet zbliżających się wystarczająco blisko do Słońca. Opisana powyżej aktywność sublimacyjna komety powoduje, że stopniowo zbliżając się do Słońca rozbudowuje ona swoją strukturę – generalnie do trzech składowych: głowy z zawartym w jej wnętrzu jądrem oraz warkoczy: pyłowego i jonowego (rys. 1 i 2). Następnie kometa po przejściu przez peryhelium oddala się od Słońca, jej aktywność sublimacyjna maleje, a jądro staje się ponownie zimną lodowo-pyłową bryłą. Za każdym powrotem w pobliże Słońca kometa traci pewien ułamek swojej masy. W końcu po odpowiednio dużej liczbie obiegów wokół Słońca jądro pozbawione wystarczającej ilości lodu pełniącego rolę kleju spajającego pyły i mniejsze lub większe okruchy czy też bryły skalne rozpada się na małe fragmenty składowe, które pod wpływem oddziaływań perturbacyjnych planet formują rój meteoroidów.



Rys. 1. Ewolucja komety wzdłuż jej eliptycznej orbity

Badanie struktury fizycznej i ewolucji komet wymaga korzystania z wielu dziedzin fizyki i astronomii, takich jak mechanika nieba, termodynamika i spektroskopia, bardzo zaawansowanego aparatu matematycznego związanego między innymi z teorią równań różniczkowych oraz stosowania zaawansowanych metod numerycznych. Celem tego artykułu jest jednak przybliżenie wszystkim czytelnikom, a w szczególności nauczycielom fizyki pracującym w szkołach ponadgimnazjalnych, współczesnych poglądów na fizykę komet i zachęcenie ich do wykorzystania nabytej wiedzy w swojej pracy dydaktycznej z młodzieżą szkolną. Dlatego w niniejszym artykule zostaną zaprezentowane w miarę prosty sposób – możliwy do przekazania młodzieży szkolnej wykazującej zainteresowanie przedmiotami matematyczno-fizycznymi – wybrane elementy „warsztatu teoretycznego kometologów”, czyli rozważań teoretycznych związanych z astrofizyką komet.



Rys. 2. Rozbudowana w pobliżu Słońca struktura jądra komety. Głowę komety stanowią otoczki wewnętrzna i zewnętrzna, spowijające jej jądro

1. Podstawowe równania opisujące fizykę komet

1.1. Ruch jądra komety względem Słońca

Jak już wspomniano, komety obiegają Słońce po orbitach będących krzywymi stożkowymi. Jeżeli są to parabole lub hiperbole, to takie komety nazywamy jednopojawieniowymi, a jeśli są to elipsy, to mamy do czynienia z kometami okresowymi. Komety obiegające Słońce po orbitach eliptycznych nazywamy krótkookresowymi, jeśli ich okres obiegu P jest krótszy niż 200 lat. Natomiast jeśli spełnia on warunek $P > 200$ lat to wtedy mówimy o kometach długookresowych. Dynamika komety zdeterminowana jest głównie przez grawitację Słońca, jednak przy odpowiednio dokładnym wyznaczeniu orbity należy również uwzględnić siły grawitacyjne działające na kometę pochodzące od planet (perturbacje planetarne) oraz tzw. oddziaływania niegrawitacyjne, których źródłem są zjawiska związane z sublimacją jądra, jego rotacją lub gwałtownymi wyrzutami materii z jego warstw podpowierzchniowych. Uwzględniając wymienione oddziaływania równanie ruchu jądra komety względem Słońca można przedstawić w następującej formie:

$$\frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = -\frac{GM_s}{r^3} \vec{r} - \sum_{i=1}^8 \frac{GM_i}{|\vec{r} - \vec{r}_i|^3} (\vec{r} - \vec{r}_i) + \vec{a}_{ngr}. \quad (1)$$

Przyjęto oznaczenia: \vec{r} , \vec{r}_i są odpowiednio wektorami wodzącymi komety i planet w układzie współrzędnych, w którego początku znajdują się Słońce o masie M_s , G jest stałą grawitacji, M_i są masami planet Układu Słonecznego ($i = 1, 2, \dots, 8$), \vec{a}_{ngr} jest przyspieszeniem pochodzącym od oddziaływań niegrawitacyjnych.

1.2. Bilans energetyczny na powierzchni jądra komety

Wygląd komety zależy głównie od jej odległości od Słońca, gdyż ta determinuje moc energii promienistej docierającej do powierzchni jądra komety, a to z kolei wpływa bezpośrednio na tempo sublimacji lodów kometarnych. Fundamentalne znaczenie dla opisu zachowania się komety ma więc bilans energetyczny dla powierzchni jej jądra. Powierzchnia jądra komety uzyskuje energię promieniowania słonecznego, która w ogólności jest wykorzystana na energię wypromieniowaną przez jądro (głównie w podczerwieni), ciepło sublimacji materii kometarnej oraz ciepło przewodzone do wnętrza komety. Dlatego równanie równowagi energetycznej dla jednostkowej powierzchni jądra komety przyjmuje formę:

$$\frac{S_{\odot} (1-A) \cos \theta}{d^2} = \varepsilon \sigma T^4 + \left(\frac{dZ}{dt} \right) \frac{L}{N_0} + K \left| \frac{dT}{dR} \right|_{R_N}. \quad (2)$$

Lewa strona powyższego równania oznacza moc promieniowania elektromagnetycznego Słońca, pochłanianego przez jądro komety, pierwszy człon prawej strony równania reprezentuje moc wypromieniowaną z jądra komety, drugi człon oznacza moc przeznaczoną na sublimację lodów kometarnych, a trzeci człon jest mocą przewodzoną do wnętrza komety. Symbol $\left. \frac{dT}{dR} \right|_{R_N}$ oznacza wartość bezwzględną gradientu temperatury tuż pod powierzchnią jądra komety. Symbole wykorzystane po lewej stronie równania: S_{\odot} oznacza stałą słoneczną dla odległości heliocentrycznej równej 1 AU, A – albedo jądra (współczynnik odbicia światła), θ – kąt padania promieni słonecznych na powierzchnię jądra komety, d – odległość komety od Słońca. Symbole wykorzystane po prawej stronie równania: ε – współczynnik emisji, σ – stała Stefana-Boltzmanna, T – temperatura powierzchni jądra, $\frac{dZ}{dt}$ – tempo sublimacji lodów kometarnych, L – ciepło sublimacji, N_0 – liczba Avogadra, a K – przewodność cieplna materii kometarnej, R_N – promień jądra komety.

Wyrażenie po lewej stronie równania przedstawia moc absorbowaną przez powierzchnię jądra. Pierwszy składnik po prawej stronie wyraża moc wypromieniowaną, drugi składnik tej strony to moc wykorzystana na sublimację, a trzeci jest ciepłem przewodzonym z powierzchni do wnętrza komety w ciągu jednej sekundy. W tym miejscu należy zauważyć, że istnieją skomplikowane formuły opisujące tempo sublimacji materii kometarnej jako funkcji temperatury powierzchni jądra komety, jego struktury oraz ciśnienia nasyconych par sublimujących lodów kometarnych. Przy rozwiązywaniu równania (2) należy uwzględnić również równania orbity komety podających zależność odległości heliocentrycznej komety od czasu oraz równanie stanu Clausiusa-Clapeyrona dla par nasyconych sublimujących substancji. Obliczenie tempa sublimacji $\frac{dZ}{dt}$ z rozważanego równania umożliwia określenie ilości materii w głowie komety i dlatego pozwala przewidywać zmiany jasności komety w funkcji jej odległości heliocentrycznej. Ma to istotne znaczenie dla opisu ewolucji komety w czasie jej obiegu wokół Słońca.

1.3. Dynamika pyłów kometarnych

Jądro komety jest konglomeratem lodów oraz pyłów i okruchów skalnych. Dlatego też cząstki – ziarna kometarne – mogą mieć skomplikowaną strukturę pyłowo-lodową. Molekuły sublimujących lodów kometarnych, bombardując te cząstki leżące na powierzchni jądra komety, mogą zmusić je do ekspansji w kierunku na zewnątrz głowy komety. Inaczej mówiąc, na cząstki kometarne położone na powierzchni jądra komety działa siła parcia uderzających w nie molekuł sublimujących lodów. Oprócz tego poddane są one działaniu siły gra-

witacji komety. Inne oddziaływania, takie jak ciśnienie promieniowania słonecznego oraz grawitację słoneczną przy powierzchni jądra komety w opisie ich dynamiki, można w pierwszym przybliżeniu zaniedbać. Dlatego równanie ruchu ziaren unoszonych z powierzchni jądra komety można przedstawić w postaci:

$$\frac{4}{3}\pi a^3 \rho_d \frac{dv_d}{dt} = \pi a^2 \frac{C_D}{2} \rho_g (v_g - v_d)^2 - \frac{4}{3}\pi a^3 \rho_d M_N \frac{G}{R^2}. \quad (3)$$

W powyższym równaniu: a – promień, ρ_d – gęstość ziarna kometarnego, v_d – prędkość ziarna kometarnego, t – czas liczony od momentu wyrzutu ziarna kometarnego z jądra, natomiast ρ_g i v_g reprezentują gęstość i prędkość molekuł sublimujących lodów kometarnych. Oprócz tego M_N – oznacza masę jądra komety, R – odległość cząstki od środka komety, G jest stałą grawitacji, C_D oznacza współczynnik oporu, który dla strumienia swobodnych molekuł przyjmujemy jako równy 2. Pierwszy składnik prawej strony równania opisuje siłę, z jaką molekuły gazu bombardują cząsteczki lodowo-pyłowe, drugi składnik określa siłę grawitacji, z jaką kometa działa na ziarno. Należy zaznaczyć, że dla uproszczenia rozważań przyjęto, że jądro komety ma kształt kulisty. Po przekształceniach algebraicznych równanie (3) można doprowadzić do następującej formy:

$$\frac{d^2 R}{dt^2} = -\frac{\alpha \left(\frac{dR}{dt}\right) - \beta \left(\frac{dR}{dt}\right)^2 + \gamma}{R^2}, \quad (4)$$

gdzie:

$$\alpha = -\frac{3 \left(\frac{dZ}{dt}\right) \mu m_0 R_N^2}{2a \rho_d}, \quad \beta = \frac{\alpha}{2v_g}, \quad (5)$$

$$\gamma = GM_N - \frac{\alpha v_g}{2}, \quad v_g = \sqrt{\frac{\kappa k T}{\mu m_0}}.$$

W powyższych relacjach przyjęto następujące oznaczenia: μ jest masą cząsteczkową sublimujących lodów, a m_0 jednostką masy atomowej. Wykładnik adiabaty oznaczono przez κ , T jest temperaturą wyrażoną w kelwinach, k jest stałą Boltzmanna. Inne oznaczenia są takie same jak w równaniu (3). W równaniu (5) założono, że cząsteczki gazu kometarnego osiągają prędkości dźwięku blisko powierzchni jądra komety. Przyjęta wartość wydaje się być rozsądnym kompromisem pomiędzy dwoma istniejącymi w literaturze skrajnymi opisami wpływu gazu kometarnego. W oparciu o powyższe równania można w łatwy sposób wyznaczyć maksymalny promień a_{max} cząstki lodowo-pyłowej, która jeszcze może być uniesiona przez molekuły sublimującej materii kometarnej.

Kładąc w równaniu (4) $\frac{d^2R}{dt^2} = 0$ oraz $\frac{dR}{dt} = 0$ dla $R = R_N$, łatwo znajdziemy, że:

$$a_{max} = \frac{9 \left(\frac{dZ}{dt} \right) \mu m_0 v_g}{16 \pi G R_N \rho_N \rho_d}. \quad (6)$$

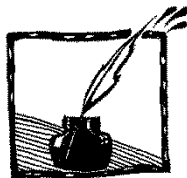
Na podstawie powyższego równania wnioskujemy, że maksymalny promień cząstki kometarnej, która może być uniesiona z powierzchni jądra jest proporcjonalny do tempa sublimacji, które z kolei jest funkcją odległości heliocentrycznej komety. Szczegółowa analiza wzoru (6) prowadzi do wniosku, że dla szerokiego zakresu odległości heliocentrycznych komety promienie największych cząstek a_{max} emitowanych z komet są rzędu 10^{-6} m do 10^{-3} m. Należy zauważyć, że w powyższych rozważaniach pominięto ewentualną rotację jądra komety.

W drugiej części artykułu zostaną opisane dwa zagadnienia. Pierwsze dotyczyć będzie modelowania kształtu głowy komety przy użyciu prostego aparatu matematycznego. Drugie zagadnienie dotyczyć będzie zjawiska wybuchu blasku komet. Zostaną tam przedstawione różne mechanizmy dotyczące tego zjawiska.

Powyższy artykuł powstał podczas realizacji dwóch grantów Dziekana Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego UR: WMP/GD-08/2015 oraz WMP/GMN-21/2015.

Literatura

- [1] Artymowicz P., *Astrofizyka układów planetarnych*, PWN, Warszawa 1995.
- [2] Hughes D., *Cometary outbursts*. A review, Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society, 31, 69–94, 1990.
- [3] Gronkowski P., *Wybuchy komet w znacznych odległościach od Słońca*, Wyd. Uniwersytetu Rzeszowskiego, 2002.
- [4] Gronkowski P., *The source of energy of the Comet 29P/Schwassmann-Wachmann 1 outburst activity: the test of the summary*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 360, 1153–1161, 2005.
- [5] Mc-Fadden L., Weissman P., Johnson T. (ed.), *Encyclopedia of the Solar System, second edition*, ELSEVIER, Amsterdam 2007.



O wchodzeniu pod górę

Stanisław Kobus

Student, Instytut Fizyki UJ

1. Wprowadzenie

Zapewne każdy z Czytelników ma jakieś doświadczenia związane z pokonywaniem pieszo wzniesień. Okazuje się, że wchodzenie pod górę jest bardzo ciekawym zjawiskiem z fizycznego punktu widzenia, a jego opis wcale nie jest łatwy. Jedną z przyczyn, dla których tak się dzieje, jest skomplikowana struktura mięśni, stawów itd., które grają decydującą rolę w procesie poruszania się na dwóch nogach. Przeglądając zasoby Internetu można znaleźć wiele prac eksperymentalnych, koncentrujących się na ilościowym opisie chodu i dlatego więcej w nich liczb niż wzorów. Bardziej wnikliwemu poszukiwaczowi nie umkną zaawansowane prace biorące pod uwagę wiele fizjologicznych szczegółów związanych z budową ludzkiego ciała. Jednak te prace są trudne do zrozumienia dla fizyka, bo potrzebna jest specjalistyczna wiedza z zakresu fizjologii ciała ludzkiego. Okazuje się jednak, że istnieją również proste modele chodu, spośród których najpopularniejszy zwany jest modelem odwróconego wahadła (*inverted pendulum model*) [1].

2. Model odwróconego wahadła

Na początek warto zwrócić uwagę na definicję słowa krok, gdyż słowo to czasem jest odnoszone do pojedynczego kroku, czyli odległości między śladami stóp różnych nóg, a czasami do kroku podwójnego, czyli odległości między śladami czynionym przez tę samą stopę. Na potrzeby tego artykułu krokiem będę nazywał krok pojedynczy, zaś mówiąc o podwójnym kroku, będę stosował pełną nazwę.

Idea modelu jest bardzo prosta: nogę wędrowca należy potraktować jako wahadło fizyczne. Czas potrzebny na wykonanie podwójnego kroku będzie wtedy równy okresowi wahanja nogi, który oznaczmy przez T_s . Zakładamy także przybliżenie małych kątów, dzięki czemu wartości funkcji sinus i cosinus będą mogły być przybliżane przez rozwinięcie Taylora do drugiego rzędu włącznie. Założenie takie okazuje się zadziwiająco dobre: długość podwójnego kroku to przeciętnie 85% wysokości człowieka, podczas gdy długość nogi – 50%. Przy takich proporcjach przeciętna amplituda kątowa ruszającej się w stawie biodrowym nogi wynosi 0,43 rad (ok. 25°). Różnica między okresem drgań dla takiej amplitudy policzonym ściśle a uzyskanym w ramach przybliżenia małych kątów wynosi około 1,5%, co oznacza w praktyce błąd rzędu jednej minuty na jedną godzinę chodzenia.

Wiadomo, że dla wahadła o długości L i masie m_1 (masa nogi) oraz przyspieszenia grawitacyjnego g okres drgań dany jest następującym wzorem (zob. np. [2])

$$T_s = 2\pi \sqrt{\frac{I}{m_1 g d}}, \quad (1)$$

gdzie d jest odległością pomiędzy osią obrotu a środkiem masy ciała, zaś I jest momentem bezwładności. Jeśli założymy, że noga jest prętem, którego środek masy leży dokładnie w połowie jej długości ($d = L/2$), to moment bezwładności będzie równy $I = m_1 L^2/3$. Wtedy okres drgań wyniesie

$$T_s = 2\pi \sqrt{\frac{m_1 L^2}{3m_1 g \frac{L}{2}}} = 2\pi \sqrt{\frac{2L}{3g}}. \quad (2)$$

Jeśli założymy, że ϕ jest kątową amplitudą wahającej się nogi, to w czasie T_s turysta przejdzie odległość podwójnego kroku, a każda z nóg wykona wahnięcie o kąt 2ϕ w czasie T_s i tym samym idący pokona odległość

$$d_s = 4L \sin \phi \approx 4L\phi. \quad (3)$$

Energia zużyta w czasie pokonywania takiego dystansu będzie równa różnicy energii potencjalnej środka masy człowieka o masie m między najniższą i najwyższą jego pozycją w czasie jednego cyklu. Ponieważ na podwójny krok składają się dwa kroki pojedyncze, środek masy przesunie się dwa razy do góry i dwa razy opadnie. Energia potrzebna do dwukrotnego podniesienia środka masy będzie równa

$$E_s = 2mgL(1 - \cos \phi) \approx 2mgL \left(1 - 1 + \frac{\phi^2}{2}\right) = 2mgL \frac{\phi^2}{2}. \quad (4)$$

Teraz można łatwo policzyć średnią moc wydatkowaną przez turystę

$$P = \frac{E_s}{T_s} = \frac{2mgL}{2\pi} \sqrt{\frac{3}{2}} \sqrt{\frac{g}{L}} \frac{\phi^2}{2} = \sqrt{\frac{3}{2}} \frac{mg \sqrt{gL}}{\pi} \frac{\phi^2}{2} \quad (5)$$

oraz jego średnią prędkość

$$v = \frac{d_s}{T_s} = \frac{4L\phi}{2\pi} \sqrt{\frac{3}{2}} \sqrt{\frac{g}{L}} = \frac{2\phi}{\pi} \sqrt{\frac{3}{2}} \sqrt{gL}. \quad (6)$$

Jeśli założymy, że okres T_s jest stały (co jest istotą ruchu wahadła w przybliżeniu małych kątów), to amplituda kątowa nogi jest wprost proporcjonalna do prędkości

$$\phi = \frac{\pi}{2\sqrt{gL}} \sqrt{\frac{2}{3}} v. \quad (7)$$

Wtedy z równania (5) otrzymujemy:

$$P(v) = \sqrt{\frac{3}{2}} \frac{mg\sqrt{gL}}{2\pi} \frac{2}{3} \frac{\pi^2}{4gL} v^2 = \left(\sqrt{\frac{3}{2}} \frac{\pi}{12} \sqrt{\frac{g}{L}} \right) mv^2 = \left(\frac{\pi^2}{6T_s} \right) mv^2 = \lambda mv^2. \quad (8)$$

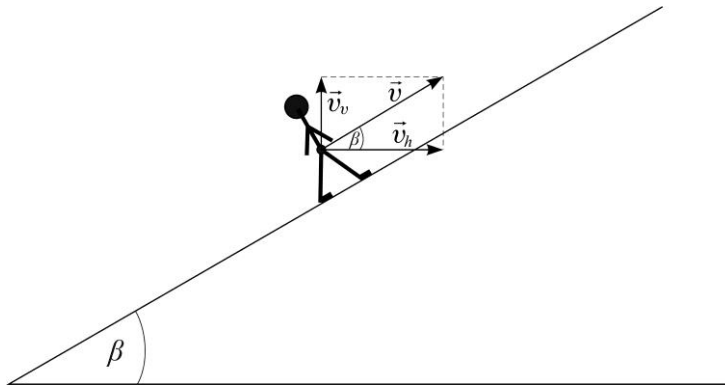
Powyższy wzór został potwierdzony przez liczne eksperymenty, dzięki którym udało się ustalić, że stała λ wynosi około $4/3 \text{ s}^{-1}$. Dzięki temu można oszacować czas wykonania podwójnego kroku na $T_s = 1,24 \text{ s}$. Ta wartość wydaje się sensowna, pod warunkiem wszakże, że piechur będzie szedł dość szybko. W dalszej części artykułu będziemy używać stałej λ równej $4/3 \text{ s}^{-1}$.

3. Uogólnienie na nachylone stoki

Model odwróconego wahadła zaprezentowany wyżej można stosować oczywiście tylko przy chodzeniu po poziomej powierzchni. Aby móc użyć go do opisu spacerowania po stokach o różnym nachyleniu, wymaga on drobnej modyfikacji. Prędkość turysty poruszającego się po stoku o nachyleniu β może być zapisana następująco

$$\vec{v} = v \cos \beta \hat{e}_1 + v \sin \beta \hat{e}_2 = \vec{v}_h + \vec{v}_v, \quad (9)$$

gdzie \hat{e}_1 i \hat{e}_2 to wektory jednostkowe – poziomy i pionowy.



Załóżmy teraz, że moc potrzebna do poruszania się pod górę może być zapisana jako suma dwóch wyrazów

$$P = P_h + P_v. \quad (10)$$

Wyraz związany z ruchem w poziomie jest opisany przez wzór (8). Moc związana z ruchem w pionie będzie równa różnicy energii potencjalnej zdobywanej przez wędrowca na jednostkę czasu

$$P_v = mgv_v. \quad (11)$$

Ostatecznie więc otrzymujemy następujący wzór

$$P = \lambda mv_h^2 + mgv_v = \lambda mv^2 \cos^2 \beta + mgv \sin \beta. \quad (12)$$

4. Efektywność mięśni

W chwili obecnej dysponujemy równaniem, które mówi, ile mocy potrzebuje piechur idący stokiem o nachyleniu β z prędkością v . Jeśli jednak chcemy powiązać ten wynik z rzeczywistością, musimy rozważyć, jak ta moc jest produkowana w ciele ludzkim. Ogólnie związek pomiędzy mocą a siłą wywieraną na jakiś przedmiot dany jest wyrażeniem

$$P = Fv, \quad (13)$$

gdzie v jest prędkością nadmienionego przedmiotu. Warto zauważyć, że jeśli rozważamy moc generowaną przez mięśnie, to v będzie równa prędkości kurczenia się włókien mięśniowych. Jednakże, inaczej niż w powyższym równaniu, moc generowana przez mięsień zależy od siły, która jest wywierana. Można łatwo zobaczyć to na następującym przykładzie: nie jesteśmy w stanie podnieść dowolnie ciężkiego obiektu, poruszając go z małą prędkością. Ludzkie mięśnie mają pewną siłę graniczną F_{max} , powyżej której nie są w stanie działać. Podobnie dzieje się po drugiej stronie skali – gdy wywierana siła jest za mała, prędkość kurczenia się mięśnia jest zbyt duża i przetwarzanie energii chemicznej w mechaniczną nie jest efektywne. Uzyskane z eksperymentów równanie, które łączy moc P z siłą F wywieraną przez ludzki mięsień, jest nazywane *równaniem Hilla* (od nazwiska Archibalda Hilla, jego odkrywcy) i przyjmuje następującą postać

$$P(F) = Fv_{max} \frac{F_{max} - F}{F_{max} + bF}, \quad (14)$$

gdzie v_{max} to maksymalna prędkość kurczenia się mięśnia, F_{max} – maksymalna siła, którą mięsień może wyprodukować, zaś b jest stałą z przedziału od 1 do 4. Powyższa funkcja ma maksimum, które łatwo obliczyć. Rozwińmy więc funkcję $P(F)$ w pobliżu maksimum P_{opt} , przy której praca układu mięśniowego jest najefektywniejsza (optymalna moc jest związana z optymalną siłą F_{opt}).

Z równania

$$\frac{\partial P(F)}{\partial F} \Big|_{F=F_{opt}} = 0 \quad (15)$$

wynika, że

$$F_{opt} = \frac{F_{max}}{b} (\sqrt{1+b} - 1)$$

oraz

$$P_{opt} = P(F_{opt}) = F_{opt} v_{max} \frac{F_{max} - F_{opt}}{F_{max} + bF_{opt}}. \quad (16)$$

Teraz rozwijamy $P(F)$ wokół maksimum zachowując wyrazy do drugiego rzędu włącznie

$$P(F) = P_{opt} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 P(F)}{\partial F^2} \Big|_{F=F_{opt}} (F - F_{opt})^2. \quad (17)$$

Po pracochłonnych obliczeniach otrzymujemy

$$P(F) = P_{opt} - v_{max} \frac{(F - F_{opt})^2}{F_{max} \sqrt{1+b}}. \quad (18)$$

Porównując powyższy wynik z P_{opt} można zdefiniować rodzaj mechanicznej wydajności

$$\eta = \frac{P}{P_{opt}} = 1 - \frac{v_{max} (F - F_{opt})^2}{F_{max} \sqrt{1+b}} \frac{1}{P_{opt}} \approx \frac{1}{1 + \frac{v_{max} (F - F_{opt})^2}{F_{max} \sqrt{1+b}} \frac{1}{P_{opt}}} = \frac{1}{1 + a \left(\frac{F - F_{opt}}{mg} \right)^2}, \quad (19)$$

gdzie a jest bezwymiarową stałą. Warto zauważyć, że odchylenie siły rzeczywistej F od siły optymalnej F_{opt} wyskalowane jest w jednostkach ciężaru wędrowca mg , co może być łatwo wyjaśnione. Po pierwsze, siła F działa zawsze przeciwko grawitacji podnosząc środek masy wędrowca do góry. Po drugie, jeśli ktoś waży więcej i jest w stanie wygenerować proporcjonalnie większą moc, mechaniczna sprawność powinna pozostać taka sama. Oczywiście stałą a można wyznaczyć za pomocą b oraz F_{max} . Dla $b = 4$ i $F_{max} \approx mg$, $a = 4,7$, co dobrze pasuje do eksperymentu. Oszacowanie F_{max} jest zgrubne i w praktyce przekłada się na umiejętność zrobienia przysiadu na jednej nodze; jeśli ktoś potrafi zrobić taki przysiad, to zazwyczaj wymaga to użycia pełnej siły mięśni nogi.

5. Obliczanie czasu przejścia

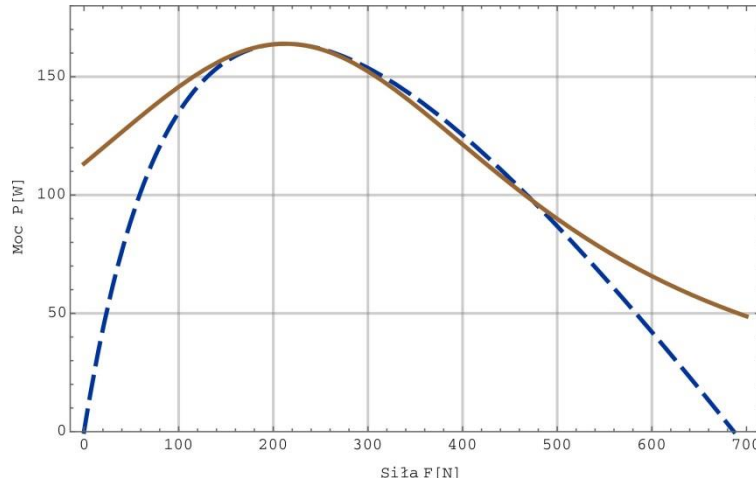
Poprzez połączenie równań (19) oraz (12) otrzymujemy

$$P = \eta P_{opt} = \frac{P_{opt}}{1 + a \left(\frac{F - F_{opt}}{mg} \right)^2} = \lambda m v^2 \cos^2 \beta + mg v \sin \beta.$$

Na potrzeby dalszej dyskusji warto przekształcić powyższe równanie do postaci

$$\frac{P_{opt}}{1 + a \left(\frac{F - F_{opt}}{mg} \right)^2} = (F_v + F_h)v, \quad (20)$$

gdzie $F_v = \lambda m v \cos^2 \beta$ oraz $F_h = mg \sin \beta$. Chociaż w rzeczywistości $F_{opt} > F_v$, możemy dość bezpiecznie założyć, że obydwie te siły są sobie równe. Przybliżenie to jest uprawnione z uwagi na szerokie maksimum funkcji P , co można zobaczyć na rys. 1.



Rys. 1. Równanie Hilla (linia przerywana). Przybliżenie wokół maksimum (linia ciągła)

Otrzymujemy więc następujące równanie

$$\frac{P_{opt}}{1 + a \left(\frac{mg \sin \beta}{mg} \right)^2} = \lambda m v^2 \cos^2 \beta + mg v \sin \beta. \quad (21)$$

Prędkość $v = L/T$, gdzie T jest czasem przejścia ścieżki o długości L na stoku nachylonym pod kątem β . Równanie to można rozwiązać ściśle

$$T = \frac{2L(1-x^2)\lambda}{gx \left(\sqrt{1 + \left(\frac{P_{opt}}{m} \right) \frac{4(1-x^2)\lambda}{g^2 x^2 (1+ax^2)} - 1} \right)}, \quad (22)$$

gdzie $x = \sin\beta = h/L$, zaś h stanowi różnicę wzniesień wyrażoną w metrach. To rozwiązanie nazwijmy *ściśle rozwiązaniem modelu*¹.

Okazuje się, że ściśle rozwiązanie modelu można uprościć. Po pierwsze założmy, że $\cos\beta = 1$, ponieważ prędkość i tak mocno zmniejsza się na stromych stokach i $\cos\beta$ nie będzie miał dużego wpływu na wynik. To daje

$$T = \frac{1}{2\eta P_{opt}} \left(mgh + \sqrt{(mgh)^2 + 4P_{opt}\eta\lambda mL^2} \right). \quad (23)$$

Po drugie, pominiemy sprawność mechaniczną η tam, gdzie znajduje się ona pod pierwiastkiem kwadratowym, ponieważ spodziewamy się, że na ogół będzie bliska 1. Końcowy wzór prezentuje się następująco

$$T = \frac{L(1+ax^2) \left(gx + \sqrt{g^2x^2 + 4\frac{P_{opt}}{m}} \right)}{2\left(\frac{P_{opt}}{m}\right)}. \quad (24)$$

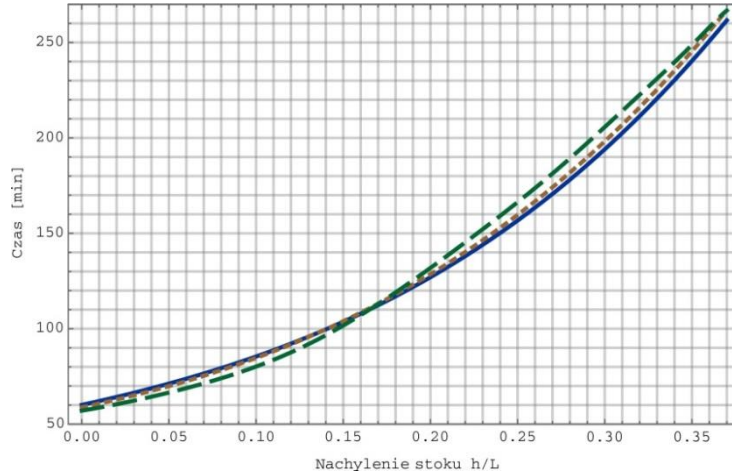
W ten sposób otrzymujemy *przybliżone rozwiązanie modelu*. Warto zwrócić uwagę, że w obydwu modelach pojawia się naturalna jednostka P_{opt}/m , czyli optymalna moc na kilogram masy ciała.

6. Wyniki

W tej części przedstawione zostaną wyniki uzyskane z obu modeli zastosowanych do opisu wędrowki turysty o masie 70 kg. Zostaną one porównane z wynikami otrzymanymi z pomocą tzw. *wzoru szwajcarskiego*, czyli wielomianu 15. stopnia dopasowanego do doświadczalnych danych. Wzór szwajcarski został opracowany, aby obliczać czasy przejść tras turystycznych w Szwajcarskich Alpach [4].

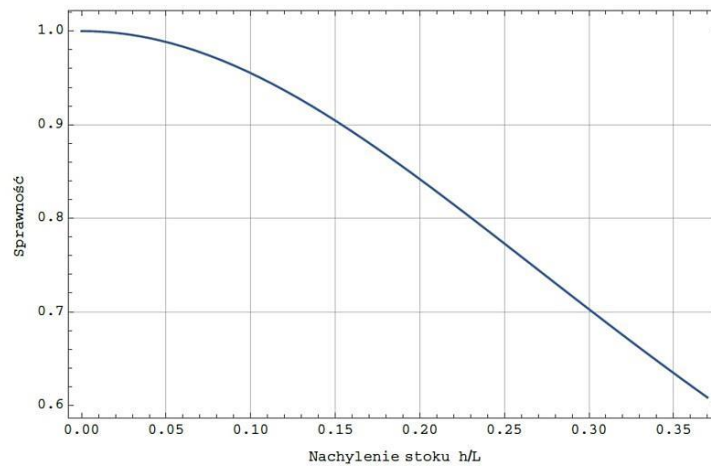
Na rys. 2 można zobaczyć, że obydwa rozwiązania modelowe dają podobne wyniki, a także dobrze przybliżają wzór szwajcarski. Co ciekawe, model przybliżony lepiej zgadza się z modelem opisanym wzorem szwajcarskim, niż ściśle rozwiązanie modelu. Błąd względny obliczonych wielkości stanowi nie więcej niż 5%. Oznacza to, że czas trwania wycieczki jesteśmy w stanie określać z dokładnością nie gorszą niż 3 minuty na każdą godzinę jej trwania. Przypomnijmy sobie, że błąd wynikający z samego przybliżenia małych kątów był rzędu pojedynczej minuty. Zatem zastosowanie prostego modelu, który nie uwzględnia skomplikowanych fizjologicznych szczegółów samego chodu człowieka, pozwala odtworzyć dane doświadczalne z zadziwiająco wysoką dokładnością. Dzięki temu modelowi możemy także lepiej zrozumieć zagadnienia natury fizycznej, stojącej za czynnością chodzenia po górach.

¹ Wyprowadziłem je, ponieważ nie dowierzałem przedstawionym dalej przybliżeniom dokonanym przez autora pracy [3], na której opiera się mój artykuł.



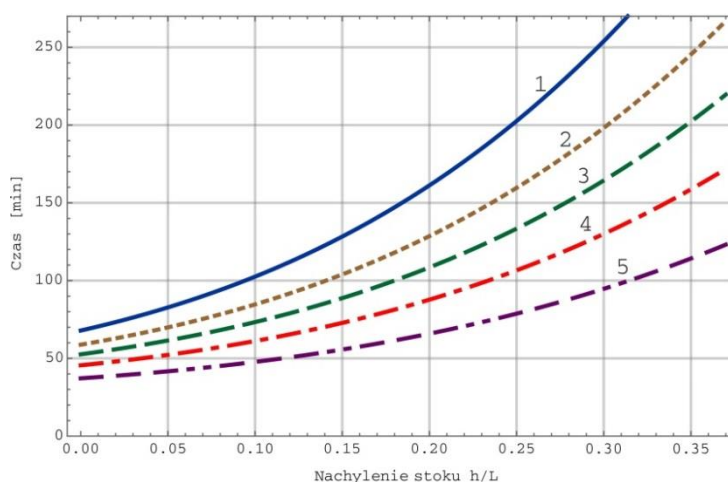
Rys. 2. Czas przejścia 1 km w funkcji nachylenia stoku. Ścisłe rozwiązanie modelu – krzywa ciągła, przybliżone – krzywa kropkowana, wzór szwajcarski – krzywa przerywana. Wykres sporządzony przy stałych $a = 4,7$, $\lambda = 4/3 \text{ s}^{-1}$ dla obydwu rozwiązań modelowych. Moc optymalna została ustalona na 120 W dla modelu przybliżonego oraz na 115 W – dla ścisłego

Drugą ciekawą wielkością, którą można obliczyć w ramach przedstawionego modelu jest zużycie energii. Rysunek 3 pokazuje, że sprawność systemu mięśniowego spada ze wzrastającym nachyleniem stoku. To oznacza, że chociaż P_{opt} jest maksymalną dostępną mocą i odpowiada optymalnej pracy organizmu, to idąc pod górę wędrowiec jest w stanie używać tylko jej pewnego ułamka. Oczywiście, im większa jest P_{opt} , tym szybciej można się wspinać. Dlatego P_{opt} może być użyta jako wygodna miara kondycji organizmu.



Rys. 3. Sprawność w funkcji nachylenia stoku (obliczona z przybliżonego rozwiązania modelu)

Jak już wyżej wspomniano, zgodność rozwiązań modelu z wzorem szwajcarskim została osiągnięta dla pewnych konkretnych wartości P_{opt} . Jednakże, gdy ktoś ma inną moc optymalną, jego czas przejścia tej samej trasy będzie inny. Omawiany tutaj model pozwala na przeskalowanie krzywej wiążącej czas przejścia z nachyleniem stoku, dla różnych wartości P_{opt} (rys. 4). Jeśli znamy moc optymalną turysty, to można przewidzieć jego czasy przejścia; wzór szwajcarski na to nie pozwala. Aby określić wartość P_{opt} , trzeba zmierzyć czas przejścia na jakiejś wzorcowej trasie o znanej długości i profilu wysokościowym². W tym celu wykorzystałem dwa podejścia w Tatrach, których szczegóły są pokazane na rys. 5 i 6.

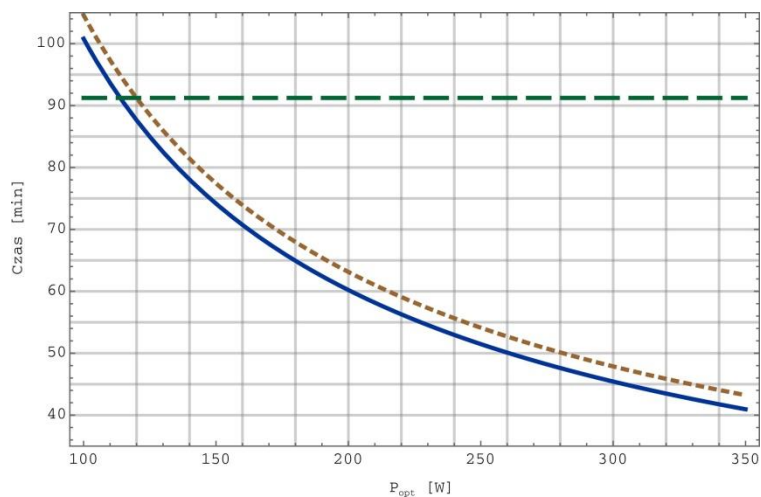


Rys. 4. Czas przejścia 1 km w zależności od nachylenia stoku dla różnych wartości P_{opt} : 90 W (krzywa 1), 120 W (krzywa 2), 150 W (krzywa 3), 200 W (krzywa 4), 300 W (krzywa 5)

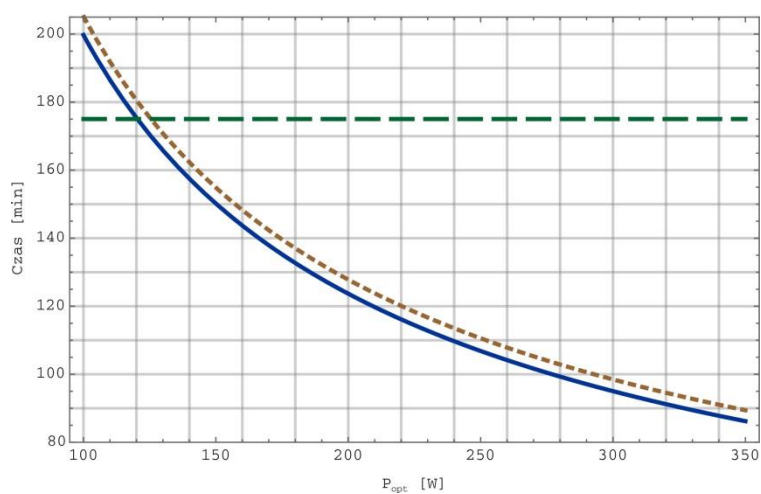
Spróbujmy określić wielkość mocy optymalnej autora artykułu. Waży on około 70 kg i na początku sezonu jest w stanie wejść na Przełęcz Między Kopami w około 55 minut, zaś na Kasprowy Wierch w 110 minut. To przekłada się na $P_{opt} \approx 240$ W. Pod koniec lata, wykorzystując wszystkie swoje siły pierwszą trasę może pokonać w 45 minut, drugą zaś w 95 minut. To oznacza, że moc maksymalna wzrosła do około $P_{opt} \approx 320$ W. Warto zwrócić uwagę, że zwiększenie mocy optymalnej o 1/3 skróciło czas wejścia raptem o 1/6. To wyjaśnia dobrze znany fakt, że poprawienie czasu o kilka minut, jest naprawdę trudnym zadaniem³.

² Szczegóły dotyczące tych wielkości można odczytać z mapy, bądź innych źródeł, np. [5].

³ Co ciekawe jednym z wymagań stawianych kandydatom na ratownika TOPR jest warunek, aby wejść na Kasprowy Wierch wspomnianą trasą w czasie równym liczbie minut nie większej niż 60 plus liczbę minut równą co do wartości wiekowi kandydata wyrażonemu w latach. Jak widać wymaga to od organizmu wyjątkowej wydolności.



Rys. 5. Czas przejścia trasy z Kuźnic na Przełęcz Między Kopami przez Boczań w funkcji mocy optymalnej. Ścisłe rozwiązanie modelu (linia ciągła), przybliżone (linia kropkowana) oraz wzór szwajcarski (linia przerywana). Dla tej trasy $h = 550$ m, zaś $L = 3200$ m



Rys. 6. Czas wejścia na Kasprowy Wierch z Kuźnic. Ścisłe rozwiązanie modelu (linia ciągła), przybliżone rozwiązanie (linia kropkowana), wzór szwajcarski (linia przerywana). Ta trasa ma dwie główne części różniące się nachyleniem: z Kuźnic na Myślenickie Turnie – $h_1 = 360$ m, $L_1 = 4000$ m oraz z Myślenickich Turni na szczyt Kasprowego Wierchu – $h_2 = 630$ m, $L_2 = 3500$ m

Gdy znana jest wartość P_{opt} , to łatwo policzyć także zużycie energii. W omawianym przypadku jest to około 680 kcal dla pierwszej trasy na począt-

ku sezonu oraz 740 kcal na końcu. W tych wyliczeniach wzięto pod uwagę, że sprawność zamiany energii chemicznej na mechaniczną w ludzkich mięśniach wynosi tylko około 25%.

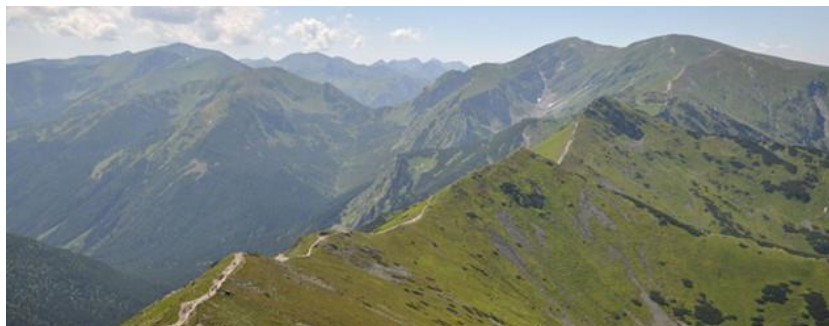
7. Podsumowanie

Przedstawiony model odwróconego wahadła został uogólniony na stoki o niezerowym nachyleniu. Następnie za pomocą równania Hilla, został dostosowany do obliczania czasu przejścia na górskich ścieżkach. Okazało się, że uzyskane rezultaty bardzo dobrze przybliżają te, obliczone dzięki dopasowaniu do danych eksperymentalnych wzorowi szwajcarskiemu (błąd względny to mniej niż 5%). Co więcej, model pozwala na przewidywanie czasów przejść osób o różnym stopniu przygotowania fizycznego. Co równie ważne, przedyskutowany model zapewnia nam wgląd w fizykę kryjącą się za wchodzeniem pod górę.

Co jest jeszcze do zrobienia? Można próbować stworzyć model schodzenia – wzór szwajcarski opisuje także stoki o ujemnym nachyleniu. Można także korzystając z artykułów naukowych z dziedziny fizjologii [6, 7] zgłębić znaczenie parametrów równania Hilla.

Literatura

- [1] Chris Davis. The energy cost of walking: www.idlex.freeseerve.co.uk/idle/evolution/human/early/walking.html
- [2] Wzory opisujące wahadło fizyczne: [en.wikipedia.org/wiki/Pendulum_\(mathematics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Pendulum_(mathematics))
- [3] Ulrich Leuthäusser. About walking uphill: time required, energy consumption and the zigzag, sigmadewe.com/fileadmin/user_upload/pdf-Dateien/Bergaufgehen_engl.pdf
- [4] Arkusz kalkulacyjny służący do liczenia czasów przejść w Alpach Szwajcarskich: <http://www.wandern.ch/de/wandern/vorbereitung/karten-und-hilfsmittel>
- [5] Strona internetowa z parametrami tras wycieczkowych w polskich górach: www.szlaki.net.pl/
- [6] Informacje o proporcjach ciała: www.exrx.net/Kinesiology/Segments.html, www.anatomy4sculptors.com/hpc/
- [7] Informacje o szybkości kontrakcji mięśni: <http://www.coheadquarters.com/PennLibr/MyPhysiology/myocell/fig.myo.10.htm>





Szkolne zadania na przestrzeni ostatnich stu lat

Zofia Gołqb-Meyer

O potrzebie rozwiązywania zadań

W 2003 roku Witalij Łazarewicz Ginzburg został wyróżniony Nagrodą Nobla za wyniki dotyczące nadprzewodnictwa i nadciekłości. Z tej okazji wypowiedział się na temat swoich czasów szkolnych i roli zadań w osiągnięciu biegłości i erudycji naukowej:

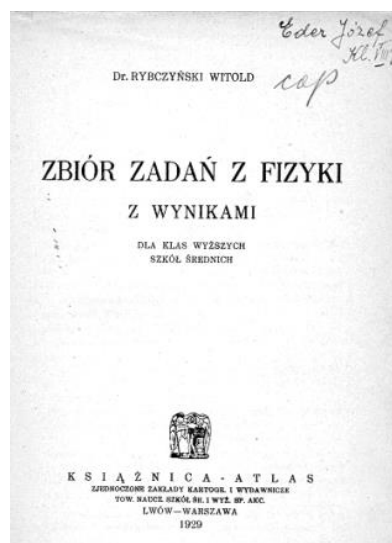
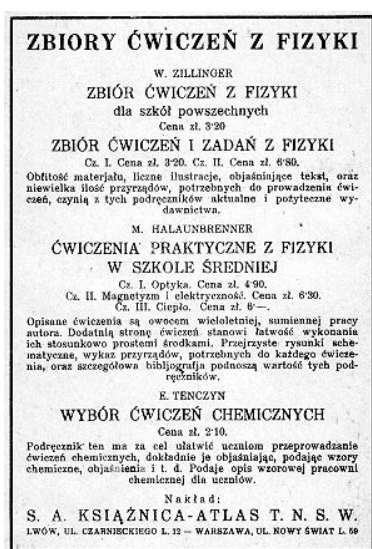
„(...) mogę wymienić (...) wymagania wobec szkoły, szczególnie ważne dla przyszłego fizyka (...) – szkoła powinna zapewnić automatyzm w zakresie elementarnej matematyki. Mam na myśli umiejętność szybkiego liczenia, nawyki w zakresie arytmetyki, algebry, trygonometrii, wykorzystania podręcznych komputerów. To osiąga się treningiem plus koniecznością korzystania z nich. Uczniów nudzi odmienianie i koniugowanie, nauka zasad gramatyki, rozwiązywanie wiele razy prawie jednakowych zadań i dokonywanie przekształceń, które już w swej istocie są oczywiste. Dlatego właśnie, gdy w ciągu trzech miesięcy opanowałem materiał trzech lat, rozwiązałem, powiedzmy, 100 zadań zamiast 1000, które rozwiązałbym w szkole. Rezultat tego – brak nawyków automatyzmu – odczuwam przez całe życie. **Dlatego radzę nie oszczędzać czasu przez zmniejszanie liczby zadań, przykładów, ćwiczeń. To fałszywa oszczędność.** Lepiej już byłoby racjonalnie skracać program, nie wprowadzając do niego wielu elementów tego, co i tak będzie wykładane na studiach” (czytaj więcej *Foton* 83, 2003, a także wypowiedzi W. Ginzburga na stronie noblowskiej).

Rozwiązywanie zadań, choć czynność wręcz znienawidzona przez większość uczniów, jest jednak elementem niezbędnym w nauczaniu, w uchwyceniu przez uczniów „metody naukowej”, rozumowania odmiennego od tego stosowanego w życiu codziennym. Na szczęście nie wszyscy uczniowie nienawidzą rozwiązywania zadań. Są tacy, którzy jak Feynman pasjonowali się tym. Wystarczy wspomnieć opis szkolnych zawodów z fizyki, w których Feynman brał udział. Opisał jak szybko rozwiązał klasyczne zadanie ze zgubionym przez wioślarzy kapeluszem. Mamy też zachowane listy Ireny Curie do matki, w których raportuje swoje trudności i sukcesy w rozwiązywaniu zadań.

Zadania z pierwszej połowy XX wieku

Typowym zadaniom z tego okresu „przyprawiono gębę”, że są abstrakcyjne, że nudne i dotyczące wydarzeń wymyślonych na potrzeby lekcji fizyki, a niemające nic wspólnego z życiem.

Starsi czytelnicy pamiętają zapewne jeszcze przedwojenny zbiór zadań Zyllingera. Były to szeregi krótkich zadań z rozmaitych działów fizyki ułożone w porządku wzrastającego stopnia trudności. Na końcu zbioru znajdowały się krótkie liczbowe odpowiedzi. Zamiast zadań z Zyllingera przytoczę zadania z innego popularnego przed II wojną światową zbioru Witolda Rybczyńskiego *Zbiór zadań z fizyki z rozwiązaniami*, 1929, Książnica Atlas. Witold Rybczyński był utalentowanym fizykiem i z powołania nauczycielem.

**Zad. 97, s. 11**

Jaka jest długość wahadła sekundowego w Warszawie? ($g = 981.22 \text{ cm/s}^2$).

Zad. 325, s. 33

Bezwzględna wilgotność powietrza w Polsce w zimie (-4°C) wynosi 3 g/m^3 , a w lecie ($+18^\circ\text{C}$) 12 g/m^3 . Kiedy powietrze w Polsce jest względnie suchsze, w zimie czy w lecie? (Wilgotność bezwzględna powietrza nasyconego parą wynosi w temp. -4°C 3.7 g/m^3 , a w temp. $+18^\circ\text{C}$ 15.3 g/m^3).

Zad. 331, s. 33

Zator lodowy wysadzono dynamitem; ktoś, znajdujący się na rzece w odległości 3.6 km, uczuje najpierw wstrząśnienie, a potem usłyszy huk. W jakim odstępie czasu odbierze te wrażenia? (Spółczynnik sprężystości lodu = $3 \cdot 10^{10} \text{ dyn/cm}^2$ – w zadaniach zachowano oryginalną pisownię, używano wtedy systemu jednostek cgs).

Zadania są krótkie, jasno sformułowane i trudno dwa ostatnie zadania uznać za niemające odniesienia do sytuacji życiowej (*Foton* 77, 2002, s. 41).

Standardowa metoda rozwiązywania nakazywała wypisanie danych, szukanych, uzgodnienia jednostek i rozwiązanie zadania na symbolach. W końcowym wzorze należało wstawić dane. Metoda ta sprowadzała się do rutynowej procedury i w większości przypadków prowadziła do sukcesu, jakim było otrzymanie poprawnego wzoru. Część uczniów lubiła takie zadania, ponieważ trening przynosił pozytywne dla ucznia rezultaty, czyli dobre stopnie.

Skąd brał się „hejt” takich zadań? Powód pierwszy, to trudność dla ucznia z przełożeniem sytuacji fizycznej na język symboli, na wypreparowanie z sytuacji życiowej (wystrzał, huk itp.) „czystego” opisu zjawiska fizycznego (źródło fali akustycznej, rozchodzenie się fali). Następną trudność to interpretacja wyniku. **Te wymienione trudności to istotne trudności poznawcze.** Mogą być pokonane w wyniku przerobienia i przedyskutowania z nauczycielem wielu zadań. Metodą **omijania** tych trudności są zadania dotyczące abstrakcyjnych „ciał o masie m ”, bezmasowych lin, krążków itp. Tego typu zadania są łatwiejsze do bezrefleksyjnego i algorytmicznego rozwiązywania. Dyskusja wyniku to etap, który był, a może i dalej jest, powszechnie zaniedbywany w nauczaniu.

Nie jest przez nauczycieli uwzględniany fakt, że rozmaici uczniowie potrzebują nieraz dużo więcej czasu, niż koledzy, na asymilację, uwewnętrznienie procesu, którego przedmiotem jest zadanie. Dochodzi do braku zrozumienia zadania, do irytacji i zniechęcenia. Pomocne może być wykonywanie na danych liczbowych kolejnych etapów zadania. To ma sens przy rozwiązywaniu zadań z początkującymi uczniami i dyskusowaniu nowych zagadnień. Już prawie od półwiecza w amerykańskich podręcznikach przykładowe zadania tak są rozwiązywane. Jest tu uwzględniony fakt, iż uczący się nie rozumują jeszcze formalnie (według Piageta).

Ale tak, jak pospieszne rozwiązywania zadań w starym stylu (dane, szukane...) okazały się dla większości uczniów nieskuteczne, tak styl prowadzenia ucznia za rękę przez kolejne etapy zadania zabija inicjatywę i nie daje uczniowi szansy na ogląd całości i samodzielnego budowania strategii rozwiązania. Rozbicie zadania na etapy i prowadzenie ucznia za rękę może prowadzić do sytuacji, w której uczeń wykonując kolejne polecenia czy pośrednie obliczenia traci z pola widzenia całość problemu. Tym razem dotyczy to dotkliwie zdolniejszych uczniów, sprawnych w myśleniu formalnym.

Przykłady współczesnych zadań

(Małopolski Konkurs z Fizyki dla uczniów gimnazjów województwa małopolskiego w roku szkolnym 2013/2014. Etap wojewódzki)

Zadanie – obraz w zwierciadle

Naprzeciwko zwierciadła wklęsłego, na głównej osi optycznej w odległości 90 cm, ustawiono przedmiot. Promień krzywizny zwierciadła wynosi 40 cm.

- a) Wykonaj konstrukcje obrazu przedmiotu otrzymanego w tym zwierciadle w skali 1:10. Nie zapomnij zaznaczyć na rysunku niezbędnych wielkości.
- b) Sprawdź wykonując obliczenia, czy obraz otrzymany w tym zwierciadle jest tej samej wielkości, co przedmiot. Wybierz cechy tego obrazu.

prosty	odwrócony	pozorny	rzeczywisty
--------	-----------	---------	-------------

Punktacja zadania 0–10 pkt

lp.	Treść	Punktacja	Punkty uzyskane
a	Zachowanie skali	1	
	Wyznaczenie ogniska zwierciadła	1	
	Zastosowanie symbolu zwierciadła	1	
	Konstrukcyjne wyznaczenie obrazu w zwierciadle	2	
b	Podanie cech obrazu: rzeczywisty, odwrócony	1	
	Zastosowanie zależności $\frac{1}{f} = \frac{1}{x} + \frac{1}{y}$ dla zwierciadła	1	
	Obliczenia y dla zwierciadła	1	
	Zastosowanie zależności $p = \left \frac{y}{x} \right $	1	
	Wyciągnięcie wniosku z obliczeń i stwierdzenie: obraz jest pomniejszony	1	
Razem		10	

Komentarz: Powyższe zadanie jest w postaci poleceń do kolejnego wykonywania. Wolę sformułowanie, w którym na samym początku podany jest cel opisywanego doświadczenia. W stylu np. „celem zbadania obrazu uzyskiwanego w zwierciadle wklęsłym wykonano doświadczenie... Napisz, jaki obraz uzyskano, to jest podaj jego cechy i miejsce powstania. W tym celu wykonaj stosowne obliczenia oraz konstrukcje powstawania obrazu w skali 1:10”.

Zadanie imitujące pomiar

Uczniowie mieli za zadanie wyznaczyć gęstość ołowiu. Do dyspozycji mieli ołowianą bryłkę, siłomierz oraz naczynie z podziałką objętości, w którym była woda o gęstości ρ_w . Aby wyznaczyć gęstość bryłki skorzystali z prawa Archimedesesa.

- a) Zapisz w punktach czynności jakie powinni byli wykonać uczniowie w czasie przeprowadzania doświadczenia oraz zaproponuj stosowną tabelkę do zapisywania pomiarów.
- b) Wyprowadź wzór, z którego uczniowie obliczą gęstość bryłki w tym doświadczeniu.
- c) Wymień czynniki mające wpływ na dokładność wyznaczenia gęstości ołowiu.

Punktacja zadania 0–11 pkt

lp.	Treść	Punktacja	Punkty uzyskane
a	Pomiar objętości bryłki w naczyniu z podziałką	1	
	Zawieszenie bryłki ołowiu na siłomierzu w powietrzu i odczytanie wartości na siłomierzu	1	
	Zanurzenie całej bryłki ołowiu w wodzie i odczytanie wartości na siłomierzu	1	
	Kilkakrotne dokonanie pomiarów i zapisanie ich w tabeli	1	
	Zaproponowanie tabelki z pomiarem objętości i wartości siły	1	
b	Zapisanie $m_b = \rho_b \cdot V_b$ lub $m_b = \frac{F_c}{g}$	1	
	Zapisanie $F_c - F_w = F_s$	1	
	$F_w = \rho_w \cdot V_b \cdot g$	1	
	Połączenie i przekształcenie wzorów $\rho_b = \frac{F_s - \rho_w \cdot V \cdot g}{V \cdot g}$	1	
c	Niedokładność odczytu wartości siły	1	
	Niedokładność odczytu objętości	1	
Razem		11	

Komentarz: W tym zadaniu poleca się uczniom podanie procedury pomiarowej, a dopiero potem wyprowadzenie odpowiedniego wzoru. Powinno być raczej odwrotnie: najpierw uczeń wyprowadza wzór, a następnie zastanawia się, jak zaplanować pomiar, by móc z tego wzoru skorzystać.

Zadanie – nowa dla ucznia sytuacja

Fletnia Pana – instrument muzyczny zaliczany do grupy instrumentów dętych drewnianych. Składa się z drewnianych rurek z jednej strony zamkniętych, ułożonych w jednym lub dwóch rzędach. Dźwięki z tego instrumentu wydobywa się, dmuchając w krawędzie otworów rurek. W Polsce fletnia była popularna w okresie renesansu i nazywano ją multanką.



- Opisz krótko mechanizm powstawania dźwięku w rurkach oraz wyjaśnij, dlaczego w tym instrumencie rurki mają różną długość.
- Oblicz częstotliwość fali dźwiękowej powstałej w rurce o długości 20 cm. Wartość prędkości dźwięku w powietrzu wynosi $340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Punktacja zadania 0–6 pkt

lp.	Treść	Punktacja	Punkty uzyskane
a	Na skutek drgania słupa powietrza powstaje fala stojąca	1	
	Rodzaj dźwięku zależy od długości rurki	1	
b	Zastosowanie zależności $v = \lambda \cdot f$	1	
	Zauważenie, że długość fali to 4 długości rurki	1	
	Zamiana cm na m	1	
	Zapisanie pełnej odpowiedzi słownej zawierającej poprawny wynik wraz z jednostką (425 Hz)	1	
Razem		6	

Komentarz: Autorzy zadania wykorzystują okazję, by uczniów nauczyć czegoś nowego. Przyznają jeden punkt za zmianę jednostek, czyli tyle samo, ile za istotną uwagę dotyczącą relacji między długością fali a długością rurki.

Przykład błędnego sformułowania zadania

(Konkurs dla uczniów szkół gimnazjalnych, Kielce 2015)

Opór elektryczny przewodu nie zależy od (wskaż poprawne odpowiedzi):

- długości przewodu, rodzaju materiału, z którego jest wykonany, pola przekroju poprzecznego;
- kształtu przewodu, długości przewodu, temperatury przewodu;
- natężenia i napięcia prądu płynącego w przewodniku;
- długości przewodu, kształtu przewodu, pola przekroju poprzecznego;
- długości przewodu, temperatury przewodu.

W kluczu odpowiedzi autor wskazuje na poprawność odpowiedzi b), c) i d).

Po interwencji PTF wicekurator przysłał wyjaśnienie: W zadaniu należało wskazać, od czego nie zależy opór elektryczny. Powszechnie przyjęta jest zasada, że jeżeli w zestawie określeń znajduje się jedno określenie, które czyni to zadanie nieprawdziwym to znaczy, że cały podpunkt należy uznać za niepoprawny.

Powyższa uwaga pokazuje ignorancję i arogancję kuratorium, które narzuca własne reguły logiki.

Inne fatalne zadanie z tego samego konkursu: Wskaż błędne opisy prawa Ohma:

- $I = \frac{U}{R}$, czyli natężenie prądu płynącego przez przewodnik jest wprost proporcjonalne do napięcia między końcami przewodnika, a odwrotnie proporcjonalne do oporu elektrycznego przewodnika.

- b) $U = IR$, czyli napięcie między końcami przewodnika jest wprost proporcjonalne do natężenia prądu płynącego przez przewodnik i oporu przewodnika.
- c) $R = \frac{U}{I}$, czyli opór elektryczny przewodnika jest wprost proporcjonalny do napięcia między końcami przewodnika, a odwrotnie proporcjonalny do natężenia prądu płynącego przez przewodnik.

Zadania problemowe

Od dawna zauważono, że uczniów nudzą zadania dotyczące ruchów punktów masowych bez tarcia, krążków, dźwigni, rzutów bez tarcia, tłoków z idealnym gazem, obwodów elektrycznych. Uczniowie nie są zainteresowani problemami jako takimi, wynik zadania „nie prosi się o interpretację”, ponieważ dotyczy wyidealizowanej, modelowej, (aby była łatwiejsza, czyli możliwa do prostego ilościowego opisu) sytuacji. Tak zwane zadania problemowe to recepta na nudne, zamknięte zadania tradycyjne.

Wiadomo też, że uczniowie nie są biegli w przekształceniach algebraicznych, w prostych rachunkach, nie lubią zmagać się z jednostkami. W rezultacie tego, przeciętni uczniowie (nie o tych najsłabszych mowa) rozwiązują wypreparowane z kontekstu fizycznego zadania, używając często z pozytywnym skutkiem, żonglerki wzorami jako pewnego algorytmu. I nudzą się przy tym, a ich wiedza fizyczna niewiele wzrasta. Słabsi uczniowie nie potrafią dopasować właściwego algorytmu, działają na oślep bez zrozumienia, z nędznym skutkiem, za to ze wzrastającą wrogością do przedmiotu.

Aby temu zaradzić, proponuje się zadania problemowe (kopalnią jest np. znany stary zbiór zadań Kruczka), jakościowe, dotyczące sytuacji wziętych z życia. I tak zadania mogą dotyczyć sytuacji interesujących ucznia, są jakościowe i nie wymagają znajomości algebry, nie wymagają wykonywania rachunków i, co najważniejsze, są zrozumiałe, bo wyrażone językiem codziennym. Trzeba sobie zdać sprawę, że takie zadania nie są równoważne zadaniom klasycznym i nie mogą ich zastąpić. Omówimy parę przykładowych zadań Paula Hewitta (publikowanych w *The Physics Teacher*).

Jak pisze Hewitt we wstępie do swojego podręcznika *Fizyka wokół nas* „fizyka jest nauką o prawach natury i ponadto jest tak elegancka, że potrafi je opisać starannym językiem matematyki”. Jak pokazuje praktyka, wielu uczniów i studentów koncentruje wysiłek na opanowaniu trudnego języka matematycznego fizyki tak, iż umyka im sens fizyczny. To błąd. Hewitt chce, by uczniowie i studenci nabywali najpierw wycucia pojęć fizycznych. To wycucie Hewitta przedkłada nad stronę rachunkową. Stara się najpierw opisywać zjawiska, pojęcia językiem codziennym.

Długoletnia praktyka podpowiada Hewittowi, jakie są uporczywe „błędne pojęcia” uczniów, powszechne błędy w rozumowaniach; po prostu, Hewitt ma

rozpoznane błędy poznawcze swoich uczniów, którzy nie różnią się przecież od innych uczniów.

Hewitt poprzez język, dobór przykładów i wybór dystraktorów w zadaniach stara się prostować błędne koncepcje, chce uczniom pomóc w wycuciu, w rozumieniu sedna zjawisk. Chce im wreszcie pomóc w zapamiętywaniu trudniejszych rzeczy. Cały czas chodzi mu o to, by ucznia, czytelnika pobudzić do myślenia. Stosuje w tym celu tricki dydaktyczne. Najczęstszym i najprostszym jest zadawanie intrygujących pytań, często brzmiących jak zagadki.

Zadania proponowane przez Hewitta można podzielić na grupy (a zawsze chodzi też o ułatwienie zapamiętania):

1. zadania informujące;
2. zadania pogłębiające;
3. zadania testujące;
4. zadania pobudzające do własnych badań.

Większość zadań jest pomyślana jako fragmenty scenariuszy lekcji. Hewitt podpowiada nauczycielowi, jakie uczniom przedstawić problemy i jak z nimi następnie je dyskutować.

Zadania informujące

W wielu przypadkach w nauczaniu musimy się ograniczyć do podania uczniom pewnej wiedzy. Mam tu na myśli takie przypadki, gdy nie można odwołać się do uprzedniej wiedzy uczniów, wywieść jej z czego innego. Dotyczy to zarówno praw fenomenologicznych, niełatwo sprawdzalnych w warunkach szkolnych, jak i praw fundamentalnych. Zadania formułuje Hewitt w formie intrygującego pytania, zgadywanki. Oto przykład:

Promieniowanie termiczne (TPT **40**, April 2002, s. 252)

Które z poniższych przedmiotów wysyła ciągłe promieniowanie elektromagnetyczne?:

- a) nieświecąca żarówka;
- b) gorący kaloryfer;
- c) porcja lodów;
- d) żaden;
- e) wszystkie.



Odpowiedź:

Prawidłowa odpowiedź e).

Wszystkie przedmioty o dowolnej temperaturze wysyłają promieniowanie elektromagnetyczne. Częstość promieniowania zależy od temperatury. Prawo, które ten fakt opisuje to $\bar{f} \sim T$, gdzie \bar{f} jest częstotliwością maxi-

num emitowanego widma, T temperaturą bezwzględną emitującego ciała. Ciała wyszczególnione mają stosunkowo niską temperaturę, a zatem emitują głównie promieniowanie o niskich częstotliwościach - podczerwone. Gdyby ich temperatura wzrosła emitowane promieniowanie mogłoby stać się nawet światłem widzialnym.

Wszystkie przedmioty, ty i ja, wszystko, zarówno emituje jak i absorbuje promieniowanie elektromagnetyczne. Kiedy ciało emituje (wysyła) więcej promieniowania niż go absorbuje (pochłania), jego temperatura zaczyna spadać. W przypadku odwrotnym - temperatura rośnie.



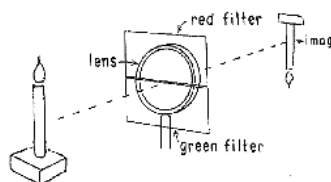
Zadania pogłębiające rozumienie

Połowa soczewki (TPT 37, February 1999, s. 104)

Na białej ścianie otrzymano obraz świeczki za pomocą soczewki skupiającej. Jak zmieni się obraz, jeśli górną połowę soczewki przysłoniemy filtrem czerwonym, a dolną zielonym?

Odpowiedź:

Obraz soczewki będzie żółty. Każdy punkt obrazu powstaje przez promienie przechodzące przez wszystkie części soczewki. Czerwony z zielonym, gdy nachodzą na siebie, uśredniają się do żółtego.



Zadanie ma sprawdzić znajomość mieszania kolorów oraz zrozumienie procesu powstawania obrazu w soczewce skupiającej. Aby oddzielić te dwie rzeczy, proponujemy test w wersji z przysłoniętą do połowy soczewką.

Na ekranie powstaje obraz rzeczywisty utworzony przez soczewkę skupiającą. Gdy przysłoniemy dolną połowę soczewki na ekranie powstanie:

- dolna część obrazu;
- górną część obrazu;
- obraz nieostry;
- obraz bardziej szary.

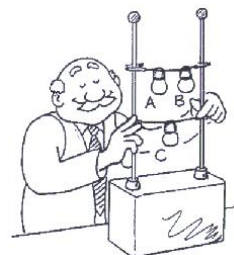
Zadania testujące

Trzy żarówki (TPT 40, March 2002, s. 184)

Trzy identyczne żarówki o oporze 12Ω są podłączone do 12-voltowego samochodowego akumulatora, tak jak pokazuje ilustracja.

Jakie jest natężenie prądu płynącego przez każdą żarówkę?

1. Jaki jest spadek potencjału (napięcie) na każdej z żarówek?
2. Jaka jest moc rozpraszana przez każdą żarówkę?
3. Czy moc rozpraszana przez żarówkę C zmieni się, jeśli żarówka A jest wykręcona?
4. Co stanie się z mocą rozpraszaną przez żarówkę A jeśli C jest odkręcona?



Tu nie ma żadnego tricku



Odpowiedź:

1. Z prawa Ohma wynika, że przez żarówkę A i B płynie prąd o natężeniu 0,5 A, zaś przez żarówkę C prąd o natężeniu 1,0 A.
2. Napięcie na żarówkach A i B wynosi 6 V na każdej (na obu razem 12 V), zaś spadek potencjału na żarówce C wynosi 12 V.
3. Moc wydzielana przez żarówki A i B to 3 W, na żarówce C 12 W.
4. Bez zmian.
5. Bez zmian.

Bądź pewny, że rozumiesz wyniki, zanim zabierzesz się dalej do nauki o prądach elektrycznych.



Komentarz:

Powyższy przykład jest typowym zadaniem testującym. Dzięki zabawnej ilustracji i dobremu sformułowaniu, staje się dla uczniów bardziej akceptowalny, niż równoważny „suchy” problem. Dla uczniów liczy się „opakowanie”.

Zadania pobudzające do samodzielnych badań

Dwie świece, konwekcja (TPT 39, January 2001, s. 22)

Krótką i długą świeczkę palą się w wysokim otwartym słoiku. Przykrywamy słoik wieczkiem. Która ze świeczek zgaśnie pierwsza?

- a) krótka;
 - b) długa;
 - c) zależy od przypadku, 50% - raz jedna, raz druga.
- Uzasadnij swoją odpowiedź.



Odpowiedź:

Odpowiedź b), wyższa świeczka zgaśnie pierwsza. Dlaczego? Ponieważ paląca się świeczka zużywa tlen i wydziela dwutlenek węgla CO_2 , który to ma większą gęstość niż powietrze i można by sądzić iż opada na dno słoja i zgasi niższą. Ale dwutlenek węgla jest gorący, ma wtedy mniejszą gęstość niż powietrze - zbierze się u góry słoja i zgasi dolną świeczkę.



Czy można sobie wyobrazić większy słoć, w którym pierwsza zgaśnie krótsza świeczka?

Komentarz

Wprawdzie uczeń bez wykonania doświadczenia i wiedzy o gęstości powietrza i dwutlenku węgla oraz wiedzy na temat zależności gęstości od temperatury nie może rozstrzygnąć definitywnie, która odpowiedź jest poprawna, lecz może postawić hipotezy i przewidzieć ich skutki.

Konkluzje

Zadania problemowe typu tych przedstawionych powyżej, powinny być nieodłącznym narzędziem nauczyciela jako problemy wprowadzające w nowe zagadnienia, pogłębiające, utrwalające i również sprawdzające rozumienie i wiedzę.

Wymagają one od nauczyciela znacznie większej wiedzy doświadczenia niż zadania klasyczne. Uczniowie łatwo mogą sprowadzać problem zamiast ku uproszczeniom, ku pełnemu, realnemu problemowi. A ten jest trudniejszy do rozwiązywania. Użycie potocznego języka „co lepiej?”, „czy dobry pomysł”, a nawet typu „więcej”, „nieco więcej” nie jest przez uczniów jednoznacznie zrozumiałe, uczniowie dociekają, co autor miał na myśli.

Zadania problemowe muszą być dyskutowane na lekcji „do dna”, inaczej mogą pozostawić po sobie chaos poznawczy. Główne pułapki tkwiące w tych zadaniach to niejednoznaczność interpretacji zadania przez różnych rozwiązujących i autorów zadania. Reakcja uczniów rozwiązujących zadania Hewitta sugeruje, iż otoczka rysunkowo-werbalna uczniom się podoba, zachęca ich do atakowania problemu, ułatwia pamiętanie. Aby to stwierdzić, z pewnością potrzebne są długofalowe badania.

Z Turnieju Młodych Fizyków 2015**2. Pióropusz dymu**

Gdy zapaloną świecę nakryjemy przezroczystym szklanym naczyniem w rodzaju zlewki, płomień świecy zgaśnie, a w górę będzie się unosił pióropusz dymu. Zbadaj obserwowany pióropusz dymu stosując różne powiększenia optyczne.

5. Para baloników

Dwa gumowe baloniki, częściowo wypełnione powietrzem, połączono przewodem z zaworem. Stwierdzono, że w zależności od pierwotnych objętości baloników powietrze przepływa w jedną albo w drugą stronę. Zbadaj to zjawisko.

16. Mokry i ciemny

Ubrania, gdy zostaną zmoczone, mogą wyglądać ciemniej lub zmienić kolor. Zbadaj to zjawisko.

17. Filiżanka kawy

Fizycy lubią pić kawę, jednakże przejście między laboratoriami z filiżanką kawy bez jej rozlania nie jest łatwe. Zbadaj jak kształt filiżanki, prędkość poruszania się krokami oraz inne parametry wpływają na możliwość rozlania kawy podczas takiego przejścia.

Niestety niewiele szkół, i to zawsze tych samych, zgłasza drużyny do udziału w turnieju.

Z Ogólnopolskiego Konkursu Nauk Przyrodniczych

Świetlik, www.swietlik.edu.pl



Przechłodzona woda

W jakiej temperaturze zamarza woda? Na to pytanie zna odpowiedź nawet uczeń szkoły podstawowej. Czy na pewno?

Poniższe doświadczenie najlepiej wykonać w mroźny zimowy dzień, gdy temperatura powietrza nie jest wyższa niż -15°C . Jeśli jednak na zewnątrz nie jest aż tak mroźno, zamiast balkonu lub parapetu można wykorzystać zamrażalnik.

Przygotuj 2 jednakowe plastikowe butelki wody mineralnej niegazowanej, oryginalnie zamknięte

Zadanie

1. Wstaw obie butelki z wodą do zamrażalnika, w którym jest około -18°C , a jeśli na zewnątrz panuje odpowiednio niska temperatura, wystaw je na balkon lub za okno. **Butelki powinny stać pionowo.**
2. Odczekaj co najmniej 2 godziny, jednak nie dłużej niż 4.

Eksperyment

1. **Bardzo ostrożnie** wyjmij jedną butelkę i postaw ją na stole. Uważaj, aby jej nie zgniatać ani nią nie wstrząsać!
2. Nie dotykając butelki, sprawdź czy jest w niej lód.
3. Jeśli w butelce jest lód, zaobserwuj jego strukturę, a do wykonania eksperymentu użyj drugiej butelki z wodą.

4. Jeśli w butelce znajduje się sama woda, podnieś butelkę ponad stół i energicznie uderz nią w blat stołu. Obserwuj, co się stanie w butelce.

Obserwacja

1. Co się stało z wodą w butelce po uderzeniu butelką w stół?
2. Od której strony lód zaczął wypełniać butelkę?

Komentarz

Temperatura wody pozostawionej na kilka godzin w zamrażalniku spada poniżej 0°C , czyli poniżej temperatury krzepnięcia. Jednak w zamkniętej butelce z wodą o temperaturze około 0°C i poniżej lód się nie tworzy. Woda ulega **przechłodzeniu** poniżej temperatury krzepnięcia. Taki stan jest jednak bardzo nietrwały, tzn. wystarczy jakieś zaburzenie (np. uderzenie butelką w stół), aby rozpoczęła się gwałtowna krystalizacja wody – czyli jej krzepnięcie (przemiana w lód).

W idealnych warunkach wodę można przechłodzić nawet do -40°C !

W wypadku bardzo młodych uczniów prowadzenie krok po kroku jest jak najbardziej wskazane. Cieszy fakt, że coraz więcej szkół zgłasza uczniów do udziału w konkursie.

Zadania narracyjne

W celu zainteresowania uczniów zastosowaniem fizyki do problemów życia codziennego wymyśla się zadania narracyjne. Polegają na tym, że pewna narracja wyrażona w języku codziennym opisuje jakieś zjawisko, czy wydarzenie z życia codziennego. Takie jest też zadanie o fletni pana. Takim może być na przykład ruch pociągu *Pendolino*. Do narracji dołącza się ogólnodostępne dane techniczne pociągu i fragmenty rozkładu jazdy. Z narracją wiąże się parę zadań z różnych działów fizyki.

Uczeń powinien sam wyłuskać z narracji i podanych danych, te które są w zadaniu istotne. Tego typu zadania sprawdzają również umiejętność czytania ze zrozumieniem i wybierania z tekstu istotnych wiadomości. Mają uczyć rozróżnienia języka potocznego od naukowego. Czy dzisiejsi uczniowie, którzy mają trudności ze skupieniem uwagi na dłuższym tekście polubią takie zadania?

Zadania testowe

Zadania testowe są już powszechnie stosowane na wszystkich szczeblach nauczania. Mają zapewnić obiektywizm ocen uczniów i ułatwić porównywanie ich osiągnięć. Zostały wymyślone ku wygodzie uczących, poprawiających czasami nawet setki zadań. I choć nie dają możliwości śledzenia toku rozumowania uczniów, to dobrze sformułowane spełniając ważną rolę nie tylko w diagnostyce

ce postępów wiedzy uczniów, ale zastosowane w odpowiednich momentach i w odpowiedniej kolejności budują kolejne kroki w metodzie naprowadzania uczniów na rozumienie nowych pojęć i poznawanie nowych zjawisk. Gdzie tkwią pułapki? Otóż łatwo jest konstruować złe zadania. Główne błędy zwykle tkwią w użyciu niestosownych dystraktorów i braku ścisłości sformułowań. Autorzy zadań z obawy o posądzenie o plagiat zmieniają „nieznacznie” oryginalne czy klasyczne zadania, w czego efekcie powstają błędy, na przykład niezyciowe dane. Testy to jedno z pól, na których dochodzi do degeneracji słusznych idei. Za przykład niech posłużą cytowane zadania z konkursu w Kielcach. Na szczęście do dyspozycji nauczycieli jest sporo wartościowych banków zadań na wszystkie szczeble nauczania. Jako przykład możemy polecić zadania z konkursu „Lwiątko”.

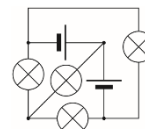
Przykładowe zadania z Polsko-Ukraińskiego Konkursu Fizycznego „Lwiątko – 2015” (klasa 3 gimnazjum)

22. Gdy ruchomy chodnik porusza się w górę bez pasażerów, napędzający go silnik pobiera moc 5 kW. Gdy unosi w górę jednego pasażera, pobiera moc 6 kW. Pasażer przewrócił się i zjeżdża na siedzeniu tak, że jego wysokość jest stała. Jaką moc pobiera teraz silnik?

- A. Mniej niż 5 kW. B. 5 kW. C. Pomiędzy 5 kW a 6 kW.
D. 6 kW. E. Powyżej 6 kW.

23. Ile żarówek świeci? Żarówki są jednakowe, baterie też.

- A. 0. B. 1. C. 2. D. 3. E. 4.



28. Pociąg stopniowo nabiera szybkości. Ma dwie lokomotywy, na początku i na końcu. Zaczep 1 jest rozciągany siłą 50 kN, a zaczep 3 zgniatany siłą 30 kN. Wszystkie wagony są jednakowe.



Zaczep 2

- A. jest rozciągany siłą 20 kN, B. jest rozciągany siłą 10 kN,
C. jest zgniatany siłą 20 kN, D. jest zgniatany siłą 10 kN,
E. nie jest ani rozciągany ani zgniatany.

29. Wyciąg krzeselkowy składa się z 90 ponumerowanych kolejno krzesełek umocowanych co 10 m do stalowej liny (zdjęcie). Na stacji początkowej i końcowej lina opiera się o kręcące się koło o obwodzie 20 m i zawraca wraz z krzeselkami. Janek jadący na krzeselku nr 53 widzi przed sobą



krzeselko nr 52, a mija właśnie krzeselko nr 35. Oznacza to, że do stacji końcowej (styku liny z kołem) zostało mu jeszcze

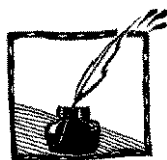
- A. około 18 m,
- B. około 85 m,
- C. około 90 m,
- D. około 170 m.
- E. Takie mijanie się jest niemożliwe.

Podsumowanie

Aby nauczanie fizyki spełniało swój cel, to znaczy uczyło myślenia naukowego, a przynajmniej odróżniania myślenia naukowego od rozumowania potocznego, rozwiązywanie zadań powinno być ważnym jego elementem. Chodzi nie tylko o zadania rachunkowe, ale również ilościowe, doświadczalne, jak i przede wszystkim problemowe. Nie wydaje się właściwą strategią przekonywania uczniów, iż to jest rzecz łatwa. Wręcz przeciwnie. Rozwiązywanie zadań wymaga wysiłku i uprzedniego przygotowania się. W zamian oferuje satysfakcję z rozwiązania. Uczniowie nabierają szacunku dla tych, którzy potrafią lepiej i trudniejsze zadania rozwiązywać. Jednakże nauczyciele powinni wykazać się wyczuciem, by nie oferować uczniom zbyt trudnych dla nich zadań, ponieważ to zniechęca i powoduje „hejt”. Zawsze należy pamiętać, by nie pozostawiać zadań nierozwiązanych i nieobjaśnionych do końca. Brak rozumienia jest niesłychanie frustrujący.

Zadania przeszły w XX wieku ewolucję:

- Od klasycznych, z jakimś wyodrębnionym zagadnieniem fizycznym, do wieloetapowych z rozbudowaną sytuacją fizyczną i prowadzących ucznia za rękę przez poszczególne etapy.
- Kariery zrobiły zadania testowe jednokrotnego wyboru. Są powszechnie używane. Ostatnio zaczęto korzystać z zadań wielokrotnego wyboru, one jednak bywają źródłem błędów. Wrzuca się do jednego worka problemy z logiki i zagadnienia z fizyki.
- Dostrzeżono wagę rozwijania nie tylko analitycznego myślenia uczniów, lecz ich kreatywności. Stąd zadania problemowe, to bardzo dobry kierunek.
- Można zaobserwować w praktyce rozdział zadań dla zdolnych i twórczych uczniów i zadań do powszechnego użycia w szkole dla przeciętnych uczniów. W tym wypadków dominuje prowadzenie uczniów za rękę, zadania nie sprawdzają rozumienia wbrew hasłom głoszonym przez reformatorów nauczania. Czy dlatego, że to niemożliwe? Raczej dlatego, że to jest czasochłonne i wymaga bardzo dobrze przygotowanej kadry nauczycielskiej.



Zagadkowe baloniki

Krzysztof Zamarski
Uczeń V LO, Kraków

Jeden z problemów ostatniej edycji Turnieju Młodych Fizyków nosił tytuł „Para balonków”¹. Polegał on na zbadaniu następującego układu:



Składa się on z dwóch gumowych baloników połączonych przewodem z zaworem. W zależności od początkowych objętości baloników, po otwarciu zaworu powietrze przepływa w jedną lub drugą stronę. Z początku wydaje się oczywiste, że powietrze przepłynie z dużego do małego balonika. Gdyby tak było, całoroczne badania i dyskusje zawodników Turnieju nie miałyby sensu. Gdzie wobec tego jest haczyk?

Każdy, kto samodzielnie zbuduje powyższy układ (do tego celu nie trzeba dysponować specjalnym zaworem – wystarczy nawet zgięta pośrodku gumowa rurka), szybko zauważy, że przepływ powietrza jest zazwyczaj słabo widoczny. Kiedy jednak da się już określić jego kierunek, okazuje się, że jest on odwrotny od oczekiwanego. Oznacza to, że intuicja nie wystarczy do opisanego tego pozornie prostego zjawiska i należy rozpocząć uporządkowane fizyczne rozumowanie.

W celu wyjaśnienia zjawiska budujemy model oparty na następujących założeniach:

1. Układ ma stałą temperaturę równą temperaturze otoczenia (w rzeczywistości będzie się ona zmieniać zgodnie z równaniem van der Waalsa, ale jak się okazuje, zmiany te są nieznaczne i można je pominąć).

¹ Pełną listę zeszłorocznych problemów turniejowych można znaleźć m.in. w *Fotonie* 126, Jesień 2014, lub w archiwum na stronie www.tmf.org.pl; patrz też [1].

2. Długość przewodu i położenie zaworu nie mają znaczenia (choć mogłyby mieć, gdyby przewód był odpowiednio gruby).
3. Ciśnienie atmosferyczne jak stałe i takie samo wokół obu baloników.
4. Powietrze zachowuje się jak gaz doskonały.
5. Baloniki są w przybliżeniu sferami.
6. Guma, z której wykonane są baloniki jest nieściśliwa (ma stałą objętość).

Zastanówmy się na początek, jaka jest właściwie przyczyna przepływu powietrza pomiędzy balonikami. Oczywiście powodem jest różnica ciśnień – powietrze przemieszcza się z balonika, wewnątrz którego panuje większe ciśnienie do drugiego balonika do momentu, aż ciśnienia się wyrównają. Przyjmując, że ciśnienie wewnątrz balonika jest równe sumie ciśnienia atmosferycznego i ciśnienia pochodzącego od naprężenia gumy, możemy stwierdzić, że powietrze przepływać będzie z balonika o większym ciśnieniu pochodzącym od gumy, do balonika, w którym owo ciśnienie jest mniejsze. W tej sytuacji do rozwiązania problemu wystarczy wyznaczyć zależność pomiędzy tym ciśnieniem a objętością balonika.

W tym celu posłużymy się równaniem Younga-Laplace'a, które ma następującą postać:

$$\Delta p = 2\sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

gdzie Δp jest różnicą pomiędzy ciśnieniem wewnętrznym i zewnętrznym (w tym przypadku atmosferycznym), czyli zgodnie z poprzednim akapitem ciśnieniem pochodzącym od naprężenia gumy, R_1 i R_2 to promienie krzywizny wewnętrznej i zewnętrznej, a σ to tak zwane napięcie powierzchniowe. Jak łatwo zauważyć, dla cienkich powierzchni sferycznych równanie Younga-Laplace'a upraszcza się do postaci:

$$\Delta p = \frac{4\sigma}{R},$$

gdzie R jest promieniem sfery.

W większości sytuacji, w których stosuje się powyższe równanie, napięcie powierzchniowe jest stałe (np. w przypadku kropeł lub baniek mydlanych). Gdyby tak było również w przypadku baloników, ciśnienie wewnętrzne wzrastałoby wraz ze spadkiem objętości balonika, doprowadzając do całkowitego wypompowania jednego z nich po każdym otwarciu zaworu. Efektu całkowitego opróżnienia balonika nie obserwujemy jednak nigdy, a więc napięcie powierzchniowe gumy musi ulegać zmianom.

Aby obliczyć jego wartość wykorzystamy równanie termodynamiczne opisujące zmianę energii wewnętrznej gumy:

$$dE = TdS - pdV + \sigma dA,$$

gdzie E jest energią wewnętrzną powłoki balonu, S jej entropią, V objętością, A polem powierzchni, T temperaturą otoczenia, a p ciśnieniem wewnątrz balonu.

Teraz największym problemem jest obliczenie zmiany entropii gumy. W tym celu przyjmijmy, że względna zmiana rozmiaru gumy po danej deformacji wynosi λ_i w i -tym wymiarze. Wówczas dla wymiarów rzeczywistych x, y, z prawdziwe jest następujące równanie Flory'ego:

$$\Delta S = -k\Delta[\lambda_x^2 + \lambda_y^2 + \lambda_z^2 - 3 - \ln(\lambda_x\lambda_y\lambda_z)] ,$$

w którym k jest stałą związaną ze strukturą polimeru. Z założenia o nieściśliwości gumy mamy:

$$\lambda_x\lambda_y\lambda_z = 1 .$$

Wobec czego, dla rozciągnięć izotropowych w płaszczyźnie x - y możemy dokonać podstawienia $\lambda = \lambda_x = \lambda_y$, które w konsekwencji daje $\lambda_z = 1/\lambda^2$. Wtedy nasze równanie upraszcza się do:

$$\Delta S = -k\left(\frac{2A}{A_0} + \frac{A_0^2}{A^2} - 3\right) ,$$

gdzie A_0 to początkowe pole powierzchni gumy, a A – pole powierzchni po deformacji.

Po wstawieniu ΔS do początkowego równania i wyliczeniu σ otrzymujemy:

$$\sigma = \frac{2kT}{A_0} \left(1 - \frac{A_0^3}{A^3}\right) .$$

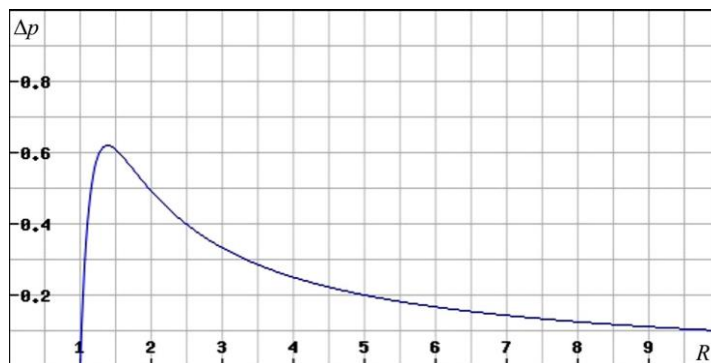
Widzimy teraz, że w rzeczywistym baloniku napięcie powierzchniowe rośnie nieliniowo wraz z rozciąganiem gumy. Po wstawieniu otrzymanej wartości σ do równania Younga-Laplace'a otrzymujemy

$$\Delta p = \frac{2kT}{R_0^2} \left(\frac{R^6 - R_0^6}{R^7}\right) .$$

Jeśli dla uproszczenia przyjmiemy $2kT = 1$ i $R_0 = 1$ otrzymamy następującą funkcję

$$\Delta p(R) = \frac{R^6 - 1}{R^7} ,$$

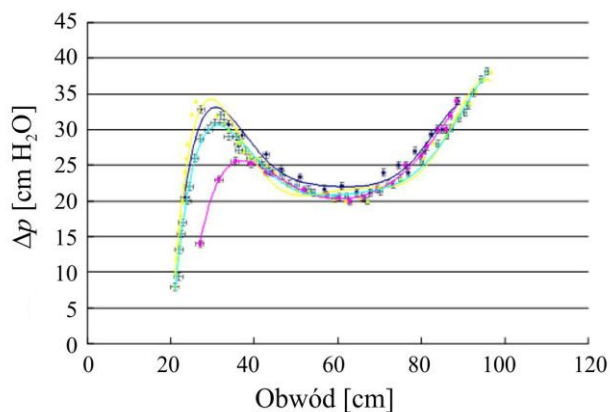
której wykres przedstawiono na rys. 1.



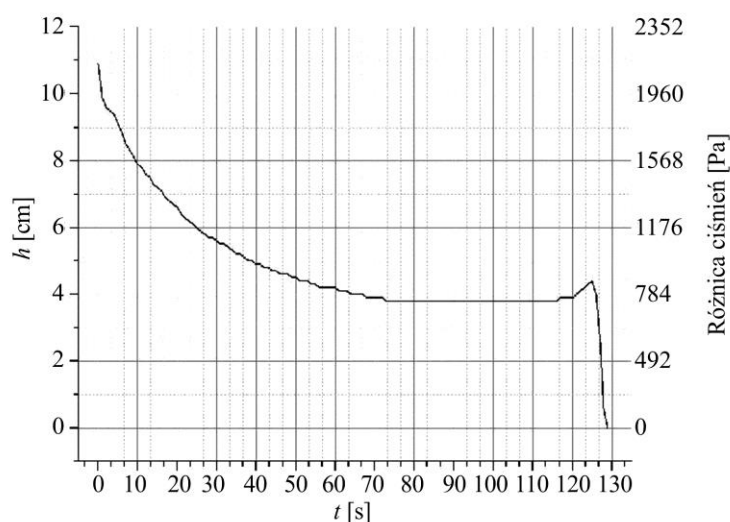
Rys. 1. Zależność nadciśnienia Δp od promienia balonu R

Tak właśnie, zgodnie z naszym modelem, powinna w przybliżeniu wyglądać zależność nadciśnienia wewnątrz balonu od jego promienia, z którego łatwo można obliczyć objętość. Wydaje się, że wystarczy ona do wytłumaczenia zaobserwowanego przez nas zachowania układu. Doświadczenie przyniosło niejedną niespodziankę.

Przyjrzyjmy się wynikom dwóch doświadczeń, których celem było eksperymentalne wyznaczenie powyższej zależności. Pierwsze z nich zostało przeprowadzone przez Chieh-Shan Chena na potrzeby jego pracy [2]. Badany balonik był stopniowo napompowywany, a co jakiś czas mierzono jego obwód i szukaną różnicę ciśnień (za pomocą manometru wodnego, czyli tzw. U-rurki). Drugie doświadczenie wykonała drużyna „Pentagon” startująca w Turnieju – w jego przypadku balonik był w nierównomiernym tempie wypompowywany, a równocześnie dokonywano ciągłego pomiaru szukanej różnicy ciśnień (również za pomocą U-rurki). Oto wykresy otrzymane w obu przypadkach (rys. 2 i 3).



Rys. 2. Zależność różnicy pomiędzy ciśnieniem atmosferycznym a wewnętrznym od obwodu balonu według doświadczenia pierwszego (na wykresie zaznaczono cztery serie pomiarowe)



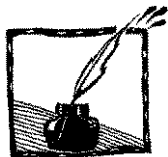
Rys. 3. Zależność różnicy pomiędzy ciśnieniem atmosferycznym a wewnętrznym od czasu wypompowywania balonu t według doświadczenia drużyny „Pentagon” (h oznacza tu połowę wysokości słupa wody)

Z obu doświadczeń wynika, że dla małych wartości R ciśnienie zachowuje się zgodnie z przewidywaniami teoretycznymi przedstawionymi na rys. 1. Jednakże ciśnienie gwałtownie rośnie w miarę napompowywania. Oznacza to, że nasz model posługiwał się zbyt wyidealizowanymi założeniami do satysfakcjonującego opisu rzeczywistych baloników (za nagły wzrost ciśnienia odpowiadają najprawdopodobniej nieuwzględnione właściwości gumy). Jednak nawet gdybyśmy otrzymali wykres o podobnym kształcie, nie dostarczałby on nam wiarygodnych danych ilościowych, gdyż guma, z której wytwarzane są baloniki zmienia swe właściwości wraz z kolejnymi napompowaniami. Jest to zjawisko tzw. histerezy, w którym poprzednie stany układu wpływają na stan obecny. Taka dokładność nie jest jednak potrzebna do samego wyjaśnienia zjawiska przepływu powietrza pomiędzy dwoma balonikami.

Wszystkich uczniów szkół średnich czytających ten artykuł zachęcam do wzięcia udziału w najbliższej edycji Turnieju Młodych Fizyków – natychmiastowe udzielenie prawidłowej odpowiedzi na postawiony problem nie jest konieczne, liczy się przede wszystkim stosowanie metody naukowej. Regulamin Turnieju oraz aktualną listę problemów znaleźć można m.in. na polskiej stronie internetowej TMF (www.tmf.org.pl).

Referencje

- [1] www.ilyam.org/SD_2015_IYPT_Reference_kit.pdf
- [2] Ch.-Sh. Chen, *Two interconnected rubber balloons as a demonstration showing the effect of surface tension* (circle.ubc.ca, 2009)



Temperatura czarnej kulki umieszczonej w ognisku soczewki i ogrzanej promieniami słonecznymi – zadanie z XXIX Olimpiady fizycznej 1979/1980¹

Tadeusz Molenda

Stopień III, zadanie teoretyczne

Dana jest soczewka cienka o średnicy $d = 5$ cm i ogniskowej $f = 10$ cm. Za pomocą tej soczewki, przez zogniskowanie promieni słonecznych, chcemy maksymalnie ogrzać ciało doskonale czarne w postaci kulki o promieniu r . Wyznacz zależność temperatury, do której możemy ogrzać kulkę, od jej promienia r .

Zakładamy, że soczewka przepuszcza całe padające nań światło i że proces ogniskowania zachodzi w powietrzu w temperaturze $T_0 = 300$ K. Zakładamy ponadto, że kulka doskonale przewodzi ciepło, dzięki czemu w każdej chwili temperatura w każdym jej punkcie jest taka sama.

Dane:

1) stała słoneczna

$$S = 1360,8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

2) stała Stefana-Boltzmannna

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$$

3) temperatura powierzchni Słońca

$$T_S = 6000 \text{ K}$$

¹ Zadanie zostało udostępnione z bazy zadań Olimpiady Fizycznej w Szczecinie i dla *Fotonu* przygotowane przez przewodniczącego Komitetu Okręgowego OF w Szczecinie dra Tadeusza Molendę.

Zadanie wraz z rozwiązaniem zostało opublikowane w czasopiśmie *Fizyka w Szkole* nr 1, 1981 r. przez ówczesnego sekretarza naukowego – Waldemara Gorzkowskiego i kierownika organizacyjnego – Andrzeja Kotlickiego z Komitetu Głównego Olimpiady Fizycznej, następnie w zbiorze „Olimpiada Fizyczna XXIX–XXXI”, WSiP, Warszawa 1986, s. 65–68, przez: Andrzej Nadolny (pełnił funkcję sekretarza naukowego KGOF), Krystyna Pniewska (była kierownikiem organizacyjnym KGOF) też jako zad. nr 95 w zbiorze „Wybrane zadania z 43 olimpiad fizycznych”, MAGIPPA, Warszawa 1994, przez: Włodzimierz Ungier (pełnił funkcję sekretarza naukowego dla zad. teoretycznych KGOF) i Mirosław Hamera (był kierownikiem organizacyjnym KGOF).

Zadania z olimpiad fizycznych są na ogół oryginalne. Pomysły pochodzą z różnych źródeł, m.in. składanych przez nauczycieli i samych zawodników olimpiady. Propozycje zadań są zmieniane w wyniku dyskusji w Komitecie Głównym OF i często nie przypominają tekstu „pomysłodawcy” (przyp. – Tadeusz Molenda, Instytut Fizyki, Uniwersytet Szczeciński).

Uwaga: Całkowita energia wypromieniowania w ciągu 1 s przez 1 m^2 powierzchni ciała doskonale czarnego, zgodnie z prawem Stefana-Boltzmana, wynosi σT^4 , gdzie σ oznacza stałą Stefana-Boltzmana, a T – temperaturę bezwzględną ciała.

Rozwiązanie

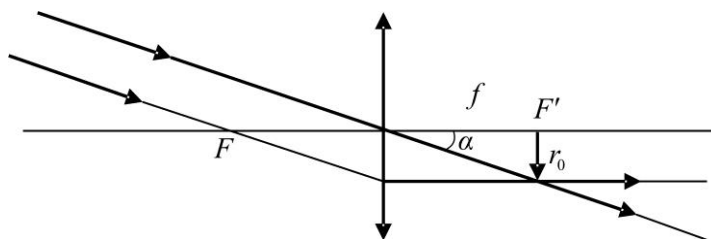
Obrazem Słońca, który powstaje dokładnie w płaszczyźnie ogniskowej soczewki (rys. 1), jest koło o promieniu r_0 takim, że:

$$\frac{r_0}{f} = \text{tg} \alpha, \quad (1)$$

gdzie α oznacza promień kątowy Słońca widzianego z Ziemi.

Ponieważ kąt α jest mały, można z dobrym przybliżeniem przyjąć, że $\text{tg} \alpha \approx \alpha$, a zatem:

$$r_0 = \alpha f.$$



Rys. 1.

Kiedy na kulkę doskonale czarną nie pada światło słoneczne, wówczas pozostaje ona w równowadze termicznej z otoczeniem, tzn. wypromieniowuje ona w jednostce czasu tyle energii, ile jej pochłania z otoczenia. Szybkość wypromieniowania tej energii (moc) zgodnie z prawem Stefana-Boltzmana wynosi:

$$\frac{dE_p}{dt} = 4\pi r^2 \sigma T_0^4, \quad (2)$$

gdzie T_0 jest temperaturą w stanie równowagi termicznej.

Gdy na kulkę skierujemy wiązkę światła słonecznego, wtedy pochłania ona energię tego światła. Jeżeli promień kulki r jest większy niż r_0 , wówczas cała ogniskowana energia jest pochłaniana przez kulkę. Energia tego promieniowania dochodząca w ciągu jednej sekundy wynosi $\frac{1}{4}\pi d^2 S$. Oprócz tego kulka absorbuje, tak jak poprzednio, promieniowanie termiczne z otoczenia.

Odpowiadający temu dopływ energii w ciągu jednej sekundy zgodnie z (2) wynosi $4\pi r^2 \sigma T_0^4$. Z drugiej strony kulka mając temperaturę T , wypromieniowuje w czasie jednej sekundy energię $4\pi r^2 \sigma T^4$. Ponieważ kulka doskonale czarna w stanie ustalonej temperatury emituje tyle energii, ile jej pochłania, bilans energii można więc zapisać w postaci:

$$4\pi r^2 \sigma T^4 = 4\pi r^2 \sigma T_0^4 + \frac{1}{4} \pi S d^2, \quad r \geq \alpha f. \quad (3)$$

Stąd

$$T = \sqrt[4]{T_0^4 + \frac{S}{\sigma} \left(\frac{d}{4r}\right)^2}. \quad (4)$$

Jeżeli promień kulki jest mniejszy od $r_0 = \alpha f$, to będzie padać na nią tylko część energii skupianej przez soczewkę, która wynosi:

$$\left(\frac{r}{r_0}\right)^2 \frac{1}{4} \pi S d^2,$$

czyli

$$\frac{1}{4} \left(\frac{r}{\alpha f}\right)^2 \pi S d^2.$$

Bilans energii w tym przypadku jest następujący:

$$4\pi r^2 \sigma T^4 = 4\pi r^2 \sigma T_0^4 + \frac{1}{4} \pi S d^2 \left(\frac{r}{\alpha f}\right)^2, \quad r < \alpha f. \quad (5)$$

Stąd

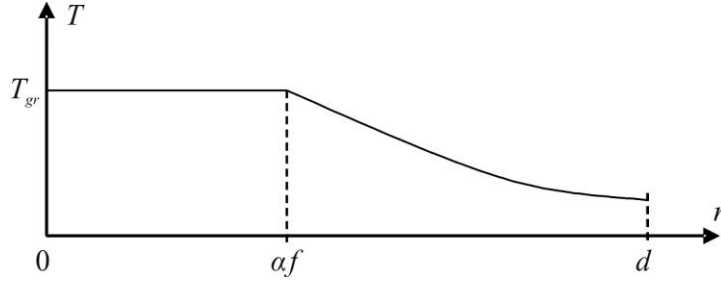
$$T = \sqrt[4]{T_0^4 + \frac{S}{\sigma} \left(\frac{d}{4\alpha f}\right)^2} = T_{\text{gr}}. \quad (6)$$

Zauważmy, że temperatura ta jest stała i dalsze zmniejszanie rozmiarów kulki nie zwiększa T . Jest to temperatura graniczna T_{gr} . Wykres zależności $T(r)$ podany jest na rys. 2.

Dyskusję przypadku, gdy średnica kulki przekracza średnicę soczewki pozostawiamy Czytelnikowi.

Oszacujmy temperaturę graniczną T_{gr} . Zauważmy, że Słońce z bardzo dobrym przybliżeniem możemy traktować jako ciało doskonale czarne i wówczas zgodnie z prawem Stefana-Boltzmann'a energia wypromieniowana przez powierzchnię Słońca w ciągu jednej sekundy zgodnie z (2) wynosi

$$\frac{dE_s}{dt} = 4\pi R_s^2 \sigma T_s^4. \quad (7)$$



Rys. 2

Stała słoneczna to energia, jaką promieniowanie słoneczne przynosi w ciągu jednej sekundy przez powierzchnię 1 m^2 ustawioną prostopadle do kierunku Ziemia–Słońce, w odległości od Słońca równej odległości Ziemia–Słońce, stąd możemy zapisać

$$S = \frac{4\pi R_s^2 \sigma T_s^4}{4\pi R_{zs}^2}, \quad (8)$$

gdzie T_s – temperatura powierzchni Słońca, R_s – promień Słońca, R_{zs} – odległość Ziemia–Słońce.

Ponieważ promień kątowy Słońca α wynosi

$$\alpha = \frac{R_s}{R_{zs}},$$

stąd otrzymany związek:

$$\frac{S}{\alpha^2 \sigma} = T_s^4. \quad (9)$$

Po podstawieniu (9) do (6), otrzymujemy wzór na temperaturę graniczną kulki w postaci:

$$T_{gr} = \sqrt[4]{T_0^4 + \left(\frac{d}{4f}\right)^2 T_s^4} \approx T_s \sqrt{\frac{d}{4f}}. \quad (10)$$

Do tego samego rozwiązania, gdy promień kulki jest mniejszy od $r_0 = \alpha f$, można dojść stosując odmienną metodę. Zauważmy, że powierzchnię Słońca z kulki widać wewnątrz stożka o kącie rozwarcia 2β , gdzie:

$$\text{tg } \beta = \frac{d}{2f}$$

tzn. w kącie bryłowym $\gamma_1 = 2\pi(1 - \cos \beta)$, zaś otoczenie o temperaturze T_0 widać w kącie bryłowym $\gamma_2 = 2\pi(1 + \cos \beta)$.

W jednostce czasu na kulkę, z kąta bryłowego γ_1 pada promieniowanie słoneczne o energii $\gamma_1 r^2 \sigma T_s^4$ (T_s – temperatura powierzchni Słońca), a z kąta bryłowego γ_2 – promieniowanie otoczenia o energii $\gamma_2 r^2 \sigma T_0^4$ (T_0 – temperatura otoczenia). Kulka po ogrzaniu się do temperatury T emituje w jednostce czasu promieniowanie o energii $4\pi r^2 \sigma T^2$. W stanie równowagi termicznej bilans energetyczny ma postać

$$4\pi r^2 \sigma T^2 = \gamma_1 r^2 \sigma T_s^4 + \gamma_2 r^2 \sigma T_0^4$$

Podstawiając wielkości γ_1 oraz γ_2 otrzymamy

$$4\pi r^2 \sigma T^2 = 2\pi(1 - \cos\beta)r^2 \sigma T_s^4 + 2\pi(1 + \cos\beta)r^2 \sigma T_0^4.$$

Drugie wyrażenie można pominąć w porównaniu z pierwszym, gdyż T_s^4 jest znacznie większe od T_0^4 .

Stąd można wyznaczyć temperaturę kulki

$$T = T_s \sqrt[4]{\frac{1 - \cos\beta}{2}} = T_s \sqrt{\sin\frac{\beta}{2}}. \quad (11)$$

Jest to wielkość stała, niezależna od promienia kulki.

Dla małych kątów β można przyjąć

$$\sin\frac{\beta}{2} \approx \frac{\beta}{2} \approx \frac{d}{4f} \quad (12)$$

Stąd otrzymujemy

$$T_{gr} = T_s \sqrt{\sin\frac{\beta}{2}} = T_s \sqrt{\frac{d}{4f}}. \quad (13)$$

Uzyskany wzór jest identyczny z poprzednio wyprowadzonym wzorem (10). Jak z niego widać, temperatura graniczna uzyskiwana przez kulkę zależy od parametrów soczewki, nie może jednak przekroczyć temperatury Słońca T_s . Dla cienkiej soczewki $\frac{d}{f} \leq 1$, zatem nie można uzyskać temperatury bliskiej temperaturze Słońca.

W naszym przypadku $\frac{d}{4f} = \frac{1}{8}$, stąd temperatura graniczna

$$T_{gr} = 2100 \text{ K.}$$

Zauważmy, że promień kątowy Słońca $\alpha \approx 0,0043$ rad. Wynika stąd, że temperaturę taką można teoretycznie uzyskać dla $r \leq 0,04$ mm (bo $r_0 \approx \alpha f$). Praktycznie wady soczewek powodują „rozmyte” ogniskowanie i nie obserwujemy aż tak wysokiej temperatury. Niemniej wiadomo, że w ognisku soczewki na skutek skupiania się tam promieni słonecznych można zapalić zapalkę.



SCIENTIX – Społeczność na rzecz nauczania przedmiotów ścisłych w Europie

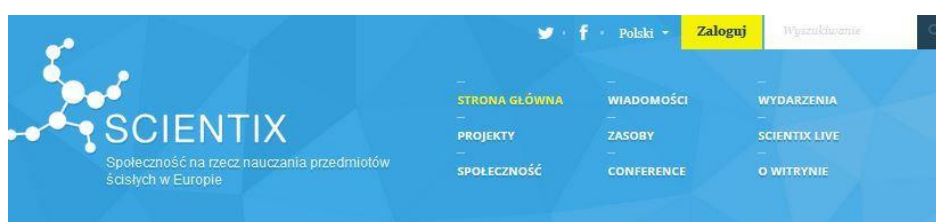
Dobromiła Szczepaniak

Scientix Deputy Ambassador, Poland

Kluczową rolę edukacji w rozmaitych dziedzinach dostrzega dziś coraz więcej osób i instytucji. Jednym z niezmiernie ważnych filarów, trzonem nowoczesnej edukacji są przedmioty STEM, czyli SCIENCE – przedmioty przyrodnicze, TECHNOLOGY – przedmioty techniczne, ENGENIERING – inżynieria i MATHEMATICS – matematyka (ang. *stem* – trzon, łądyga).

Pojawia się wiele projektów, których celem jest wspieranie nauczycieli przedmiotów ścisłych i przyrodniczych w realizacji ich codziennych zadań i w unowocześnianiu edukacji. Projektów jest wręcz tak dużo, że trudno jest śledzić je wszystkie i nie przeoczyć tych dla danego nauczyciela, czy osoby w inny sposób zajmującej się edukacją, szczególnie wartościowych. Stąd pomysł na SCIENTIX – projekt, który można nazwać „projektem matką”, a może raczej opiekunką pozostałych. Na portalu SCIENTIX (www.scientix.eu) można uzyskać dostęp do bogatej i stale uaktualnianej bazy projektów STEM oraz materiałów edukacyjnych tworzonych w ramach tych projektów. Nawigacja portalu jest możliwa w ośmiu, najliczniej używanych w Europie językach, w tym w języku polskim.

W menu głównym portalu (rys. 1) chcę zwrócić Państwa uwagę na cztery elementy. Pierwszy – to PROJEKTY – gdzie znajduje się wyszukiwarka dająca dostęp do bazy projektów oraz formularz zgłaszania projektów do zapisania w tejże bazie.



Rys. 1. Menu główne portalu SCIENTIX

Kolejny element – ZASOBY – to jeden z najcenniejszych elementów portalu. W zasobach znajdują się materiały edukacyjne powstałe w ramach projektów, z których można korzystać oraz, co niezwykle w tego typu portalach, zamówić tłumaczenie interesujących nas materiałów na niemal każdy język europejski.

W zakładce SCIENTIX LIVE znajdziemy między innymi informacje o webinarach, czyli seminariach „on-line” otwartych dla wszystkich zainteresowanych nauczaniem i uczeniem się STEM. Uczestnictwo w webinarach jest nieodpłatne, wymagana jest tylko rejestracja. Dzięki tym webinarom dowiedziałam się między innymi tego, jak nie przepracowując się, poprawić wyniki egzaminacyjne uczniów (ramka) oraz oswoiłam się z wykładami przez internet. Szczerze polecam tę formę zajęć.

Ostatnim elementem menu głównego, o którym napiszę, jest zakładka WIADOMOŚCI, gdzie regularnie publikowane są informacje o wydarzeniach związanych z nauczaniem przedmiotów STEM w Europie. To dzięki przeglądaniu tych wiadomości dowiedziałam się o POPPY (rys. 2) – pierwszym człokształtnym robocie w całości objętym licencją otwartą, robocie z drukarki 3D, którego każdy może sobie zbudować i zaprogramować. POPPY nie jest przeznaczony tylko dla naukowców i inżynierów: zespół jego konstruktorów zamierza wprowadzić go do szkolnych zajęć z nauki zawodu, dając uczniom okazję do eksperymentowania. Platforma POPPY oferuje dziś szkołom i nauczycielom sposób rozwoju kreatywności uczniów w ramach zajęć dotyczących takich dziedzin, jak mechanika, informatyka, elektronika i druk 3D.



Rys. 2. Poppy, robot open-source z drukarki 3D, ma pobudzić innowacyjność w klasach szkolnych

Wiadomości SCIENTIX można sobie zaprenumerować zapisując się do elektronicznego biuletynu wysyłanego co dwa tygodnie na podany adres e-mail, do czego zachęcam, bowiem kto wie, jakie inspiracje pojawią się w kolejnych wydaniach...

Na portalu można też znaleźć informacje o działaniach lokalnych w trzydziestu pięciu europejskich państwach biorących udział w projekcie SCIENTIX. Działaniami tymi zawiadują ambasadorowie programu oraz Krajowe Punkty Kontaktowe (KPK). Do zadań ambasadorów należy między innymi rozpowszechnianie informacji o SCIENTIX przez organizowanie spotkań lub warsztatów dla nauczycieli, wystąpienia na tematycznych seminariach i konferencjach, publikowanie informacji w postaci elektronicznej lub tradycyjnej – tak jak czynię to, pisząc niniejszy artykuł.

Polskim Krajowym Punktem Kontaktowym jest Instytut Geofizyki PAN w Warszawie (scientix.pl). Jednym z zadań KPK jest organizacja narodowej

Konferencji SCIENTIX. I takie wydarzenie właśnie za nami. W dniach 8–9 października 2015 roku, w Warszawie odbyła się pierwsza Polska konferencja SCIENTIX przeznaczona dla nauczycieli przedmiotów matematyczno-przyrodniczych z całej Polski. Głównym celem konferencji była praktyczna prezentacja innowacyjnych rozwiązań w zakresie nauczania przedmiotów matematyczno-przyrodniczych, a także integracja środowiska nauczycieli tych przedmiotów. W czasie prezentacji i warsztatów można było dowiedzieć się więcej o programie SCIENTIX i realizowanych w Polsce działaniach na rzecz edukacji w zakresie przedmiotów ścisłych, oraz zapoznać się szczegółowo z niektórymi projektami zgłoszonymi do bazy SCIENTIX.

Na koniec podzielę się z Państwem osobistą refleksją: rok temu wydawało mi się, że wiem bardzo dużo o nauczaniu fizyki... To się zmieniło, gdy weszłam w społeczność SCIENTIX. Teraz uczę się z niebywałą szybkością i z zachwytem patrzę w przyszłość, bo tak wiele jeszcze mogę się nauczyć i ta fascynująca podróż nigdy się nie skończy. Podróż w przyszłość, która wiedzie przez nieustanny rozwój. Ja, która dotychczas w nielicznym towarzystwie podążałam tą ścieżką ku przyszłości, mam teraz wrażenie, że dzięki programowi SCIENTIX znalazłam się na ruchliwej autostradzie. Tym, którzy są gotowi na taką ekspresową podróż polecam nie tylko zapisanie się do elektronicznego biuletynu o wdzięcznej nazwie „Scientix Digest”, ale także dołączenie do grupy „Science Teachers in Europe” na Facebooku i Tweeterze. Eksplozja kreatywności gwarantowana...

(dobnosz@gmail.com)

JAK, NIE PRZEPRACOWUJĄC SIĘ, POPRAWIĆ WYNIKI UCZNIÓW NA EGZAMINACH (na podstawie 3. Webinarium SCIENTIX, Richard Walden)

Wielu uczniów nie zdaje egzaminów lub osiąga podczas egzaminów gorsze od spodziewanych wyniki z powodu lęku lub stresu. Nowe badania przeprowadzone w USA [G. Ramirez and S.L. Beilock, 2011, Science 331, 211–213; Math anxiety: Can Teachers Help Students Reduce it? S. Beilock and D.T. Willingham, 2014, American Educator (Summer) 28–33] odkryły proste nowe strategie, które pozwalają przezwyciężyć to zjawisko i poprawić ocenę egzaminacyjną ucznia o 10–20%. Poprawa taka wiąże się ze zmianą wzorców aktywności mózgu i wygląda na trwałą, zauważalną też w innych stresujących sytuacjach.

CO ZROBIĆ?

Przed egzaminem zlecić uczniom zapisanie na kartce wszystkich odczuć i emocji związanych z egzaminem. Im więcej pojawi się tam zapisów negatywnych emocji tym większy pozytywny wpływ na wynik sprawdzianu czy egzaminu.

graficzną, poszerzoną część ćwiczeniową oraz wprowadzenie do zadań testowych.

Nowością są rozszerzone profile osobowe na początku każdego rozdziału uzupełnione o nowe nazwiska, wyróżnienie naukowców, nauczycieli i postaci historycznych, stanowiące uzupełnienie materiału. Zapoznając się z nimi czytelnik postrzega fizykę w bardziej spersonalizowany sposób. Każdy rozdział rozpoczyna fotomontaż pedagogów, a czasami ich dzieci, które ożywiają studiowanie książki.

Materiały kończące poszczególne rozdziały rozpoczynają się od **Zestawienia pojęć**. Następnie pojawiają się **Pytania kontrolne**, które podsumowują najważniejsze zagadnienia danego działu. Uczniowie łatwo znajdą na nie odpowiedzi podczas uważnego czytania rozdziału. Zadania typu **Oszacuj wynik** przyczyniają się do lepszego zrozumienia pojęć fizycznych. Wiele cennych wyjaśnień pochodzi z ćwiczeń nazwanych **Pomyśl i uszereguj**, wprowadzonych w poprzednich wydaniach. Krytyczne myślenie jest niezbędne do porównywania wielkości w różnych sytuacjach. Uzyskanie odpowiedzi to nie wszystko, musi ona zostać porównana z innymi, wskazane jest również stworzenie rankingu rozwiązań. Uważam, że jest to najbardziej wartościowy materiał kończący rozdziały.

Zadania **Pomyśl i wyjaśnij** są podstawą tego podręcznika. Wiele z nich wymaga krytycznego myślenia, niektóre zaś zostały stworzone po to, aby łączyć pojęcia fizyczne z sytuacjami życia codziennego. Większość rozdziałów posiada również część **Pomyśl i przedyskutuj**, pobudzającą uczniów do dyskusji. Więcej matematyczno-fizycznych wyzwań znajduje się w zestawach zadań **Pomyśl i rozwiąż**.

Uważam, że każdy nauczyciel powinien mieć egzemplarz tej książki na półce.



Nareszcie fizyka zrozumiała dla wszystkich!

Niezwykła opowieść, w której autor opisuje zjawiska fizyczne, wyjaśniając w przystępny sposób ich istotę.

Dzięki przykładom z codziennego życia oraz bardzo dużej liczbie ilustracji, fotografii i wspaniałym rysunkom autora łatwiej jest zrozumieć prawa rządzące przyrodą. Po przeczytaniu rozdziałów opisujących zagadnienia, które dotąd wydawały się niezrozumiałe, wielu zadaje sobie pytanie „Jak mogłem tego nie rozumieć?”.

Książka stanowi rewolucję w stylu nauczania fizyki. Chociaż autor nie stroni w niej od matematyki i wzorów, to są one tylko pomocą. Nie przesłaniają istoty wyjaśnień. Na każdej niemal stronie znajdują się przykłady i opisy doświadczeń, które doskonale pokazują związki fizyki z innymi naukami przyrodniczymi i techniką. A są tak napisane, że wręcz chce się wykonać doświadczenie samodzielnie.

Nowe wydanie uwzględnia najnowsze osiągnięcia fizyki (szczególnie w atomistyce, fizyce cząstek elementarnych, ma odświeżoną część graficzną, poszerzoną część ćwiczeniową



CO CZYTAĆ

Wstęp do fizyki materii skondensowanej Józefa Spółka

Książka jest nowoczesnym podręcznikiem, w którym oprócz zagadnień omawianych tradycyjnie opisane są również najnowsze odkrycia z ostatnich lat. Wiele z nich przedstawionych zostało w nowy, przejrzysty sposób, dzięki czemu łatwiejsze staje się samodzielne ich zgłębianie.

Książka powstała z myślą o studentach i pracownikach naukowych zajmujących się fizyką ciała stałego, kwantową inżynierią materiałową, elektroniką kwantową oraz astrofizyką.

Książka prof. dr. hab. Józefa Spółka *Wstęp do fizyki materii skondensowanej* została wyróżniona przez Rektora Politechniki Warszawskiej w konkursie „ACADEMIA 2015” jako najlepsza książka techniczna o charakterze dydaktycznym zaprezentowana na IX Targach Książki Akademickiej i Naukowej, które odbyły się na Stadionie Narodowym w Warszawie w dniach 14–17 maja 2015 r.



W hierarchii budowy świata fizycznego od strony mikro zstępujemy na coraz niższe stopnie budowy przyrody (atomy → nukleony → kwarki i gluony; elektrony i fotony). Mamy wówczas do czynienia z *redukcjonistycznym* opisem przyrody. Przez prawie cały XX wiek była to doktryna dominująca w fizyce, a przynajmniej w jej części. Nie jest to jednak doktryna wyłączna w podejściu do opisu przyrody.

Profesor Spółka zajmuje się materią skondensowaną, w której podstawowym pojęciem jest koncepcja złożoności (ang. *complexity*). W rozdziale wstępnym pisze, że *Emergentność przyrody* (czyli pojawienie się nowych cech jakościowych na następnym etapie złożoności) polega na tym, iż na nowym poziomie złożoności układu pojawiają się dodatkowe własności, nieredukowalne do tych na niższym poziomie. I nie chodzi tu tylko o proste układy fizyczne. Komórka biologiczna, mózg, organizm czy całe społeczeństwo to kolejne etapy budowy hierarchicznej tej złożoności. Wszystkie są co najmniej równie ważne, jeśli nie ważniejsze niż rozpatrywane przez nas (najczęściej) proste struktury fizyczne, takie jak cząsteczki czy inne proste układy wielocząstkowe (lub wieloatomowe). W fizyce mówimy o emergentności przyrody w tym sensie, że obserwujemy skoki ewolucyjne w koncepcjach od poziomu najbardziej elementarnego (układy cząstek kwantowych), aż do układu biologicznego, takiego jakim jest nasz mózg.

Z.G-M



CO CZYTAĆ

O Ludwiku Silbersteinie (1872–1948)

Urania 3/2015

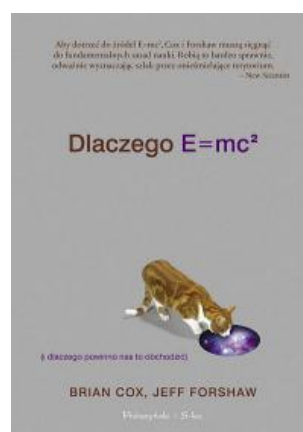
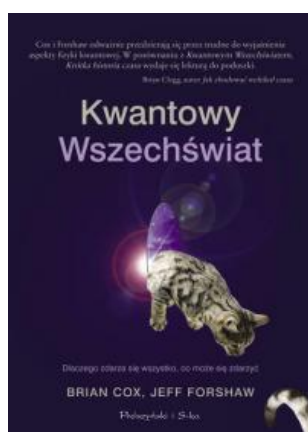
W *Uranii* 3/2015, tom LXXXVI, Piotr Flin i Włodzimierz Godłowski w artykule „Silberstein contra Einstein” przypominają sylwetkę znakomitego polskiego astrofizyka Ludwika Silbersteina, praktycznie rówieśnika Einsteina.

Silberstein był początkowo gorącym zwolennikiem Teorii Względności, by w późniejszym okresie stać się jej nieprzejednanym krytykiem.

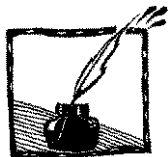
Silberstein ukończył w Krakowie gimnazjum św. Jacka i rozpoczął studia na Uniwersytecie Jagiellońskim, by zwyczajem tamtych czasów, kontynuować je na innych uniwersytetach, w tym wypadku w Heidelbergu i Berlinie. Silberstein współpracował z najwybitniejszymi fizykami tamtych czasów. W 1899 roku wyemigrował z Polski, nie zrywając jednak kontaktów z fizykami polskimi. Na przykład w 1904 roku zorganizował pierwszą letnią szkołę fizyki teoretycznej w Zakopanem. Gorąco zachęcam do lektury artykułu.

Z.G-M

Polecamy wydane ostatnio przez Wydawnictwo Prószyński i S-ka książki Briana Coxa, profesora University of Manchester. Jest on jednym z najbardziej znanych popularyzatorów nauki, autorem wielu programów popularnonaukowych telewizji BBC, a także członkiem The Royal Society i laureatem nagrody Michael Faraday Prize przyznawanej przez to Towarzystwo. Brian Cox prowadzi badania z dziedziny fizyki cząsteczkowej w CERN (LHC, program ATLAS).



Z.G-M



Nagrody PTF 2015

Kapituła Nagrody PTF im. Grzegorza Białkowskiego dla wyróżniających się nauczycieli przyznała następujące nagrody i wyróżnienia:

- Nagroda PTF I stopnia im. Grzegorza Białkowskiego dla wyróżniających się nauczycieli i Medal im. Grzegorza Białkowskiego – **mgr inż. Sławomir Lichota**, nauczyciel fizyki w Zespole Szkół Ogólnokształcących nr 6 w Radomiu, za wkład w rozwój polskiej fizyki przez pracę z uzdolnioną młodzieżą i wybitne osiągnięcia uczniów.
- Nagroda PTF II stopnia dla wyróżniających się nauczycieli – **mgr Iwona Cisowska**, nauczycielka fizyki w Gimnazjum nr 9 im. cc majora Hieronima Dekutowskiego ps. „Zapora” w Lublinie, za różnorodne działania związane z promowaniem i popularyzacją fizyki, prowadzące do osiągania przez uczniów sukcesów w konkursach na poziomie gimnazjum.
- Nagroda PTF III stopnia dla wyróżniających się nauczycieli – **dr Marek Ludwiczak**, nauczyciel fizyki w II Liceum Ogólnokształcącym im. Generałowej Zamoyskiej i Heleny Modrzejewskiej w Poznaniu, za wprowadzanie nowoczesnych metod nauczania fizyki i osiąganie jego ponadprzeciętnych wyników.
- Wyróżnienie – **mgr Magdalena Żmijewska**, nauczycielka fizyki w Zespole Szkół Nr 5 w Ostrołęce, za wspomaganie wszechstronnego rozwoju uzdolnionych uczniów i wprowadzanie ciekawych form pracy.

Ponadto PTF przyznało

- **Nagrodę za popularyzację fizyki** – Medal im. Krzysztofa Ernsta – **dr Zofii Gołąb-Meyer**, za zaangażowanie i pasję, z jaką od lat wydawane są przez nią kwartalniki *Foton* i *Neutrino* poświęcone upowszechnianiu fizyki wśród uczniów, studentów i nauczycieli.



- **Nagrodę za Artykuł Popularnonaukowy – mgr Piotrowi Cieślińskiemu** za artykuł „Staruszek ukończył 125 lat. Pora umierać, ale nie ma następcy”, który ukazał się w dzienniku *Gazeta Wyborcza* w dniu 2 października 2014 roku.
- Członkostwem honorowym PTF wyróżniono **dra Andrzeja Nadolnego** w uznaniu jego zasług i zaangażowania w organizowanie Turnieju Młodych Fizyków.



Andrzej Nadolny (z lewej) z uczestnikami TMF 2013 w Tajpej

Z.G-M



Turniej Młodych Fizyków 2016 – Problemy

Dobromiła Szczepaniak

Ruszyła kolejna, 29 edycja Turnieju Młodych Fizyków. Celem nadrzędnym turnieju jest popularyzacja fizyki wśród młodzieży uczęszczającej do szkół średnich. Międzynarodowe sukcesy naszych uczniów w konkursach i olimpiadach przedmiotowych świadczą o wielkim potencjale intelektualnym oraz zaangażowaniu nauczycieli w przekazywanie wiedzy.

Poniżej lista problemów, jakie zostały wyselekcjonowane do rozgrywek tegorocznego Turnieju Młodych Fizyków. W imieniu Polskiego Towarzystwa Fizycznego oraz Krajowego Komitetu Turnieju Młodych Fizyków serdecznie zapraszam Państwa i Państwa uczniów do udziału w rozgrywkach.

Harmonogram TMF 2016:

- rejestracja drużyn – do 10 stycznia 2016,
- przesyłanie prac – do 15 stycznia 2016,
- półfinały – 27 lutego – Warszawa, 1 marca – Wrocław, Katowice (jeszcze brak terminu)
- finał – 9 i 10 kwietnia 2016 r. w Warszawie.

Szczegółowe informacje są dostępne na stronie www.tmf.org.pl, gdzie można też znaleźć przykładowe prace z lat poprzednich.

1. Wymyśl sam

Liczby prawdziwie losowe są bardzo cennym i rzadkim zasobem. Zaprojektuj, zbuduj oraz zbadaj urządzenie mechaniczne generujące liczby losowe. Zbadaj, do jakiego stopnia uzyskiwana losowość jest odporna na manipulacje zewnętrzne.

2. Nienadążające wahadło

Na mocnej nici zawieszony jest ciężarek. Gdy punkt zaczepienia takiego wahadła zaczniemy poruszać po poziomym okręgu, ciężarek zacznie zataczać koło, które w pewnych warunkach może mieć mniejszy promień. Zbadaj ruch ciężarka i jego stabilne trajektorie.

3. Soczewka akustyczna

Soczewki Fresnela składające się z koncentrycznych pierścieni są powszechnie używane w zastosowaniach optycznych. Podobnie można ogniskować fale dźwiękowe. Zaprojektuj i wykonaj soczewkę akustyczną oraz zbadaj jej właściwości (jak np. wzmocnienie) w zależności od istotnych parametrów.

4. Super ball

Wrzuć bardzo elastyczną piłkę pomiędzy dwie płyty. Piłka zacznie się odbijać, a w pewnych warunkach może nawet wyskoczyć w kierunku rzucającego. Zbadaj ruch piłki i jego zależność od różnych parametrów, w tym od orientacji płyt.

5. Ultrahydrofobowa woda

Umieść naczynie wypełnione wodą z mydłem na głośniku lub innym źródle drgań. Podczas drgań możliwe jest utrzymywanie się małych kropli na powierzchni cieczy przez długi czas. Wyjaśnij i zbadaj to zjawisko.

6. Elektryczny plaster miodu

Umieść pionowo stalową igłę nad poziomą metalową płytą. Rozlej na płycie niewielką ilość oleju. Jeśli pomiędzy igłą i płytą zostanie przyłożone stałe wysokie napięcie, na powierzchni cieczy ukaże się struktura komórkowa. Zbadaj i wyjaśnij to zjawisko.

7. Fontanna gorącej wody

Pipetę miarową napełnij częściowo gorącą wodą. Zatkaj górny koniec pipety kciukiem. Odwróć pipetę do góry nogami i obserwuj fontannę wypływającą z jej czubka. Zbadaj parametry opisujące wysokość fontanny i zoptymalizuj je tak, by uzyskać jak największą wysokość.

8. Magnetyczny pociąg

Do obu końców cylindrycznej baterii są przyłączone pastylkowe magnesy. Gdy taką baterię umieści się wewnątrz miedzianej cewki tak, aby magnesy dotykały jej zwojów, taki „pociąg” zacznie się poruszać. Wyjaśnij to zjawisko i zbadaj, jak istotne parametry wpływają na prędkość i moc pociągu.

9. Fale wodne

Wytwórz falę wodną przez pionowe ruchy poziomego cylindra. W czasie zmian częstotliwości i/lub amplitudy tych drgań woda wydaje się płynąć w kierunku od lub do cylindra. Zbadaj to zjawisko.

10. Świetliste pierścienie

Wytwórz strumień wody padający na powierzchnię. Jeśli miejsce padania strumienia zostanie oświetlone przez wiązkę lasera, to wokół strumienia można zaobserwować pierścienie świetlne (patrz rysunek). Zbadaj te pierścienie i określ, jak one zależą od istotnych parametrów całego układu.



11. Toczenie na tarczy

Jeśli lekki, okrągły obiekt (np. pierścień, krążek lub kulę) umieścimy na poziomej, obracającej się tarczy, może on zacząć się poruszać nie opuszczając tarczy. Wyjaśnij, jak różne, możliwe ruchy tego obiektu zależą od istotnych parametrów.

12. Metoda Van der Pauwa

Wiadomo, że przewodność materiału może być mierzona niezależnie od kształtu próbki, o ile tylko próbka ma jeden brzeg (tzn. nie ma dziur). Jaki jest zakres stosowalności tej metody? Zbadaj i wyjaśnij pomiary, jeśli próbka posiada otwory.

13. Papierowe imadło

Weź dwie podobne książki w miękkiej oprawie i włóż kilka kartek jednej pomiędzy kartki drugiej książki, tak by kartki były wzajemnie przełożone. Dopchnij książki ku sobie. Trzymając książki za grzbiety spróbuj je rozdzielić. Zbadaj parametry, które określają granice możliwości rozdzielenia książek.

14. Wrażliwy płomień

Gaz palny (np. propan) wypływa pionowo z cienkiej dyszy, a następnie przepływa przez drobną metalową siatkę znajdującą się w odległości około 5 cm od dyszy. Gaz jest zapalony i tworzy płomień ponad siatką. W pewnych warunkach płomień ten bardzo wrażliwie reaguje na dźwięk. Zbadaj to zjawisko i istotne parametry.

15. Bezdotykowa suwmiarka

Wymyśl i zbuduj urządzenie optyczne, które używa wskaźnika laserowego i pozwala na bezdotykowe określenie grubości, współczynnika załamania oraz innych parametrów szklanej płytki.

16. Wiry frisbee

Gdy pionowa płyta częściowo zanurzona w wodzie jest ciągnięta w kierunku prostopadłym do niej, na powierzchni wody powstaje para wirów. W pewnych warunkach wiry te mogą się przemieszczać po powierzchni wody na znaczne odległości. Zbadaj parametry wpływające na ruch i stabilność tych wirów.

17. Zwariowana walizka

Gdy ktoś ciągnie dwukołową walizkę, w pewnych warunkach może się ona rozkołysać tak bardzo, że się wywróci. Zbadaj to zjawisko. Czy można zmniejszyć lub zwiększyć ten efekt poprzez zmianę zawartości i ułożenia bagażu w walizce?



Fizyka w poezji Czesława Miłosza

Andrzej Zięba

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH

Wagę problematyki nauk ścisłych potrafią zrozumieć tylko najwięksi. Poniżej przedstawię fizyczne motywy w dwóch wierszach Czesława Miłosza. W pierwszym akapicie wiersza *Grób Matki* mamy poetycki opis planetarnego modelu atomu, który Poeta misternie przeplata z opisem układu planetarnego (wyróżnienia *kursywą* – A.Z.).

*Mały glob srebrny w ruchu i planety
Elektronowym biegające torem
Dokoła słońca atomu. Lecz dla nas
Istnieje zawsze jeden punkt na ziemi
Który powraca w bezsensownym śnie
Gdy manekiny o szyjach drewnianych,
Bez głów, prowadzą taniec albo psy
Skaczą po nogach z rzeźbionego drzewa.
Między pamięcią która niepokoi
Bo mówi: na nic zwyciężać minione,
I niepamięcią która jest obrazą
Dla naszych pojęć o własnej dobroci,
Żyjemy chwiejni, podczas gdy pośpiesznie
Jak muchy w świetle bezustannych lamp
Elektron w pustce wymija elektron.*



Na końcu akapitu znajdujemy wizję atomu wieloelektronowego, który Poeta widzi podobnym do roju owadów krążących wokół zapalanej lampy. Specjalistę fizyki atomowej czy ciała stałego zaintryguje też stwierdzenie *elektron w pustce wymija elektron*, które kojarzy się ze zjawiskami korelacji ruchu elektronowego, wychodzącymi poza opis jednoelektronowy. Warto przeczytać cały wiersz, zakończony prostymi słowami

*Żeś chciała życia udzielić mi daru
Bądź pozdrowiona w imię Boga. Amen.*

Bez mała pół wieku później poeta napisze dłuższy poemat *Czeladnik*. Zajrzyjmy na początek części piątej poematu.

V

Byłem bardzo młody, kiedy przygnębiała mnie
wiecznie trwająca materia
I czas rozciągający się wstecz i w przód nieskończenie,

Co sprzeciwiało się obrazowi Boga Stwórcy,
Bo co by robił w odwiecznym wszechświecie?

List do *Storge* przeczytałem jak objawienie,
Dowiadując się, że *czas i przestrzeń mają swój początek,*
Że pojawiły się w jednym błysku, razem z tak zwaną materią,
Dokładnie jak zgadywali średniowieczni szkolarze z *Chartes*
i *Oxfordu,*
Przez *transmutatio* boskiego światła w światło fizyczne.
[...]

No cóż, to najkrótszy opis Wielkiego Wybuchu, jaki znam, znakomity dydaktycznie. Najpierw przedstawiony jest model poprzedni – statyczny kosmos newtonowski. Następnie dowiadujemy się, że Wielki Wybuch dał początek aktualnej czasoprzestrzeni. Wypełnionej materią, która również została wygenerowana w tym zjawisku. Zaś słowo „błysk” podkreśla rolę pierwotnego promieniowania, którego współczesną pozostałością jest promieniowanie reliktowe.

Sam wiersz jest poniekąd testamentem poety, jako że zamyka tomik *Druga przestrzeń* (Znak, Kraków 2002), ostatni tomik poetycki w pełni skomponowany przez 87-letniego autora.

POLSKO-UKRAIŃSKI KONKURS FIZYCZNY

LWIATKO



LWIATKO TO OGÓLNOPOLSKI KONKURS FIZYCZNY
ORGANIZOWANY NA WZÓR MATEMATYCZNEGO KANGURA
KOLEJNA EDYCJA ODBĘDZIE SIĘ **21 MARCA 2016 r.**
INFORMACJE, ZGŁOSZENIA ORAZ ZADANIA Z UBIEGŁYCH LAT
DOSTĘPNE SĄ NA STRONIE INTERNETOWEJ

WWW.LWIATKO.ORG

facebook.com/KonkursFizycznyLwiatko

Organizator: Stowarzyszenie Absolwentów i Przyjaciół V Liceum Ogólnokształcącego
im. Augusta Witkowskiego w Krakowie

Patroni i sponsorzy:

Oddział Krakowski
Polskiego Towarzystwa Fizycznego

Wydział Fizyki, Astronomii
i Informatyki Stosowanej
Uniwersytetu Jagiellońskiego

Pismo dla nauczycieli
i studentów fizyki
oraz uczniów

