

51

INSTYTUT FIZYKI



UNIwersytet Jagielloński

SEKCJA NAUCZYCIELSKA POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO

ZESZYT 4

1997

FOTON

ZESZYT DYDAKTYCZNY 4



O trudnościach w rozumieniu pojęcia energii



Spis treści

Wstęp: o trudnościach w rozumieniu pojęcia pracy i energii <i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	2
Jak małemu dziecku wprowadzić pojęcie energii – propozycja Feynmana	
Energia dla początkujących w ujęciu Szkoły Karlsruhe <i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	8
Różnice, energia i zmiana: proste podejście za pomocą rysunków <i>Richard Boohan, Jon Ogborn</i>	14
Ciepło w 7 klasie, czyli jak przeżyć w stajni Augiasza <i>Jerzy Ginter</i>	26
O energii mechanicznej w szkole średniej <i>Jadwiga Salach, Barbara Sagnowska</i>	27
O trudnościach poznawczych w rozumieniu energii potencjalnej <i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	36
Czy tarcie statyczne między oponą i nawierzchnią szosy pracuje? <i>Stanisław Jakubowicz, Waclaw Świątkowski</i>	41
Odpowiedź Autora <i>Jan Blinowski</i>	54
Nieprawidłowe zadanie	56
Anegdota <i>Łukasz Turski</i>	57
Ile waży litr cieczy? <i>Wojciech Dindorf</i>	58
Przestrzeń i Ruch Andrzeja Szymachy <i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	60
Co czytać	65
Komunikat PTF	66
Konkurs fizyczny <i>Jadwiga Wójcicka</i>	67
Komunikaty Redakcji	68



Wstęp: o trudnościach w rozumieniu pojęcia pracy i energii

Zofia Gołąb-Meyer

Przed przystąpieniem do nauczania mechaniki i termodynamiki należy zastanowić się nad głównymi elementami wiedzy, jaka ma pozostać u absolwentów po ukończeniu szkoły.

Wydaje się, że do niedyskusyjnych, podstawowych praw należy prawo zachowania energii z jego konsekwencjami praktycznymi i filozoficznymi. Byłoby pięknie powiązać to prawo z symetrią przestrzeni; jest to trudne, ale dla laików fascynujące.

Wydaje się też bezspornym, że rozumienie drugiej zasady termodynamiki jest bardzo ważne.

Może uda się osiągnąć w nauczaniu taki cel, że uczeń czytając cytaty z wiersza Szymborskiej (i piosenki Osieckiej) **nic dwa razy się nie zdarza** zrozumie, że jest on poetyckim przedstawieniem prawa wzrostu entropii.

Jak to osiągnąć? Zachęcamy do lektury Zeszytu. Znajdą w nim Państwo nie tylko interesujące propozycje, ale również analizę trudności poznawczych występujących u uczących się tych trudnych i ważnych praw.

Przyczyny trudności występujących w rozumieniu mechaniki można podzielić na grupy wynikające z tego że:

1. Mechanika klasyczna dotyczy wyidealizowanego abstrakcyjnego świata pojęć fizycznych.

2. Jeśli nawet mechanika klasyczna jawnie nie posługuje się matematyką wyższą (np. na wstępnym etapie nauczania), to jej aparat stanowią równania różniczkowe i geometria różniczkowa.

3. W mechanice szkolnej występuje mieszanie bardzo ogólnych i fundamentalnych praw fizyki (np. prawa Newtona) i prostej, aczkolwiek bardzo skutecznej fenomenologii (np. prawo Hooke'a).

4. W procesie nauczania zastosowania mechaniki klasycznej do opisu widzianej i doświadczanej przez ucznia rzeczywistości dobierane są bardzo selektywnie, często wbrew zainteresowaniom ucznia.

5. Uczący się nie jest niezapisaną kartą. Buduje sobie własne rozumienie zjawisk, które w przypadku mechaniki są na ogół typu arystotelesowskiego.

Później następuje gwałtowne zderzenie gotowego, naukowego opisu rzeczywistości z opisem ucznia, jego własnymi konstrukcjami. W literaturze to zjawisko opisywane jest jako błędne koncepcje (*misconceptions* i *preconceptions*).

Każda z powyższych grup trudności manifestuje się występowaniem konkretnych trudności w sytuacjach opisywanych w tym Zeszycie.

Pierwsze dwa punkty generują trudności, które wydają się nie do pokonania dla sporej rzeszy uczniów (20 do 30%) (patrz cytowany w *Fotonie* 43 Arons). Zebrane materiały w wielu krajach nie pozostawiają na ten temat złudzeń. Zatem zabiegi dydaktyczne powinny pójść w dwóch kierunkach:

a/ ułatwienia pokonania przeszkód związanych z tymi punktami

b/ opracowania programów alternatywnych dla uczniów, którzy nie są w stanie pokonać tych przeszkód (znane są dobre propozycje np. holenderski PLON).

Trudności poznawcze związane z abstrakcyjnością i zmatematyzowaniem pojęć fizycznych są bardzo wyraźne w rozumieniu pojęcia pracy i energii. Pojęciu pracy poświęcono już artykuł w *Fotonie* 45. W tym numerze będziemy ten problem rozwijać. Artykuły zamieszczone w tym numerze dotyczyć będą zarówno bardzo wstępnego, przygotowawczego nauczania jak i bardziej zaawansowanego, na poziomie licealnym i wczesno-universyteckim. Będą Państwo mieli okazję prześledzenia różnych propozycji ułatwiających uczniom pokonywanie trudności w rozumieniu pojęć energii i pracy.

W Zeszycie zamieszczamy dyskusję na temat pracy wykonywanej przez siłę tarcia.

Artykuł W. Świątkowskiego i St. Jakubowicza dotyczy fragmentów podręcznika Jana Blinowskiego *Samochodem przez fizykę*. Autorzy uważają, że niektóre sformułowania podręcznika J. Blinowskiego mogą powodować utrudnienie rozumienia pracy siły tarcia w trakcie jazdy samochodu.

Jedną z cech trudności epistemologicznej jest to, że występuje ona nawet w toku prawidłowego procesu nauczania. Ponadto usunięcie jej na jakimś etapie nauczania często powoduje pojawienie się innej przeszkody w innym miejscu. Po artykule W. Świątkowskiego i St. Jakubowicza zamieszczamy odpowiedź autora podręcznika Jana Blinowskiego. Jak Państwo sami zauważycie nie można odmówić racji tej odpowiedzi. W tej dyskusji argumenty adwersarzy są słuszne. Omawianym zagadnieniom trzeba poświęcić sporo uwagi, zrozumienie nie przyjdzie od razu, po przerobieniu jednego przykładu. Przykłady Świątkowskiego i Jakubowicza są zrozumiałe.

Powinny być jednak przez uczniów zrozumiałe do końca. Jeśli jest to niemożliwe, to wtedy lepiej unikać tego typu zadań, a w żadnym wypadku nie należy robić fałszywych uproszczeń, tak jak to miało miejsce w pewnym konkursowym zadaniu.



Jak małemu dziecku wprowadzać pojęcie energii – propozycja Feynmana

Poniższy fragment z wypowiedzi Richarda Feynmana na temat nauczania pojęcia energii pochodzi z *The Physics Teacher*, September 1969 (a także tłumaczenie polskie preprint TPJU D1-1991).

Przeglądałem ostatnio podręcznik do nauki przyrody dla pierwszej klasy. Otóż w podręczniku tym autorzy mieli niezbyt szczęśliwy pomysł, by już na pierwszej lekcji w pierwszej klasie uczyć „co to jest nauka”, dało to bowiem zupełnie fałszywy obraz nauki. Otóż w książce tej znajdują się kolejno ilustracje nakręcanego piaseczka, ręki nakręcającej sprężynkę, a następnie poruszającego się piaseczka. Pod ostatnią ryciną umieszczono pytanie:

„Co powoduje ruch piaseczka?”. Dalej pod rysunkiem żywego pieska umieszczono to samo pytanie („What makes a dog move?”). Jeszcze dalej znajduje się rysunek motocykla z tym samym pytaniem, i tak dalej.

Z początku myślałem, że w rozdziale tym będzie mowa o tym czym się nauka zajmuje, to jest o fizyce, biologii, chemii, tymczasem w podręczniku dla nauczyciela znalazłem odpowiedź: „Dzięki energii ciała poruszają się”.

Energia jest to bardzo subtelne pojęcie. Jest bardzo, bardzo trudno złapać jej sens prawidłowo. Mam na myśli to, iż nie jest łatwo wydedukować coś prawidłowo używając pojęcia energii. Moim zdaniem przekracza to poziom ucznia pierwszej klasy. Można by równie dobrze odpowiedzieć na stawiane pytanie „Bóg to porusza”, czy „duch to porusza”, czy też „ruchliwość to porusza”, (a w rzeczy samej trzeba by powiedzieć „energia to hamuje”).

Popatrzcie na to w ten sposób: to jest tylko definicja energii.

Prawidłowo powinno być na odwrót. Można by powiedzieć, że coś się może poruszać, kiedy ma energię, lecz nie „energia powoduje ruch”. Jest to bardzo subtelna różnica. To samo jest z inercją. Może to wyjaśnię.

Kiedy pytasz dziecko co porusza piaseczka, trzeba pomyśleć o tym jak odpowiedziałby na to pytanie zwykły człowiek. Odpowiedź jest oczywista: „nakręcona sprężyna”. Kiedy się rozwija porusza trybiki, a te z kolei koła. Cóż za wspaniały początek do rozpoczęcia nauki przyrody! Można rozebrać zabawkę na części i zobaczyć jak ona działa. Zobaczyć zmysłność trybów i przekładni. Złożyć zabawkę z powrotem i zobaczyć jak genialnie ludzie wymyślają narzędzia. Tak więc pytanie było dobre, tylko niezbyt szczęśliwa była odpowiedź na nie, ponieważ próbowała na siłę uczyć definicji energii. Lecz w rzeczy samej nic nie zostało nauczone.

Załóżmy, że uczeń odpowiedział: „Nie myślę, żeby to energia poruszała piaska”. Jak powinna rozwinąć się dalej dyskusja? Tu należy wyraźnie rozróżnić czy się uczy nowego pojęcia, czy się podaje definicję.

Test może być taki: „Powiedz swoimi słowami czegoś się nauczył, powiedz to bez używania nowego słowa, opisz jak piesek się rusza?” „Nie potrafisz, a więc niczego się nie nauczyłeś”. To może być w porządku, można nie chcieć nauczyć się niczego z fizyki, tylko formalnych definicji. Ale czyż nie jest to destrukcyjne na pierwszej lekcji?

Uczenie na pierwszej lekcji mistycznych formułek tylko po to by odpowiadać na pytania jest bardzo złe. W innych podręcznikach znajdujemy przykłady – grawitacja powoduje spadanie”, „zelówki twoich butów ścierają się z powodu tarcia”...

Tak po prostu to stwierdzić to nie jest jeszcze fizyka, ponieważ powyższe zdania *de facto* nic jeszcze nie wyjaśniają. Mój ojciec zajmował się trochę energią i zaczął używać tego słowa, kiedy już miałem o niej lekkie pojęcie. Wiem jak by postąpił, ponieważ zawsze używał tej samej metody. Otóż, czemu nie zacząć od nakręcanego piaseczka. Ojciec powiedziałby „Piaseczek się porusza ponieważ Słońce świeci”.

Ja zapytałbym „Co ma do tego świecące Słońce?, przecież piaseczek rusza się bo nakręcono sprężynę”.

„Ach, mój przyjacielu, a skąd się to bierze, że jesteś zdolny nakręcić sprężynę?”

„Bo jem”.

„A co ty jesz?”.

„Jem rośliny”.

„A jak one rosną?”

„Rosną bo Słońce świeci”.

„I to samo jest z psem”. „A co z paliwem, benzyna?” „Ona zbiera energię, schwytaną ze Słońca przez rośliny”.

Jest tu ta sama idea, która była w opisywanym podręczniku lecz wyrażona w ekscytujący sposób. Wszystkie widziane przez nas ruszające się przedmioty poruszają się dzięki świecącemu Słońcu. To wyjaśnia zależność między jednym źródłem energii a innymi. Rozumowanie może być odrzucone przez dziecko. Ono może powiedzieć „nie uważam, iż to Słońce powoduje ruch”...

(tłum. Z.G-M)



Energia dla początkujących w ujęciu Szkoły Karlsruhe

Z. Golqb-Meyer

Falk i Herrmann, autorzy tzw. Szkoły Karlsruhe [1], [2] zaproponowali podejście pozwalające ich zdaniem łatwo pokonać wiele trudności występujących przy poznawaniu pojęcia energii.

Koncepcję wprowadzania energii można prześledzić na przykładzie podręcznika do fizyki dla klas 5 i 6 Falka i Herrmanna *Neue Physik – Energiebuch* [3].

Książka jest rezultatem kilku lat pracy kilkunastoosobowego zespołu. Była testowana na przeszło 1000 uczniach. Autorzy książki twierdzą, że książka spełnia następujące warunki:

1. Jest poprawna z naukowego punktu widzenia.
2. Od samego początku nauczania fizyki wskazuje na analogie struktury praw fizyki opisujących różne zjawiska, może być więc doskonałym pomostem pomiędzy różnymi naukami przyrodniczymi (biologia, chemia).
3. Pojęcia wprowadzane w książce są łatwe do wizualizacji.
4. Wprowadzanie do energii w klasach 5 i 6 jest elementem tzw. projektu Karlsruhe [1], który stanowi jednorodną ujęcie fizyki od kursu wstępnego dla dzieci w szkole podstawowej do kursu uniwersyteckiego.
5. Wyniki nauczania są bardzo obiecujące.

Jako centralne pojęcie podręcznika autorzy wybrali pojęcie energii ponieważ:

1. Energia jest kluczowym pojęciem dla zrozumienia zjawisk życia codziennego.
2. W naukowym opisie rzeczywistości energia też jest pojęciem bardzo ważnym.

W swoim ujęciu autorzy posługują się wielkościami fizycznymi ekstensywnymi, które nazywają substancjalnymi – fundamentalnymi w całej fizyce [2]. Można mówić o ich rozkładzie w przestrzeni, o ich gęstości. Mogą one spełniać (lub nie) równanie ciągłości. Z dydaktycznego punktu widzenia ważne jest to, że mogą być przedstawione jako rodzaj substancji, która może być rozmieszczona w przestrzeni.

Wielkości substancjalne to: energia, entropia, ładunek elektryczny, pęd, kręt, ilość materii. Można mówić o ilości energii w pewnym obszarze przestrzeni, o przepływie energii od jednego ciała do drugiego. Różne procesy występujące w przyrodzie mogą być w sposób prosty przedstawione i opisane ilościowo tymi samymi formalnymi prawami opisującymi przepływ tych wielkości sub-

stancjalnych. Opis procesów fizycznych poprzez wielkości substancjalne jest łatwy do uchwycenia bez wzorów matematycznych za pomocą diagramów.

Kluczowe pojęcie książki – energia i jej rozmaite sposoby transportu może być przedstawiana na poniższym diagramie:



Na samym początku podręcznika autorzy przekonują uczniów o tym, że energia może przepływać zawsze z przynajmniej jedną inną wielkością substancjalną, którą nazywają **nośnikiem energii**¹.

Nośniki energii są pojęciami bardzo prostymi do uchwycenia dla dzieci, można je zobaczyć i zmierzyć. Są nimi bowiem jedzenie, paliwo, woda, wiatr. W miarę postępów w nauce wprowadza się nośniki bardziej abstrakcyjne, takie jak ładunek elektryczny czy kręt. Nośnik energii jest wyrażeniem obecnie powszechnie i często używanym.

Książka podzielona jest na 15 jednostek:

1. Energia i jej nośniki.
2. Źródła i odbiorniki energii.
3. Nośniki energii: olej napędowy, pas transmisyjny, sprężone powietrze.
4. Nośniki jednokrotnego i wielokrotnego użytku.
5. Elektryczność jako nośnik energii.
6. Prąd energii i prądy nośników energii.
7. Ładunek energii w nośniku energii.
8. Światło jako nośnik energii.
9. Kręt jako nośnik energii.
10. Przetwarzacze energii.

¹ To stwierdzenie można traktować jako prawo przyrody. Przepływ energii I_e (moc) można zapisać jako $I_e = \phi I_a + \mu I_n + \vec{v} \cdot \vec{I}_p + T I_s + \dots$ gdzie

I_e strumień energii (konwencjonalnie moc)

I_a strumień ładunku (konwencjonalnie natężenie prądu)

I_n strumień molarny (przepływ materii)

\vec{I}_p strumień pędu (konwencjonalnie siła)

I_s strumień entropii

ϕ potencjał elektryczny, μ potencjał chemiczny, \vec{v} prędkość, T temperatura bezwzględna.

11. Elektromagnes i silnik elektryczny.
12. Pojemniki energii.
13. Odprowadzanie „ciepła” (Chłodzenie).
14. Substancje i ich własności.
15. Nośnik energii: paliwo + tlen.

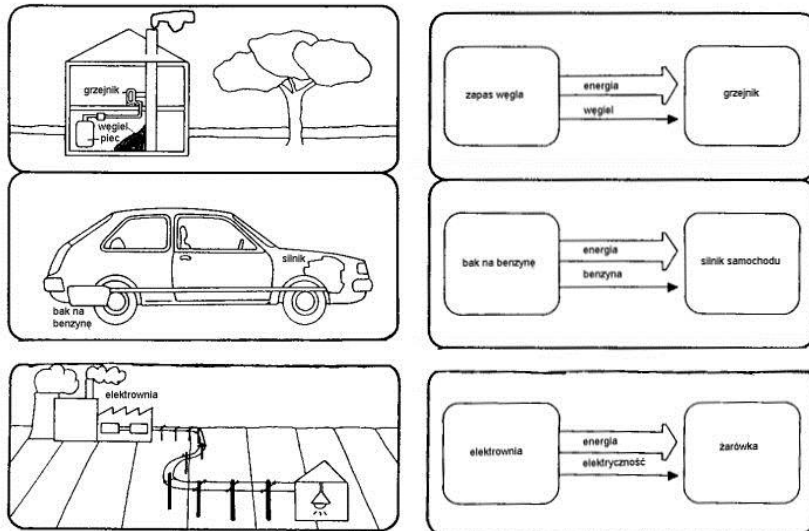
W porównaniu z klasycznymi pojęciami fizycznymi autorzy wprowadzają komplet niekonwencjonalny: nośniki energii, przetwarzacze energii, pojemniki energii, źródła energii, odbiorniki energii, prąd energii, prąd nośników energii.

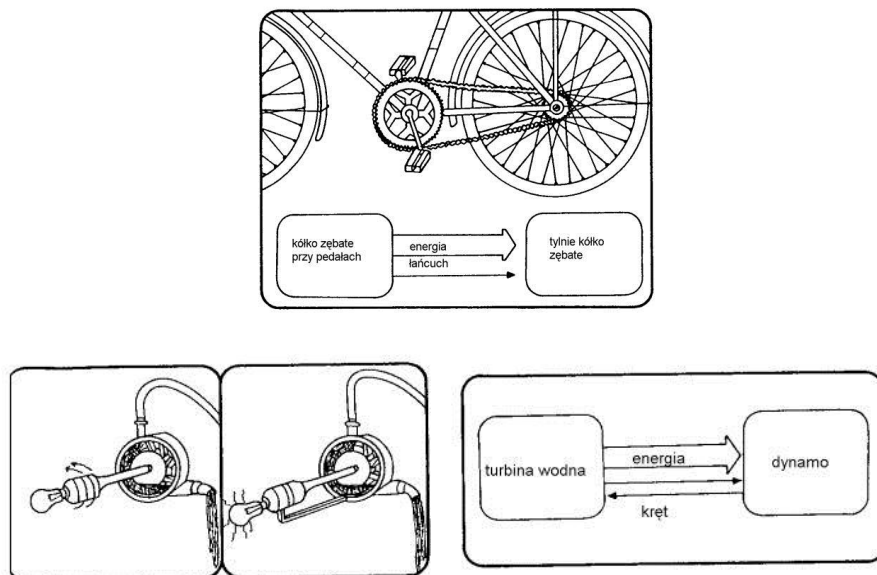
Nie wprowadza się takich pojęć jak energia kinetyczna, energia potencjalna, energia pola elektrycznego, energia chemiczna, ciepło. Tych pojęć nie ma nie tylko w kursie wstępnym dla dzieci, lecz również są one nieobecne w kursie uniwersyteckim. Autorzy uważają, że pojęcie *formy energii* jest nieodpowiednie a nawet mylące (patrz [1]).

Frederick Herrmann, który ma duże doświadczenie w pracy z dziećmi zdaje sobie sprawę z nakładania się znaczeń pojęć w języku potocznym i w fizyce. Bardzo starannie dobiera przykłady i ich opis, by uniknąć wynikających z tego nieporozumień i ukierunkowywać intuicję uczniów w dobrym kierunku.

Przykłady:

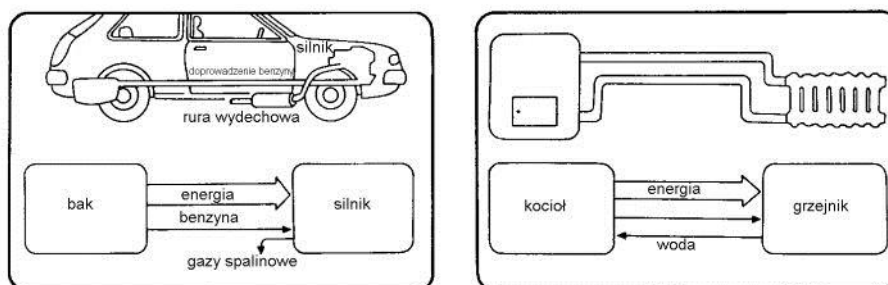
I. Zobaczymy jak kolejno są wprowadzane różne nośniki energii: węgiel, benzyna, elektryczność, napięty łańcuch bardziej abstrakcyjny kręt.

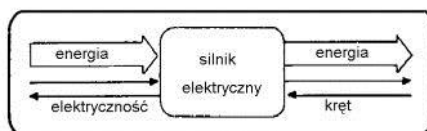




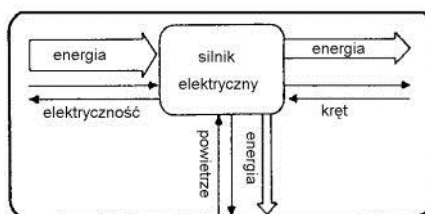
II. Autorzy przygotowują dzieci do zrozumienia drugiego prawa termodynamiki. Proszę to porównać z propozycją Ogborna zamieszczoną w tym *Fotografie*. Proszę zwrócić uwagę na strzałki na poniższych diagramach. Oznaczają one wylot gazów spalinowych z samochodu, powrót wystudzonej wody do kotła centralnego ogrzewania, odpływ gorącego powietrza od silnika elektrycznego.

Autorzy stopniowo objaśniają zjawisko. W pierwszym podejściu (rysunek na str. 3) zignorowano np. rurę wydechową w samochodzie.

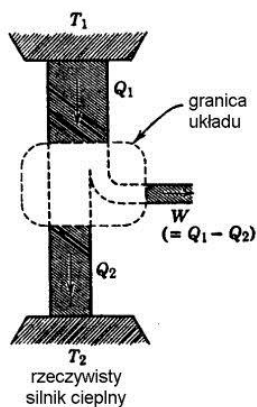




W toku nauczania powyższy rysunek ulega uzupełnieniu:

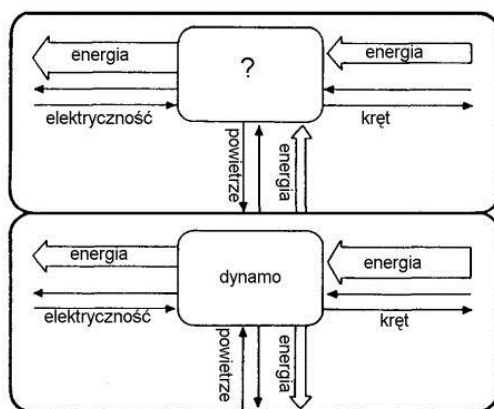


Powyższe przykłady i diagramy mają być wprowadzeniem do rozumienia ilustracji z podręcznika D. Hallidaya i R. Resnicka [4] (str. 625).

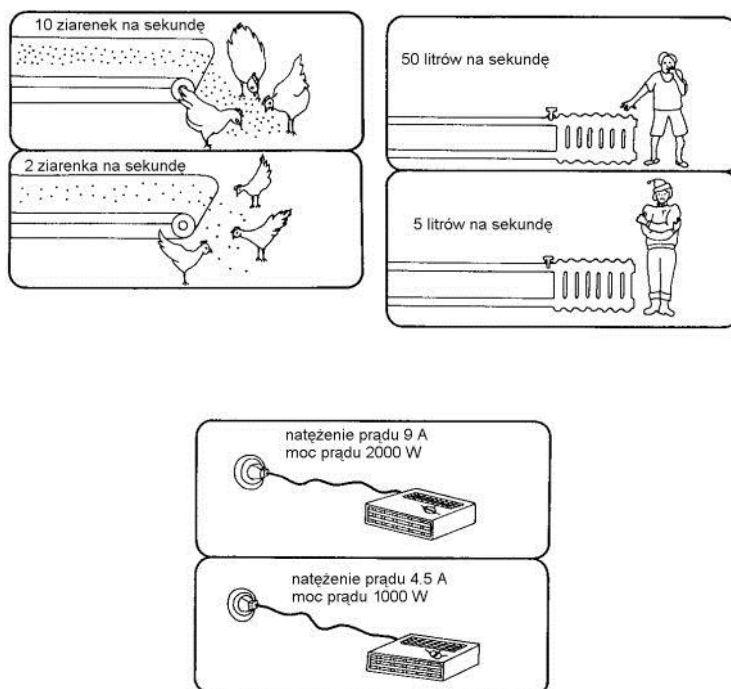


W rzeczywistym silniku cieplnym część ciepła Q_1 pobranego przez silnik zostaje zamieniona na pracę W , lecz reszta zostaje usunięta jako ciepło Q_2 .

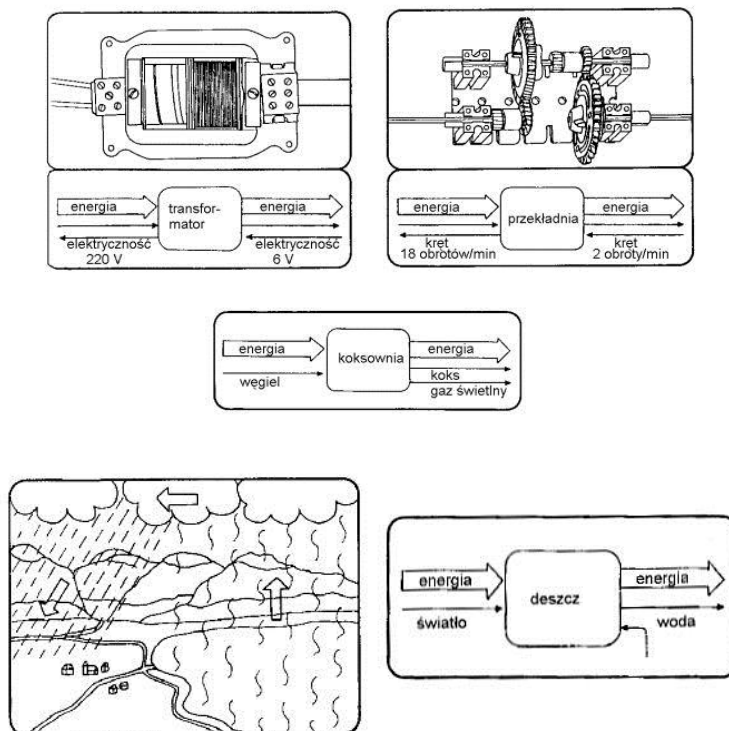
W jednostce 13 dyskutowany jest problem *perpetuum mobile* na przykładzie relacji pomiędzy silnikiem elektrycznym a dynamem. Oto odpowiednie diagramy do dyskusji nad zbudowaniem *perpetuum mobile* z układu dynamo-silnik.



III. A oto ilustracje przygotowujące wprowadzenie pojęcia natężenia prądu.



IV. A oto przykłady przetwarczy energii:



Podsumowanie: Zalety podręcznika:

1. Podejście Karlsruhe od samego początku nauczania wskazuje analogie w przebiegu różnych zjawisk fizycznych i na uniwersalność opisu tych zjawisk. Ta uniwersalność to esencja fizyki.
2. Zarówno dobór wprowadzanych pojęć i ich prezentacja przygotowują prawidłową podstawę rozumienia termodynamiki.
3. Autorzy czerpią przykłady z technicznego środowiska uczniów, z którym uczniowie są obznajomieni od wczesnego dzieciństwa.
4. Autorzy używają języka codziennego, lecz w bardzo starannie dobranych kontekstach by nie rodzić tzw. błędnych koncepcji.
5. Ilustracje i diagramy są bardzo czytelne. Stanowią jedną z najmocniejszych zalet książki.
6. Propozycja Karlsruhe dla klas najniższych nie stoi w kolizji z tradycyjnym kursem fizyki. Taki konflikt może powstać na wyższych etapach nauczania.

Pojęciami nie używanymi w nauczaniu klasycznym są: *prąd energii, moc, prądy nośników energii*. Nie są one jednak zbyt trudne i abstrakcyjne dla uczniów szkoły podstawowej. Ich wprowadzenie i używanie w żadnym stopniu nie utrudnia późniejszego klasycznego opisu zjawisk za pomocą energii kinetycznej i potencjalnej.

Wydaje się, że wprowadzenie w pierwszej kolejności ogólnego pojęcia energii w miejsce tradycyjnego rozpoczynania nauki od energii mechanicznej punktów materialnych, kinetycznej i potencjalnej jest zabiegiem uzasadnionym dydaktycznie (proszę porównać propozycję Feynmana).

Przekład polski książki Falka i Herrmanna rozdano parunastu nauczycielom fizyki szkół podstawowych (oraz ich uczniom). Opinie nauczycieli były bardzo pozytywne.

W zespole redakcyjnym *Fotonu* opinie na temat podejścia Falka i Herrmanna są podzielone. J.S. uważa, że podejście jest dobre dla bardzo mało zdolnych dzieci. Możliwe, że uwaga trafia w sedno. Ale czyż nie mamy wielu mało zdolnych uczniów i czyż, co najważniejsze, nie jesteśmy ograniczeni czasem nauczania?

Moim zdaniem podejście Karlsruhe jest dobre dla klas jeszcze niższych niż proponują autorzy, to jest dla klas 4 i 5.

Literatura

- [1] Ein moderner Physikkurs fuer Anfaenger und seine Begrundung, Herausgeber G. Falk, F. Herrmann, in *Konzepte eine zeitgemaßig Physik unterrichts*, Schroedel, 1979.
- [2] G. Falk. F. Herrmann, G. Bruno Schmid, *Energy forms or energy carries?*, A. J. Phys., **51**, 12, p. 1074, 1983.
także materiały z Letniej Szkoły *Summer School on New Concepts in Physics Teaching – Scientific Basis and Realization in School*, may 1987, Zakopane, Poland.
- [3] G. Falk, F. Herrmann, *Neue Physik Das Energiebuch*, Schroedel, 1985.
- [4] D. Halliday, R. Resnick, *Fizyka*, PWN, 1994.



Różnice, energia i zmiana: proste podejście za pomocą rysunków

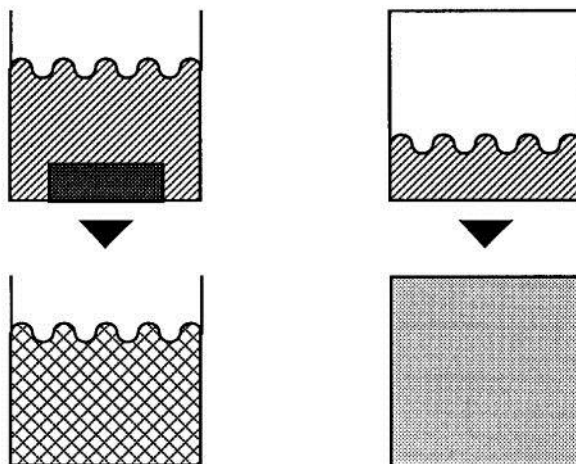
Richard Boohan, University of Reading

Jon Ogborn, University of London

Uczniowie myślą o różnicach: przykładowy scenariusz

Zacznijmy od kilku przykładów pokazujących, co mogłoby się dzieć w klasie, w której przez kilka lat uczyliśmy przedmiotów przyrodniczych, gdybyśmy używali nowego sposobu myślenia o zmianach fizycznych i chemicznych. Nasze przykłady oparte są na tym, co widzieliśmy w klasach eksperymentalnych, ale tutaj dla celów ilustracji zostały skrócone i wyidealizowane. Zawierają też na koniec pewną wizję przyszłości.

Grupa 13-latków pracuje nad uzyskaniem czystych substancji. Przedmiot badań jest całkiem zwyczajny: filtrowanie, rozpuszczanie, destylacja, krystalizacja. Niektóre ćwiczenia trudniej rozpoznać. W jednym z nich uczniowie dostają pół tuzina abstrakcyjnych z wyglądu obrazków, jak ten z Rys. 1, przedstawiających ciało stałe i ciecz, z których powstaje roztwór oraz parowanie cieczy. Inne obrazki tego typu przedstawiają mieszanie ciał stałych, mieszanie cieczy itd.



Rys. 1. Dwa abstrakcyjne obrazki: ciało stałe i ciecz stają się inną cieczą; ciecz przechodzi w parę.

Zadaniem uczniów jest dopasowanie pewnej liczby procesów, np. wysychającej kałuży, mokrego prania wywieszzonego, by wyschło, przyrządzenia kawy rozpuszczalnej i zmywania brudnych talerzy do obrazków, które je najlepiej przedstawiają. Przy okazji uczniowie wprawiają się w używaniu różnych naukowych terminów: roztwór, para itd. Ale można podsłuchać, że używają też mniej znanych określeń:

„kawa rozprzestrzenia się w gorącej wodzie, aż wszędzie jest tak samo”

„w mokrym praniu jest dużo wody, a w powietrzu nie, więc woda rozprzestrzenia się w powietrzu”.

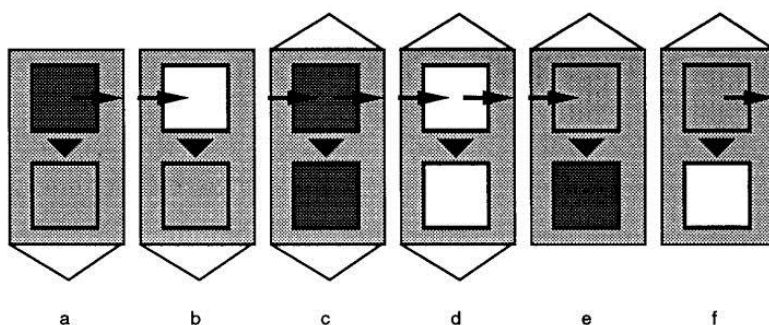
Nauczyciel czasem też zadaje obco brzmiące pytania, np. „co mogłoby być przykładem procesu z tego obrazka, ale zachodzącego w przeciwnym kierunku?”. Po pewnej dyskusji obrazka przedstawiającego parowanie można uzyskać jako odpowiedź „krople wody skraplające się na zimnej puszcze Coli wyjętej z lodówki”. Klasa może mówić o wodzie „zbierającej się” zamiast „rozprzestrzeniającej”. Może paść inne nieznanne pytanie: kiedy to się zdarza „samo z siebie?”, z przypomnieniem wcześniejszych ćwiczeń dotyczących np. rozprzestrzeniania się brudu w wodzie lub zapachów w powietrzu, które to procesy zachodzą „same z siebie”. Dla schnącego mokrego prania odpowiedź może brzmieć, że w ciepłe dni, suche dni albo wietrzne dni. Uczeń, pamiętając poprzednie ćwiczenia i stowarzyszone z nimi hasła, powie, że „materia przemieszcza się z miejsca, gdzie jest jej dużo, tam, gdzie jest jej mało”. Dyskusja ta dotyczy więc w zasadzie różnic w koncentracji materii, i tego, że materia rozprzestrzenia się z miejsc o wyższej koncentracji do miejsc o niższej.

Mniej więcej po roku, już z innym nauczycielem, który jednak wie, co się działo przedtem, ta sama klasa omawia systemy centralnego ogrzewania i lodówki. Następuje to po tradycyjnej części dotyczącej termometrów i temperatury, przy której okazuje się, że uczniowie nie rozróżniają ciepła i temperatury oraz wierzą w to, że izolacja grzeje. Tym razem dyskutują, które z abstrakcyjnych obrazków z Rys. 2 najlepiej przedstawiają pokój ogrzewany przez kaloryfer.

Wiedzą, że kolor ciemniejszy oznacza wyższą temperaturę, a jaśniejszy – niższą, że strzałki do wewnątrz lub na zewnątrz oznaczają przepływy energii, i że proces, który zachodzi „sam przez się” oznaczony jest trójkątną strzałką skierowaną w dół u dołu obrazka (jak w *a* i *b*), a proces, który „trzeba zmusić, aby zaszedł” – strzałka do góry u góry obrazka (jak w *e* i *f*). Każde pudełeczko – obrazek pokazuje stan rzeczy „przed” i „po”, a mały czarny trójkącik wskazuje kierunek biegu czasu.

Niektórzy argumentują za Rys. *a*: „gorący pokój traci energię przez okno i stygnie”, lub „gorący kaloryfer oddaje energię pokojowi i stygnie”. Inni wolą obrazek *e*: „Energia płynie od kaloryfera i ogrzewa pokój”. Po uzgodnieniu, że coś jest w tych wszystkich pomysłach, klasa decyduje się na Rys. *c*: „W pokoju

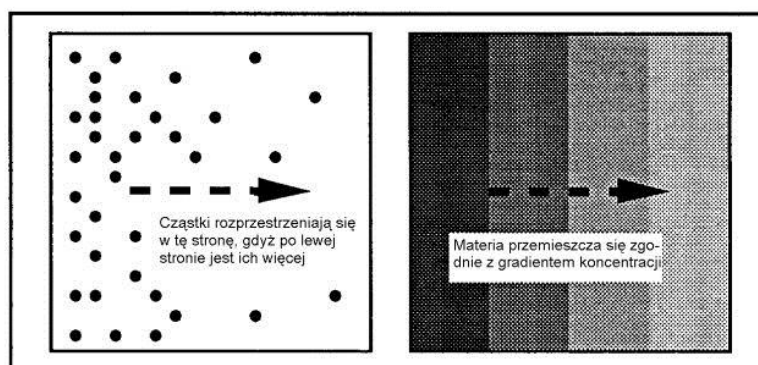
utrzymuje się temperaturę wyższą niż na zewnątrz, pokój traci energię przez okna, a dostaje ją z kaloryfera”.



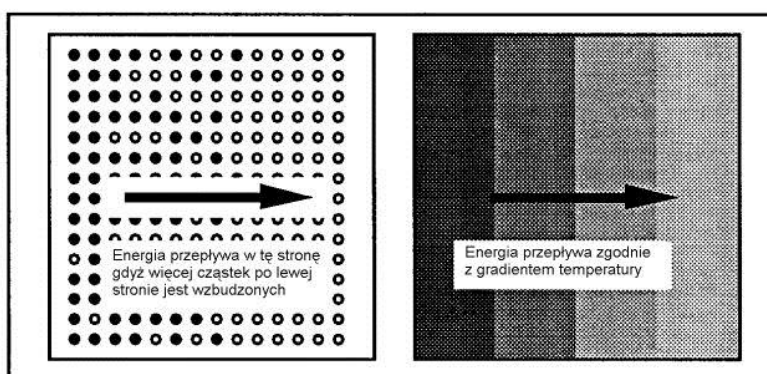
Rys. 2. Abstrakcyjne obrazki przedstawiające stygnięcie, ogrzewanie i utrzymywanie w temperaturze wyższej od otoczenia.

Kilku uczniów ciągle myśli w terminach absolutnych, mówiąc np. „przedmioty gorące tracą energię”. Inni wyraźnie skupiają uwagę na różnicach: „energia przepływa od ciała cieplejszego do zimniejszego”, w czym pomaga im zauważenie, że energia płynie od kaloryfera do pokoju, ale z pokoju na zewnątrz. Potem dyskusja o lodówkach pozwala stopniowo stwierdzić, że obrazek *f* przedstawia lodówkę zaraz po jej włączeniu, a *b* pokazuje, co się dzieje, gdy się ją wyłączy. Klasa zgadza się, że ciała zimne w cieplejszym otoczeniu ogrzewają się, a ciała gorące stygną w chłodniejszym „całkiem same z siebie”, ale że coś trzeba zrobić, by wewnątrz lodówki stało się zimniejsze od pokoju. Najlepiej pasuje tu obrazek *d* i wszyscy się dziwią, jak podobny jest do rysunku przedstawiającego ciepły pokój. Nauczyciel mówi o tym, że czasem trzeba „biec szybko, by zostać w tym samym miejscu”, o „stanach stacjonarnych”, i przypomina uczniom, że ich ciała też są stale cieplejsze od otoczenia.

Znowu mówimy o różnicach, tym razem o różnicach „gorącości”, „zimna” lub temperatury. Nauczyciel zauważa, że gorące ciało przypomina materię ściśniętą w małej objętości: ma dużą **koncentrację** energii zamiast dużej koncentracji materii. Dostajemy nowe hasło: „energia płynie z miejsca gorącego do zimnego”. Powoli staje się jasne, że zarówno rozkład materii, jak i energii jest wywoływany przez różnice, i że w tym procesie te różnice mają skłonność do znikania, ale że różnice można też stworzyć i utrzymywać, choć nie odbywa się to spontanicznie.



Rys. 3. Symulacja dyfuzji materii.



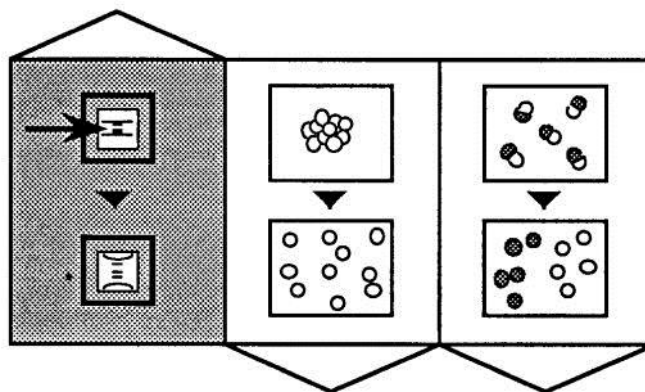
Rys. 4. Symulacja przepływu energii (cząsteczka wzbudzona może „oddać” wzbudzenie sąsiadce).

Nie zważając na Brytyjski Narodowy Program Nauczania, w szkole, o której mówię, zdecydowano się wspomnieć o tym, że materia składa się z drobin (cząstek, atomów czy jonów) dość wcześnie, gdy uczniowie mają 14 lat. Nasza klasa ogląda symulacje komputerowe (Rys. 3) cząstek w ruchu chaotycznym, zawsze niszczącym dowolną początkową regularność, a w szczególności wyrównującą różnice koncentracji. Uczniowie oglądają też prosty model rozprzestrzeniania się energii z miejsca gorącego do zimnego; używamy do tego symulacji (Rys. 4), w której cząsteczki mają tylko dwa stany energii (wzbudzony i niewzbudzony), i energia „dyfunduje” z obszarów o większej koncentracji do tych o mniejszej. Mówi się im też, że nie ma w tym nic trudnego, że w istocie jest to oczywiste. Materia czy energia spontanicznie przepływają z miejsc „bogaty” do „ubogich”, gdyż „bogate” ją mają i mogą oddać, a „ubogie” nie. Tłumaczenie tego na język rosnącej liczby mikrostanów następuje znacznie

później; w tej chwili jest to po prostu oczywiste i konieczne następstwo tego, że materia składa się z mnóstwa maleńkich cząsteczek, których zachowanie jest chaotyczne.

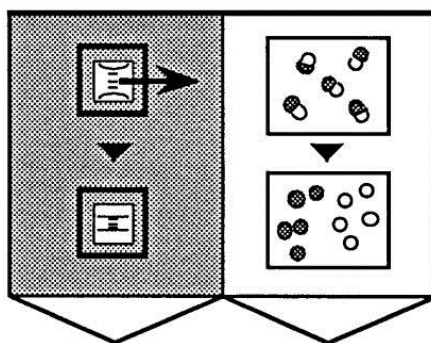
Dwa lata później nasza klasa zajmuje się pewnymi aspektami równowagi chemicznej. Przedtem rozważali energię potencjalną zgromadzoną w rozciągniętych sprężynach, i w „sprężynie” pola grawitacyjnego Ziemi przy podnoszeniu przedmiotów do góry. Utrata energii potencjalnej, gdy sprężyny się kurczą, a ciała spadają w dół, jest jeszcze jedną z tych rzeczy, które „zachodzą same z siebie”, a przyczyną jest to, że energia rozdziela się między wiele cząsteczek, więc nie zgromadzi się z powrotem w sposób przypadkowy. Różnica energii potencjalnej to kolejna różnica, która może wywołać zmiany, ulegać zniszczeniu, ale można ją stworzyć czy utrzymywać.

Załóżmy teraz, że nasi uczniowie rozważają wytapianie metali. Łatwym przykładem jest uzyskiwanie rtęci z rudy siarczku rtęci (cynobru) przez zwyczajne ogrzewanie; proces ten znany jest od ponad 3000 lat. Wiązania między siarką i rtęcią muszą zostać rozerwane, a ich energia chemiczna rośnie kosztem ciepła z otoczenia. To nie jest proces samorzutny. Ale siarka i rtęć mogą parować i rozprzestrzeniać się, i to wystarczy, by napędzać proces, jeśli otoczenie jest dostatecznie gorące. Ponadto w tym procesie powstaje więcej cząsteczek, niż było na początku; jest to jeszcze jeden rodzaj różnicy, która pomaga zająć każdemu procesowi. Na Rys. 5 widzimy trzy obrazki, które przedstawiają współzawodniczące ze sobą tendencje. Parowanie wody, z którym mieliśmy do czynienia wcześniej, przedstawiałyby dwa pierwsze obrazki: zrywanie wiązań i rozprzestrzenianie się.



Rys. 5. Wytapianie rtęci z rudy: zrywanie wiązań, rozprzestrzenianie się cząsteczek, przyrost liczby cząsteczek (dotyczy to też wytapiania żelaza w obecności węgla - patrz niżej).

Inny przypadek to uzyskiwanie żelaza z tlenku żelaza przy użyciu magnezu w procesie redukcji termicznej. Magnez wiąże się tak silnie z tlenem, że wypadkowy efekt rozrywania wiązań między żelazem i tlenem i tworzenie nowych między magnezem i tlenem daje obniżenie energii potencjalnej. Liczba cząsteczek też się trochę zwiększa (z cząsteczki Fe_2O_3 i 3 atomów Mg dostajemy 3 MgO i dwa atomy Fe). Rys. 6 pokazuje, że z każdego z tych powodów proces jest spontaniczny („w dół”); zachodzi sam z siebie, gdy już się rozpocznie.



Rys. 6. Proces redukcji termicznej: wypadkowe tworzenie wiązań i powstawanie większej liczby cząsteczek.

Na koniec omawia się konwencjonalną metodę wytopienia żelaza przy użyciu węgla. W przeciwieństwie do magnezu, węgiel wiąże się z tlenem słabiej, niż żelazo, więc wypadkowy efekt, jak poprzednio na Rys. 5, polega na rozrywaniu wiązań i gromadzeniu energii potencjalnej; jest to proces „pod górkę”. To, co sprawia, że ten proces może w ogóle zachodzić, to fakt, że dwutlenek węgla – mimo wysiłków ludzkości w ciągu ostatnich 200 lat – występuje w atmosferze w bardzo małym stężeniu, więc rozprzestrzenianie się dwutlenku węgla z miejsca, gdzie zachodzi proces, do atmosfery pomaga zajść procesowi, gdyż jest spontaniczne. Wzrasta też liczba cząsteczek (z dwóch Fe_2O_3 i trzech C dostajemy cztery Fe i trzy cząsteczki CO_2). Rys. 5 obrazuje więc obydwa procesy wytopiania.

Na lekcjach biologii uczniowie zobaczą, jak tlen przyczepia się do hemoglobiny w bogatym w tlen środowisku płuc, i uwalnia się ponownie w uboższym w tlen środowisku tkanki mięśniowej. Jest to kolejny przykład różnicy wywołującej zmiany, tym razem w obu kierunkach. Mogą też usłyszeć o tym, jak cząsteczki ATP „spadają w dół”, gdy jedna grupa fosforanowa zostaje silnie związana przez wodę w tkankach, umożliwiając inne zmiany, już nie spontaniczne, które tworzą różnice, np. pompowanie jonów do komórek nerwowych.

Ci uczniowie naszej klasy, którzy po ukończeniu 16 lat będą kontynuować naukę przedmiotów przyrodniczych, zaczną przywiązywać liczby, a czasem

i wzory do tych i innych obrazków (np. przedstawiających mieszanie cząstek). Liczby te mogą być zmianami entropii pochodzącymi z różnych aspektów procesu. Mogą też oznaczać energię swobodną Gibbsa na mol; niektórzy uczniowie mogą nauczyć się nazywać ją „różnicą potencjałów chemicznych” i oczekiwać, że zostanie zamieniona na różnicę energii potencjalnej. Nauczają się obliczać s.e.m. ogniwa elektrochemicznego, postrzegając ją jako różnicę potencjału elektrycznego wywołaną przepływem elektronów pod wpływem różnicy potencjału chemicznego, która jest dokładnie tak duża, by zrównoważyć tę różnicę potencjału chemicznego.

Uczniowie, którzy po ukończeniu 16 lat nie uczą się już żadnych przedmiotów przyrodniczych, praktycznie nie zetkną się z ilościowym podejściem do drugiej zasady termodynamiki. Ale w poprzednich latach wchłoną całkiem sporą dozę myślenia jakościowego. Będą wiedzieć, że istnieją procesy samorzutne, i że te części procesu, które nie są samorzutne, muszą być napędzane przez inne, które nimi są (jakościowa wersja drugiej zasady może brzmieć „przynajmniej jeden musi iść w dół”). Będą też wiedzieć, że to, co sprawia, że proces jest spontaniczny, to jakiś rodzaj „rozprzestrzeniania się” materii lub energii, albo obydwu na raz. Będą wiedzieć, że to różnice wywołują zmiany; że aby wywołać różnicę, potrzebna jest jakaś inna różnica; że w każdym procesie jakaś różnica musi ulec zniszczeniu. Jeśli nauczyciele różnych przedmiotów przyrodniczych będą wystarczająco dobrze współpracować, uczniowie zobaczą, że fotosyntezę można traktować jako proces odwrotny do spalania. Będą mieli okazję porównać stan stacjonarny własnego ciała do stanu ogrzewanego pokoju. A jeśli nauczyciele znajdą trochę czasu, uczniowie usłyszą opowieść o ogromnych różnicach we Wszechświecie, wywołanych jego rozszerzaniem się, które są źródłem wszystkich procesów podtrzymujących samo życie.

Program „Energia i zmiana”

Powyższy scenariusz przedstawia sposób myślenia opracowany w projekcie „Energia i zmiana” (sponsorowanym przez Fundację Nuffielda), w ramach którego w pewnej szkole przygotowano i wypróbowywano (także w innych szkołach) na bieżąco zestaw materiałów nauczania. Dostępny jest zestaw 3 książeczek [1] i pakiet ponad 100 zajęć w klasie [2].

Program ten powstał w wyniku pilnej potrzeby i pewnego niezadowolenia. Pilna potrzeba brała się stąd, że bardzo pożądanym zmianom w programach nauczania, dającym ważne miejsce w nauczaniu przedmiotów przyrodniczych takim ważnym i istotnym procesom, jak zanieczyszczenie (środowiska), produkcja i oszczędzanie energii i podtrzymywanie życia, nie towarzyszyło stworzenie języka odpowiedniego do mówienia o nich lub rozumienia ich lepiej niż tylko powierzchownie. Wszystkie te zagadnienia, i wiele innych istotnych dla programu, od oddychania po spalanie, muszą być rozumiane w świetle drugiej

zasady termodynamiki. To zaś wydawało się w oczywisty sposób beznadziejne. Ilu nauczycieli twierdzi, że rozumie termodynamikę, nie mówiąc już o prostych i jasnych sposobach mówienia o niej z uczniami szkoły podstawowej?

Niezadowolenie dotyczyło obecnego stanu dyskusji na temat nauczania o energii. Dostrzegliśmy, że nauczyciele czuli się sparaliżowani szeregiem zakazów: „nie wolno mówić, że ciepło to rodzaj energii”, „nie mówcie o przemianach energii, mówcie o przekazywaniu energii”; „nie mówcie, że energia wywołuje zmiany” itd. Nie sądziliśmy, że z dalszych zakazów wyniknie coś dobrego, niezależnie od dobrych intencji. Potrzebowaliśmy natomiast czegoś pozytywnego, nowych rzeczy, które można było powiedzieć, z ufnością i z dużym prawdopodobieństwem, że uczniowie je zrozumieją. Byłoby idealnie, gdyby każdy nowy sposób mówienia o energii i zmianach dał się gładko przenieść do nauczania w wyższych klasach, gdzie zostałyby rozwinięty i wzbogacony, a nie odrzucony jako nadmierne uproszczenie. No i musiałby być poprawny merytorycznie!

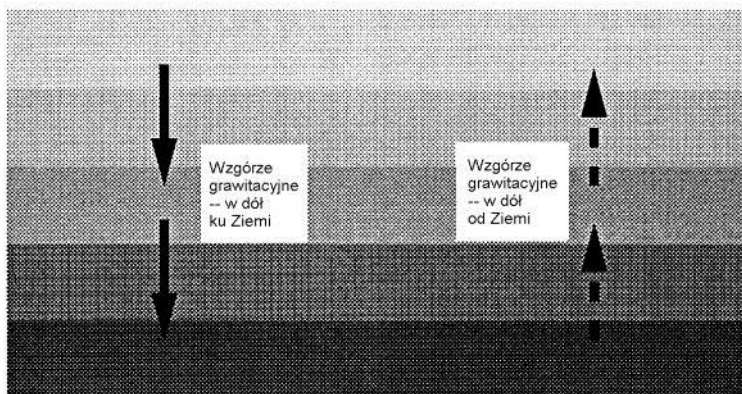
Różnice

Od samego początku mieliśmy pomysł, by zamiast próbować mówić o zmianach entropii, mówić o różnicach. W dowolnym stanie o niskiej entropii istnieją różnice – rozkład materii i energii jest w jakiś sposób nierównomierny. Zamiast więc mówić, że entropia rośnie, możemy powiedzieć, że różnice wywołują zmiany, które dążą do zmniejszenia tych różnic. Najlepiej zacząć od różnicy stężeń, a potem temperatury (postrzeganej jako koncentracja energii), oraz różnicy ciśnień, potem zaś pójść różnice energii potencjalnej – grawitacyjnej i elektrycznej. Narzuca to porównanie zasobów energii potencjalnej do rozciągniętych sprężyn, więc energia potencjalna grawitacji stała się energią „sprężyny grawitacyjnej”, a energia zgromadzona przy rozciąganiu (rozrywaniu) wiązań chemicznych – energią „sprężyn chemicznych”. Na tym etapie wartość prężności „idzie w dół” dla procesów spontanicznych stała się oczywista.

Pomysł związania zmian z niszczeniem (lub tworzeniem) różnic miał kilka zalet. Istoty ludzkie łatwo zauważają różnice – jasny lub ciemny, głośny lub cichy. To, że przyczyna zmiany zostaje zużyta w procesie zmiany wydaje się rzeczą naturalną, i łatwo to skojarzyć później ze zużywaniem paliwa. Wydawało się łatwe do zrozumienia, że różnice znikają same z siebie z powodu chaotycznego zachowania cząsteczek, które „nie dążą w żadnym określonym kierunku”. Znaczyło to, że mogliśmy w tym samym schemacie wprowadzić różnicę energii potencjalnej, która i tak była w programie.

Patrząc w przyszłość mogliśmy dostrzec, jak te idee gładko ewoluują w normalne, bardziej zaawansowane sposoby opisu zmian, zwłaszcza w chemii i biologii, i w razie potrzeby pozwolą wykorzystać pojęcie różnicy potencjałów chemicznych. Ponieważ nie wszyscy nasi czytelnicy są oswojeni z tym poję-

ciem, zilustruję jego znaczenie i zastosowanie na przykładzie równowagi atmosfery ziemskiej.



Rys. 7. Atmosfera ziemska; wzgórze grawitacyjne nachylone jest w dół ku Ziemi, a wzgórze gęstości - w dół od Ziemi.

Rysunek 7 sugeruje pewien sposób myślenia o atmosferze. Nachylenie „wzgórza grawitacyjnego” w dół ku Ziemi wynosi $9.8 \text{ J/kg} \cdot \text{m}$. Dla mola azotu daje to $0.28 \text{ kJ/mol} \cdot \text{km}$ (nie jest to dużo, dzięki czemu na wysokości 1 km w górach jest jeszcze mnóstwo powietrza). Grawitacja ściąga powietrze w dół ku Ziemi. Nie ląduje ono jednak w cienkiej warstwie na poziomie naszych stóp, gdyż to dałoby bardzo duży gradient gęstości do góry, i powietrze przedyfundowałoby samorzutnie z powrotem do góry. Więc w atmosferze mamy do czynienia z dwoma „wzgórzami”, grawitacyjnym nachylonym w dół ku Ziemi i „wzgórzem gęstości” (lub koncentracji czy ciśnienia) nachylonym w dół od Ziemi. Gdy nachylenie obu „wzgórz” jest równe, atmosfera jest w równowadze.

Nachylenie „wzgórza koncentracji” też można wyrazić jako różnicę energii: różnicę energii potencjalnej, która wywołałaby taki sam skutek, jak ta różnica koncentracji. Dla N cząsteczek gazu doskonałego poruszających się między punktami o różnych koncentracjach wyrażamy je wzorem

$$\mu = N k T \ln (\text{stosunku koncentracji})$$

i nazywamy różnicą potencjałów chemicznych. Stosunek koncentracji (gęstości, ciśnień) równy około 4:1 daje różnicę energii 2.8 kJ, wystarczającą, by podnieść 1 mol azotu na wysokość 10 km. A więc na wysokości, na jakiej latają odrzutowce, powietrze jest około czterokrotnie rzadsze. Nachylenie „wzgórza grawitacyjnego” dla azotu wynosi $0.28 \text{ kJ/mol} \cdot \text{km}$ w dół, a nachylenie „wzgórza potencjału chemicznego” wynosi $0.28 \text{ kJ/mol} \cdot \text{km}$ w górę.

Różnica potencjałów chemicznych jest także zmianą energii swobodnej Gibbsa na mol. Tak więc wypowiedziana przez chemików reguła, że energia swobodna Gibbsa na mol maleje w dowolnej samorzutnej reakcji mówi, że reakcje chemiczne zachodzą „w dół” „wzgórza potencjału chemicznego”.

Wszystko to sugeruje, jak można naszą opowieść o „różnicach” rozwinąć w porządy opis naukowy.

Abstrakcyjne obrazki

Kluczowa, ale zasadnicza trudność myślenia termodynamicznego polega na tym, że stosuje się ono bardzo ogólnie, i wymaga, byśmy postrzegali zasadnicze podobieństwa w rzeczach, które wydają się bardzo różne – np. ogrzewany pokój i ciepłe ciało ludzkie. Gdy zaczęliśmy pracę, mieliśmy pewien pomysł, jak to robić, ale nie przeżył on konfrontacji z uczniami. Polegał on na wymyślaniu „prototypów” istotnych rodzajów procesów – np. stygnięcia gorącej herbaty dla cieplnego przepływu energii, lub rozchodzenia się zapachów dla dyfuzji. Ale, co powinniśmy byli przewidzieć, uczniowie widzieli w nich szczególne przypadki, a nie reprezentacje czegoś ogólniejszego. Słowa były zbyt niezgrabne do opisu ogólnego przypadku, co zmusiło nas do rysowania abstrakcyjnych obrazków, jak te w przedstawionym scenariuszu.

Stwierdziliśmy, że były one łatwiejsze w użyciu, niż się spodziewaliśmy, i im uboższe w szczegóły, tym lepsze. Jeden z nauczycieli, po pewnym czasie używania obrazków, powiedział:

Byłem bardzo zdziwiony, jak często mniej zdolne dzieci dawały poprawne odpowiedzi.... Jestem przekonany, że mogły śledzić rozumowanie i stosować obrazki w nowych sytuacjach.

Można myśleć o tych obrazkach jako o spisie rodzajów rzeczy, które mogą się dziać w dowolnym procesie, a które mogą mu pomóc zajść lub przeszkodzić (aspekty, które zdarzają się „same z siebie” lub „trzeba je zmusić” do zajścia).

Weźmy na przykład spalanie. Czy cząsteczki rozprzestrzeniają się zajmując większą objętość? – tak. Czy powstaje więcej cząsteczek? – prawdopodobnie tak, jeśli ulegają spaleniem złożone cząsteczki. Czy pojawiają się wiązania chemiczne? – tak. A czy jakieś inne wiązania ulegają rozerwaniu? – znowu odpowiedź twierdząca. Każdy obrazek odpowiada pewnemu członowi w równaniu na całkowitą zmianę entropii, lub, równoważnie, na zmianę energii swobodnej na mol. Tak więc entropia gazu doskonałego zawiera człon proporcjonalny do logarytmu objętości, bo cząsteczki mają skłonność do rozprzestrzeniania się na duże objętości (co daje mniejsze stężenia).

W ten sposób można oczywiście myśleć o tych obrazkach na końcu. Ale jak zacząć? Nasz pomysł polega na tym, że w przeciągu kilku lat, w dużej liczbie kontekstów, które w sposób naturalny występują w programie, od oczyszczania substancji, przez ciepło i temperaturę, do omawiania oddychania czy pogody,

pojawiają się okazje, by zidentyfikować elementy procesów, które „zachodzą same z siebie” lub nie, pomagają lub przeszkadzają w zajściu tych procesów. Za każdym razem znajduje się jakiś ważny kawałek myślenia termodynamicznego, a obrazek przypomni o nim następnym razem, gdy się pojawi.

Mamy wielką nadzieję, że te obrazki nie stwardnieją w nowe podejście ortodoksyjne – kolejną rzecz, której się trzeba nauczyć i odtworzyć. Postrzegamy ich wartość w prowokowaniu pożytecznych dyskusji z uczniami i między samymi uczniami, o tym, co się dzieje lub może dziać, gdy następuje jakaś zmiana – gdy się pocimy lub gdy zbiera się na burzę. Niewątpliwie nauczyciele udoskonalały je do własnych celów, najlepiej w dyskusji z uczniami na temat tego, co powinny przedstawiać. Na pewno muszą przedstawiać zasadniczy mechanizm części jakiegoś procesu fizycznego, z uwzględnieniem, w którą stronę płynie energia, i muszą wskazywać, w którą stronę ten proces zachodzi, a także, czy jest spontaniczny, czy nie. Chętnie zobaczymy wasze pomysły, jak to zrobić lepiej.

Gdzie jesteście teraz?

Scenariusz, od którego zaczęliśmy, oparty jest na doświadczeniach, które zebraliśmy wypróbowując te pomysły z uczniami w klasach 7–9 (wiek 12–14 lat). Zrobiliśmy początek, ale nie było czasu na kontynuację w starszych klasach. Jest to więc projekcja tego, co da się zrobić, na to, co mamy nadzieję, że da się zrobić.

Na podstawie tego częściowego świadectwa wierzymy, że znaleźliśmy konstruktywny sposób wyjścia z obecnej sytuacji, w której, skoro wydaje się „oczywistą” niemożliwością używanie myślenia związanego z drugą zasadą termodynamiki, używa się do tych celów, przykrawa i zniekształca „pojęcie energii”. Energia może być teraz widziana jako to, co ogranicza wielkość możliwych zmian. Odgrywa ona pewną rolę w decydowaniu, czy zmiana może nastąpić, z punktu widzenia tego, czy staje się coraz bardziej rozproszona, czy musi być bardziej skoncentrowana, często w rozerwanych wiązaniach. Przy odrobinie szczęścia, zamiast różnych zakazów, możemy mieć prosty język do mówienia o tym, co się dzieje, gdy zachodzą różne zjawiska.

Jeśli tak będzie, nie musimy się martwić, że te idee nie są częścią Narodowego Programu Nauczania. W gruncie rzeczy są, bo program ten wymaga, byśmy omawiali ważne procesy, od zanieczyszczenia do trawienia, które wymagają ich użycia. Musimy tylko upewnić się, że egzaminatorzy rozpoznają poprawne odpowiedzi na swoje pytania.

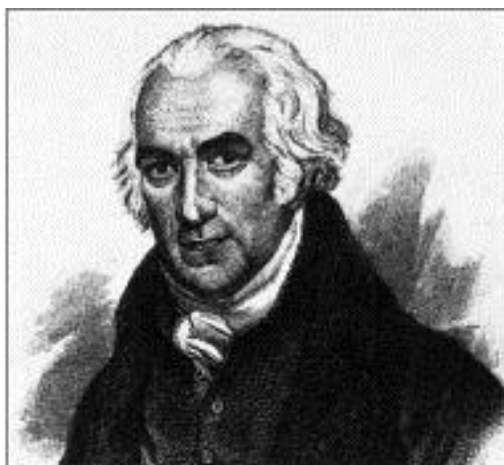
Podziękowania:

Dziękujemy wielu nauczycielom, którzy pomogli nam podczas pracy nad projektem, ofiarowując wartościowe rady i przemyślenia.

Tłumaczyła Magdalena Staszal z Instytutu Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Warszawskiego. Na podstawie tego artykułu wygłosiła referat na XII Jesiennej Szkole Dydaktyki Fizyki w Borowicach.

Literatura

- [1] R. Boohan, J. Ogborn, *Energy and Change*, wyd. ASE, 1996
 - [2] R. Boohan, *Energy and Change: Classroom Resources*, wyd. Institute of Education, London, 1996
-



James Watt (1736–1819)



Ciepło w 7 klasie, czyli jak przeżyć w stajni Augiasza

Jerzy Ginter

Institut Fizyki Doświadczalnej UW

Jako rodzaj wstępu do podsumowania problemów związanych z nauczaniem „Ciepła” w szkole podstawowej, prezentujemy Państwu 2 folie z referatu wygłoszonego przez prof. Jerzego Gintera na XII Jesiennej Szkole Dydaktyki Fizyki w Borowicach (1996). Redakcja ma nadzieję, że będzie mogła w przyszłości przekazać Państwu rozwinięcie myśli rzuconych w kształcie haseł na foliach.

Wstęp

1.1 Euforia: idea przewodnia starego programu

„Budowa materii i jej przemiany energetyczne” – idealna możliwość realizacji w klasie 7:

- budowa materii w klasie 6,
- pojęcie energii w 2 dziale klasy 7 (nowa wersja podręcznika).

Dział „Energia w zjawiskach cieplnych” umożliwia elegancką syntezę poznanych wiadomości.

1.2 Depresja czyli trudności

1. Trudne definicje używanych pojęć.
2. Straszliwy bałagan w używanych pojęciach i nazwach.
3. Bardzo złe przyzwyczajenia w dydaktyce.

Podsumowanie

4.1 Dylematy

1. W podręczniku dla szkoły podstawowej tekst musi być **klarowny**.
2. Język powinien być możliwie **zbliżony do potocznego**.
3. Zbyt wielkie zmiany są **odrzucać!**

4.2 Decyzje

1. Konsekwentne posługiwanie się pojęciem **energii** (wewnętrznej, wymiany energii itp.)
2. W wyniku 1 – rozpoczęcie działu od **pracy** (ruch z tarciem)
3. Konsekwentne używanie **jednostek energetycznych** (choć dżul jest mniej wygodny od kalorii – np. w bilansie cieplnym).
4. Nazwa **cieplny przepływ energii**.
5. Włączenie **konwekcji i promieniowania** do cieplnego przepływu energii.
6. Używanie nazwy promieniowanie **elektromagnetyczne**.



O energii mechanicznej w szkole średniej

Jadwiga Salach
Barbara Sagnowska

W artykule przedstawia się (w sposób skrócony) koncepcję opracowania zagadnień pracy i energii mechanicznej w nauczaniu ponadpodstawowym (szkoły średnie ogólnokształcące i techniczne). Na wstępie wypada zaznaczyć, że struktury programów, realizowanych w szkołach, mogą być różne, zwłaszcza w sytuacji, gdy obowiązuje tylko baza programowa, na podstawie której poszczególni nauczyciele (lub szkoły) konstruują programy o różnym układzie logicznym. Niektóre elementy wiedzy są w szkole uświadamiane i utrwalane stopniowo (ich utrwalanie to cały proces, który niekiedy trwa tygodniami). Przedstawione opracowanie zawiera raczej wiedzę końcową, którą uczeń powinien wynieść ze szkoły średniej, jeśli kurs fizyki został zrealizowany na dobrym poziomie, np. w profilu matematyczno-fizycznym obecnie i w przyszłości, i stanowi właściwą podstawę do podjęcia studiów. Poniższy tekst zawiera uwagi i komentarze metodyczne dla Nauczyciela, często uzasadniające wybór proponowanej koncepcji.

W tej koncepcji najpierw wprowadza się pojęcie pracy, a potem pojęcie energii mechanicznej, kolejność jest więc raczej tradycyjna, odwrotnie niż np. w podręczniku J. Blinowskiego „Samochodem przez fizykę”.

Pracę stałej siły określamy jako iloczyn skalarny tej siły i przemieszczenia, które jej działaniu towarzyszy lub jako iloczyn wartości siły, wartości przemieszczenia i cosinusa kąta zawartego między tymi wektorami:

$$W = \vec{F} \cdot \Delta\vec{r} \quad \text{lub} \quad W = |\vec{F}| \cdot |\Delta\vec{r}| \cdot \cos \angle(\vec{F}, \Delta\vec{r}) \quad (1)$$

Aby przeciwdziałać możliwości powstania nieporozumień, dobrze jest od razu poinformować uczniów, że

1. Tak sformułowana definicja pracy stosuje się tylko w specjalnych warunkach: siła, której pracę obliczamy jest stała (o czym wspomniano już poprzednio), a ciało przesuwa się po linii prostej (wówczas $|\Delta\vec{r}| = \Delta s$).
2. Siła, której pracę obliczamy **może**, ale **nie musi** stanowić przyczyny przemieszczenia, występującego we wzorze definicyjnym. Uwaga ta jest dość istotna, bowiem uczeń ze szkoły podstawowej wyniósł przyzwyczajenie przyczynowo-skutkowego wiązania \vec{F} i $\Delta\vec{r}$ – pchanie skrzyni, ciągnięcie sanek itp. Kontynuowanie tego przyzwyczajenia utrudniłoby rozumienie np. pracy ujemnej.

3. Podczas przesuwania się ciała mogą na nie działać różne siły; można wówczas obliczać pracę dowolnej z tych sił, według potrzeby.

4. Stosujemy dwojaki sposób wyrażania się (oba są równie poprawne): „praca wykonana przez daną siłę” lub „praca wykonana przez ciało, od którego ta siła pochodzi”. Niekiedy dodajemy „praca wykonana nad ciałem” – chodzi wówczas oczywiście o to ciało, które uległo przesunięciu. Naszym zdaniem należy unikać sformułowania w rodzaju „praca **przeciwko** sile grawitacji” lub też „ciało wykonało pracę **przeciwko** sile tarcia”; sformułowania takie wprowadzają niepotrzebne zamieszanie i powodują, że definicja pracy przestaje być klarowna.

Wprowadzenie pojęcia energii jest ważnym krokiem w nauczaniu mechaniki.

Praktyka wskazuje, że **energia kinetyczna** (samo pojęcie i rozważania z nią związane) na ogół nie stwarzają uczniom trudności. Zmianę energii kinetycznej ciała określamy jako pracę wykonaną nad ciałem przez siłę wypadkową, na nie działającą.

$$\Delta E_k = W_{\text{siły wypadkowej}}^{df} \quad (2)$$

W istocie sprawa nie jest skomplikowana. Mamy tutaj do czynienia z **jednym** ciałem w polu sił zewnętrznych (dla jednego ciała każda siła jest zewnętrzną). Nie są potrzebne żadne założenia co do rodzaju tych sił (czy pól). W szkole z konieczności rozważamy przypadek, gdy siła wypadkowa jest stała, bo umiemy obliczać pracę tylko takiej siły.

$$\Delta E_k = \vec{F}_{\text{wyp}} \cdot \Delta \vec{r} = F_{\text{wyp}} \cdot \Delta s \cdot \cos 0^\circ$$

Po podstawieniu

$$F_{\text{wyp}} = m \cdot \frac{v - v_0}{t}, \quad \Delta s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

i wykonaniu obliczeń otrzymujemy wynik:

$$\Delta E_k = E_k - E_{k0} = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}. \quad (3)$$

(Końcowy wynik jest taki sam w przypadku, gdy siła wypadkowa ulega zmianie – patrz podręczniki akademickie.)

Energia kinetyczna ciała, które w danym układzie odniesienia posiada szybkość v wynosi w tym układzie $\frac{mv^2}{2}$. Energia kinetyczna kilku ciał jest sumą (arytmetyczną) energii kinetycznych wszystkich tych ciał.

Energia kinetyczna to nie jedyny rodzaj energii mechanicznej. Chcąc rozszerzyć pojęcie energii musimy uświadomić uczniom, że w dalszym ciągu będziemy się zajmować układami ciał (najczęściej dwóch) oddziałujących wzajemnie siłami, co do których wprowadzimy pewne założenia. Przede wszystkim założymy, że siły te **jawnie nie zależą od czasu**. Np. siły: grawitacji i sprężystości spełniają to założenie. Gdy ciało spada na Ziemię, to jego odległość od środka Ziemi (r) zmienia się, zmienia się więc z czasem i siła grawitacji poprzez zmianę r . Nie jest to jednak jawna zależność od czasu. Założymy dalej, że siły, które działają pomiędzy ciałami układu **zależą od położenia tych ciał** (ich wzajemnej odległości) a **nie zależą od ich prędkości**.

Uczniowie dość wcześnie poznają dwie takie siły, siłę grawitacji i siłę sprężystości, nieco później poznają siłę oddziaływania elektrostatycznego. Warto w tym miejscu przypomnieć, że uczniom znana jest dobrze siła zależna od prędkości – jest to siła tarcia lub ogólnie oporu. W przypadku, gdy mówimy o zależności siły od prędkości niekoniecznie musimy mieć na myśli zależność **wartości** siły od **wartości** prędkości ciała. Siła i prędkość są wektorami! Mówiąc, że siła tarcia (oporu) zależy od prędkości mamy na myśli przede wszystkim fakt, że zwrot tej siły zależy od zwrotu prędkości ciała – zwroty tych dwóch wektorów są zawsze przeciwne. Stąd praca po konturze zamkniętym, wykonana przez takie siły, nie jest równa zero. Odwrotnie ma się sprawa w przypadku sił zależnych jedynie od położenia – siły te nie zmieniają zwrotu wraz ze zwrotem prędkości ciała, zatem praca po konturze zamkniętym w przypadku takich sił jest równa zero, siły te są siłami zachowawczymi.

Wróćmy do układu (dwóch) ciał oddziałujących wzajemnie; zwykle mamy na myśli oddziaływanie grawitacyjne. Uczniowie już w szkole podstawowej poznali pojęcie stanu mechanicznego układu. Wiadomo, że stan mechaniczny układu ciał jest określony jednoznacznie przez podanie położenia tych ciał i ich prędkości (pędów) w wybranym układzie współrzędnych. Zmiana prędkości chociaż jednego z ciał układu lub jego położenia jest jednoznaczna ze zmianą stanu układu. Stan układu może się zmieniać na skutek różnych przyczyn (warto przedyskutować z uczniami różne znane im przypadki).

Aby nie było nieporozumień, warto tutaj zrobić pewną dygresję. Ponieważ mowa o prędkości ciał, musimy obrać inercjalny układ odniesienia, w którym stan układu będzie opisywany. Jeśli masy ciał są z sobą porównywalne, w żadnym razie nie może to być układ odniesienia, związany z jednym z nich, bowiem na skutek sił wzajemnego oddziaływania każde z ciał posiada niepomijalne przyspieszenie, a więc układ z nim związany jest nieinercjalny. Jeśli jednak mamy na myśli np. Ziemię i dowolne ciało o masie $m \ll M$ (M – masa Ziemi), to układ związany z Ziemią można uznać za inercjalny z dobrym przybliżeniem.

Pojęcie **energii potencjalnej** jest jednym z najtrudniejszych pojęć fizycznych. Dlatego tak wielkie znaczenie ma właściwe przeprowadzenie wszystkich

czynności dydaktycznych, które podejmuje się w celu kształtowania tego pojęcia.

W szkolnym kursie fizyki uczniowie poznają kolejno energię potencjalną grawitacyjną (w przypadku, gdy siłę ciężkości można uznać za stałą, a więc w nie zbyt dużych odległościach od Ziemi w porównaniu z jej promieniem, czyli w jednorodnym polu grawitacyjnym), energię potencjalną w polu grawitacyjnym centralnym, energię potencjalną sprężystości (wydłużenie sprężyste), energię potencjalną elektrostatyczną. W fizyce cząsteczkowej wzmiankujemy o energii potencjalnej w polu sił międzycząsteczkowych, jako o składniku energii wewnętrznej ciała. Gdy znane jest pojęcie pola sił, zamiast mówić o energii układu np. dwóch ciał wzajemnie oddziałujących², mówimy o energii ciała w polu drugiego ciała.

Im wcześniej uczniowie uświadomią sobie fakt, że w każdym przypadku zmianę energii potencjalnej układu ciał określamy w taki sam sposób, tym lepiej.

Zmiana energii potencjalnej z definicji jest równa pracy wykonanej przy zmianie położenia ciał układu przez siłę wewnętrzną (ich wzajemnego oddziaływania), wziętej ze znakiem minus.

$$\Delta E_p = -W_{\text{siły wewnętrznej}} \quad (4)$$

(dla każdego rodzaju oddziaływania – zależnego od położenia i niezależnego od czasu).

Powyższe określenie tylko wówczas jest jednoznaczne, gdy praca siły wewnętrznej (siły pola) przy zmianie położenia nie zależy od kształtu i długości toru, po którym przesuwa się ciało, tylko od jego położenia początkowego i końcowego. Dlatego o energii potencjalnej możemy mówić tylko w przypadku siły zachowawczej (zachowawczego pola sił).

Zbyt wczesne wprowadzenie ogólnej definicji zmiany energii potencjalnej może się uczniom wydać dziwaczne (znak „-”) dlatego lepiej jest podać to ogólne określenie dopiero wówczas, gdy uczniowie znają już przynajmniej energię potencjalną w polu grawitacyjnym jednorodnym (wprowadzoną tak, jak w szkole podstawowej).

W niektórych podręcznikach określa się zmianę energii potencjalnej jako pracę siły zewnętrznej, równoważącej w każdym punkcie siłę wzajemnego oddziaływania. Jest to oczywiście określenie równoważne poprzedniemu, może ono jednak stać się źródłem istotnego nieporozumienia: u uczniów może powstać **falszywe** przekonanie, że gdy nie działa siła zewnętrzna (równoważąca siłę wzajemnego oddziaływania), to oczywiście praca tej siły jest równa zeru, więc energia potencjalna układu nie zmienia się. Proponowana tutaj definicja nie niesie tego niebezpieczeństwa, bowiem w układzie ciał siła wewnętrzna nie

² w szkole rozpatrujemy prawie wyłącznie takie układy

może być stale równa zero, jest więc oczywiste, że podczas zmiany położenia zachodzącej z dowolnego powodu energia potencjalna układu zmienia się (jeśli tylko siła wewnętrzna nie jest prostopadła do przemieszczenia).

Z omawianego tutaj określenia ΔE_p wynika pożyteczna wiadomość: Gdy w układzie ciał działają siły wewnętrzne przyciągające, to energia potencjalna układu podczas wzajemnego oddalania się ciał rośnie, a gdy odpychające – maleje.

Na podstawie określenia ΔE_p wyprowadzamy wzory na energię potencjalną w dowolnym polu sił zachowawczych (układ dwóch ciał).

1. Pole grawitacyjne jednorodne.

$$\Delta E_p = mgh \quad h \ll R_Z,$$

a gdy wprowadzimy umowę, że energia potencjalna na (dowolnie wybranym) poziomie „zerowym” jest równa zero, to na wysokości h nad nim

$$E_p = mgh.$$

2. W centralnym polu grawitacyjnym³

$$\Delta E_{p_{A \rightarrow B}} = GMm \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right),$$

a gdy wprowadzimy umowę, że energia potencjalna jest równa zero, gdy ciała są od siebie nieskończenie daleko, to

$$E_p(r) = -\frac{GMm}{r}.$$

3. W centralnym polu elektrostatycznym podobnie

$$\Delta E_{p_{A \rightarrow B}} = -kQq \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right)$$

i przy takiej umowie, jak poprzednio

$$E_p(r) = \frac{kQq}{r}, \quad k = \frac{1}{4\pi\epsilon_r\epsilon_0}.$$

Uwaga: W tych wzorach Q i q oznaczają ładunki wraz z ich znakami.

³ Wiadomo, że wyprowadzenie tego wzoru w szkole średniej bez znajomości rachunku całkowego (siła zmienna) jest kłopotliwe. Nauczyciele w tym przypadku radzą sobie na różne sposoby – nie będziemy się tutaj zajmować tą sprawą.

4. W polu sił sprężystych (wydłużenie sprężyste)

$$\Delta E_{p_{A \rightarrow B}} = \frac{kx_B^2}{2} - \frac{kx_A^2}{2},$$

k – współczynnik sprężystości), a gdy wprowadzimy umowę, że przy braku odkształcenia $E_p = 0$, to

$$\Delta E_p(x) = \frac{kx^2}{2}.$$

Całkowita energia mechaniczna E układu ciał oddziałujących grawitacyjnie jest sumą energii kinetycznej i potencjalnej. W przypadku układu dwóch ciał w dowolnie wybranym układzie inercjalnym mamy więc dwie energie kinetyczne i jedną energię potencjalną ich wzajemnego oddziaływania. W układzie odniesienia związanym z jednym z tych ciał (o masie $M \gg m$) energia mechaniczna układu składa się z jednej energii kinetycznej i jednej energii potencjalnej: $E = E_k + E_p$.

Rozważmy układ dwóch ciał działających na siebie siłami zależnymi od położenia. Załóżmy, że na ciało B oprócz siły wewnętrznej \vec{F}_w działa (dowolna) siła zewnętrzna \vec{F}_z od jakiegoś ciała (lub ciał) nienależącego do układu (układ odniesienia wiążemy z ciałem A o dużej masie). Ciało B zmienia położenie o niewielkie $\Delta \vec{r}$, tak, aby \vec{F}_w i \vec{F}_z można było uważać za stałe. Wówczas

$$\Delta E_k = \vec{F}_{wyp} \cdot \Delta \vec{r},$$

$$\Delta E_k = (\vec{F}_{zewn} + \vec{F}_{wewn}) \cdot \Delta \vec{r} = \vec{F}_{zewn} \cdot \Delta \vec{r} + \vec{F}_{wewn} \cdot \Delta \vec{r} = \vec{F}_{zewn} \cdot \Delta \vec{r} - \Delta E_p,$$

ale $\Delta E_k + \Delta E_p = \Delta E$, zatem

$$\Delta E = \vec{F}_{zewn} \cdot \Delta \vec{r}. \quad (5)$$

Doszliśmy do bardzo istotnego wniosku: **Zmiana energii mechanicznej układu ciał jest równa pracy siły zewnętrznej, wykonanej nad układem**⁴.

Wyciągnijmy wnioski z wzoru (5). Gdy siła zewnętrzna wykonuje nad układem pracę dodatnią, energia mechaniczna tego układu wzrasta, a gdy wykonuje pracę ujemną - energia układu maleje. **Energia mechaniczna układu ciał jest stała** (nie zmienia się w czasie mimo zmiany jego stanu), **gdy siła zewnętrzna nie wykonuje nad tym układem pracy**. Sformułowanie to można uznać za

⁴ Jeśli mielibyśmy do czynienia z **jednym** ciałem w polu sił zewnętrznych, to wzór (5) dotyczy oczywiście tylko zmiany jego energii kinetycznej.

zasadę zachowania energii mechanicznej dla układów ciał, w których działają siły niezależne od czasu i zależne tylko od położenia.

Nie jest więc konieczne założenie braku siły zewnętrznej, jak w przypadku zasady zachowania pędu – siła taka może działać, byle nie wykonywała pracy. Uczniowie rozwiązując zadania z jakiegokolwiek zbioru spotykają mnóstwo przykładów, opisujących takie właśnie przypadki. Będzie to np. ruch klocka po równi pochyłej bez uwzględnienia tarcia. Jeśli umówimy się rozważać układ złożony z dwóch ciał: klocka i Ziemi, oddziałujących grawitacyjnie, to siła reakcji równi jest siłą zewnętrzną. Jednak jest ona prostopadła do wektora przemieszczenia klocka, zatem nie wykonuje pracy – są spełnione warunki stałości energii układu. Innym przykładem jest ruch wahadła (bez oporów). Siła reakcji nici (lub siła reakcji w punkcie zawieszenia) jako prostopadła w każdym punkcie do wektora przemieszczenia, nie wykonuje pracy.

Z wzoru (5) możemy obliczyć tylko zmianę energii mechanicznej układu przy przejściu z jednego stanu do drugiego. Wzór ten nie daje nam możliwości obliczenia energii układu w danym stanie. Aby to było możliwe, należy wprowadzić umowę, w którym stanie układu jego energię mechaniczną będziemy uważać za równą zeru. Wprowadziwszy tę umowę, obliczamy zmianę energii przy przejściu ze stanu o zerowej wartości energii do dowolnego innego stanu. Energia w nowym stanie będzie równa tej zmianie.

Jak już wspomniano, informacje tutaj zawarte nie muszą być w procesie nauczania dyskutowane w takiej kolejności, jak je tutaj przedstawiono. Można zacząć od wprowadzenia energii mechanicznej (wówczas wzór (5) będzie definicją zmiany tej energii), następnie wyliczyć, że $\Delta E = \vec{F}_{wyp} \cdot \Delta \vec{r} - \vec{F}_{wewn} \cdot \Delta \vec{r}$ i pierwszy z tych składników nazwać zmianą energii kinetycznej, a drugi – zmianą energii potencjalnej.

Energia jest funkcją stanu układu ciał. Zdanie to należy rozumieć dosłownie, zgodnie z rozumieniem pojęcia funkcji: W jednym stanie układ może mieć **jedną i tylko jedną** wartość energii mechanicznej; tak więc stan układu jednoznacznie wyznacza jego energię. Nie jest jednak odwrotnie – **tę samą wartość energii układ może posiadać w różnych stanach**. Z energii nie wynika więc stan układu. Gdy spełniony jest warunek zachowania energii mechanicznej układu, jego energia jest jednakowa w każdym stanie (uczeń poznaje takie przypadki już w klasie 7 – spadanie swobodne, rzut pionowy w górę). Tak więc, gdy zmienia się stan układu, jego energia może się zmieniać lub nie.

Pragniemy zwrócić uwagę, że często słyszy się bardzo szkodliwy (bo nieprawdziwy!) slogan: Energia charakteryzuje stan układu ciał. Z tego stwierdzenia wynikałoby, że z wartości energii układu wynika jego stan – jest to oczywiście całkowicie sprzeczne z tym, co powiedziano powyżej.

Każdy nauczyciel zdaje sobie sprawę, jak ważne jest w procesie nauczania dobieranie odpowiednich zadań, które są dobrą ilustracją poznanych definicji

i praw fizycznych. Zadania takie utwierdzają uczniów w przekonaniu, że poznane definicje i prawa umożliwiają operatywne działanie, a nie służą jedynie do tego, aby je obwieść kolorowymi ramkami w zeszytcie.

Weźmy pod uwagę następujący temat, który można znaleźć w każdym zbiorze zadań: Oblicz, jaką drogę przebędzie łyżwiarz do chwili zatrzymania się, jeśli jego prędkość początkowa ma wartość v_0 , a współczynnik tarcia łyżew o lód wynosi f .

Bardzo popularny komentarz, który wypowiada się podczas rozwiązywania tego zadania: Energia kinetyczna łyżwiarza zostaje zamieniona na pracę wykonywaną przy pokonywaniu tarcia (lub: ... wykonaną przeciwko sile tarcia), po czym następuje zapis

$$\frac{mv_0^2}{2} = m g f \cdot s.$$

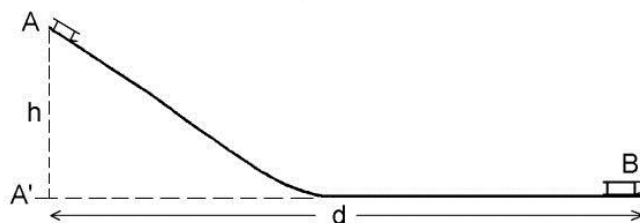
Żaden z tych komentarzy nie wydaje się zadawalający, zawiera on bowiem szereg niejasności, np. 1) pojęcie pracy zostało tutaj użyte w innym kontekście niż dotychczas, 2) kto (lub co) wykonuje pracę? 3) dlaczego obliczając pracę, pomijamy kąt zawarty między siłą a przemieszczeniem? Wnikliwi uczniowie czują, że coś tutaj nie jest w porządku i tracą zaufanie do poprzednio przyswojonej wiedzy – taka sytuacja jest wysoce niepożądana.

Zadanie to (jak wiele innych, podobnych: zarywanie się pocisku w grunt, przebijanie deski przez pocisk itp.) powinno zostać rozwiązane na podstawie definicji zmiany energii kinetycznej.

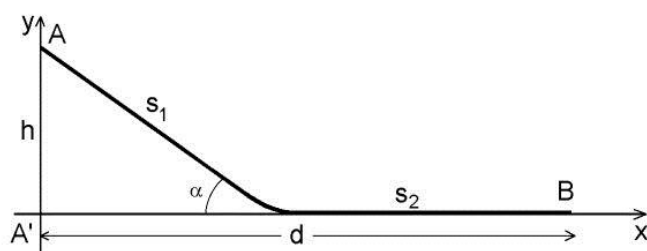
$$\Delta E_k = W_{\text{sily wypadkowej}} = W_{\text{sily tarcia}}$$

$$E_k - E_{k0} = T \cdot s \cdot \cos 180^\circ, \quad 0 - \frac{mv_0^2}{2} = m g f \cdot s \cdot (-1) \quad \text{itd.}$$

Inny temat: Sanki ześlizgujące się z górkę o wysokości h zatrzymały się w odległości d licząc od punktu A' będącego rzutem wierzchołka górkę A na płaszczyznę poziomą (patrz rysunek). Oblicz ile wynosi współczynnik tarcia sanek o śnieg.



Rozwiązanie: Zmiana energii układu ciał (Ziemia i sanki) równa jest pracy siły zewnętrznej. Siłą zewnętrzną wykonującą pracę jest siła tarcia pochodząca od podłoża. W układzie odniesienia związanym z podłożem



$$0 - mgh = mgf(\cos \alpha) \cdot s_1 \cdot \cos 180^\circ + mgf \cdot s_2 \cdot \cos 180^\circ,$$

$$h = fs_1 \cdot \cos \alpha + fs_2, \quad \text{skąd} \quad f = \frac{h}{s_2 + s_1 \cos \alpha}.$$

Z rysunku widać, że $s_2 = d - s_1 \cos \alpha$, zatem $f = \frac{h}{d}$.

Uwaga: Łagodne przejście między nachyloną częścią toru sanek a częścią poziomą ma na celu uniknięcie konieczności rozkładania końcowej prędkości sanek (u stoku góry) na składowe: poziomą i pionową.



Julius Robert v. Mayer (1814–1878)



O trudnościach poznawczych w rozumieniu energii potencjalnej

Zofia Gołqb-Meyer

Wstęp

Jak już mówiono (*Foton 45*) uczniowie mają trudności ze zrozumieniem pojęć energii i pracy, ponieważ są to pojęcia abstrakcyjne, określane zaawansowanym językiem matematyki, nie zachodzi współgranie znaczeniowe z pojęciami potocznymi i wreszcie zrozumienie tych pojęć wymaga **jednoczesnego** rozumienia wielu pojęć naraz (układ fizyczny, układ izolowany, siły wewnętrzne, siły zewnętrzne, prawo zachowania energii, prawo zachowania pędu, energia kinetyczna, energia potencjalna, energia wewnętrzna).

W *Fotonie 45* omawiano niektóre trudności związane z pojęciem pracy. W tym Zeszytcie J. Salach (JS) i B. Sagnowska (BS) w swoim artykule prezentują pewną koncepcję wprowadzania energii mechanicznej w szkołach średnich. Autorki w swoim artykule wypunktowują niektóre trudności oraz umieszczają wskazówki metodyczne pomocne przy ich pokonywaniu. Niektóre z trudności pozostawiają do rozwiązania nauczycielom licząc na ich doświadczenie i rutynę. Młodzi nauczyciele mogą być jednak nieświadomi tych uczniowskich trudności (zwłaszcza jeśli dotyczy to uczniów słabszych), starsi zaś, z rutyną po latach pracy, mogą niejako czasami zapomnieć o niektórych elementarnych trudnościach dotyczących rozumienia pojęć dla nich tak swojskich i zrozumiałych, tym bardziej, że wielu uczniów zdolniejszych nie manifestuje tych trudności.

Dlatego wydaje się być celowym zwrócenie uwagi na niektóre z nich.

Przyrosty, ubytki, wyrażenie Delta

Uważa się, że licealista powinien być w pełni zaznajomiony z wielkością oznaczaną ΔW i nazywaną „zmianą”, „przyrostem”.

$\Delta W = W_f - W_i$, gdzie W_f oznacza wielkość końcową, zaś W_i wielkość początkową. Mamy tu odejmowanie od wielkości końcowej wielkości początkowej. ΔW oczywiście może być zarówno dodatnie jak i ujemne. Niestety u wielu uczniów występuje silna konotacja z wielkością dodatnią, zwłaszcza kiedy używana jest nazwa „przyrost”. Aby wyliczyć „zmianę” czy przyrost, uczniowi zdarza się nie pamiętać, co od czego trzeba odjąć!

Uczniowie bowiem często rozumieją słowo „przyrost” (Δ) jako wielkość dodatnią, ponieważ określoną dla wielkości **rosnącej**. Taka konotacja jest związana z pierwszymi zapamiętanymi przez ucznia przykładami.

Podobnie **ubytek** uczniowie rozumieją często jako **wielkość dodatnią** określoną dla wielkości malejącej. Uczeń często jest skonfundowany, gdy przyjdzie mu określić przyrost dla funkcji malejącej a ubytek dla funkcji rosnącej. Wprowadzenie pojęć i nazw:

przyrost oznaczamy: $\Delta W = W_{końcowe} - W_{początkowe}$

ubytek oznaczamy: $-\Delta W = W_{początkowe} - W_{końcowe}$

może być ułatwieniem pamiętania co od czego należy odejmować, pod warunkiem przećwiczenia z uczniami przykładów, w których i przyrost i ubytek bywają ujemne. Takie ćwiczenie jest dla uczniów bardzo łatwe; głównie chodzi o zwrócenie uczniom uwagi na problem znaku.

Rola znaku minus w określeniu energii potencjalnej

JS i BS proponują definicję energii potencjalnej (wzór 4) jako:

$$\Delta E_p = -W_{sily\ wewnętrznej}$$

Zmiana energii potencjalnej jest równa pracy wykonanej przez siły wewnętrzne wziętej ze znakiem minus. Jak autorki artykułu piszą, takie określenie może się uczniom wydać dziwaczne (znak „-”). Mają rację.

Jako możliwe remedium proponowałabym zamiast tego opis werbalny:

ubytek energii potencjalnej (oznaczany jako $-\Delta E$) jest równy pracy siły...:

$$-\Delta E_p = W.$$

Powyższe sformułowanie jest ułatwieniem pamiętania wzoru, jest łatwym przywołaniem pierwszego przerabianego przykładu (mgh , ubytek energii potencjalnej przy opadaniu ciała) i ponadto jest bliższe sformułowaniu $\vec{F} = -\text{grad}\Phi$, gdzie konwencjonalnie „-” pisze się przy gradiencie, a nie przy sile.

Konsekwentnie wtedy jest:

przyrost energii kinetycznej = pracy wykonanej przez siłę wypadkową (wzór 2 u JS i BS)

$$\Delta E_k = W_{sily\ wypadkowej}$$

Dla sił zachowawczych będziemy mieć:

ubytek energii potencjalnej = przyrostowi energii kinetycznej.

Uważam, że powyższe zdanie warto jest pamiętać, na równi ze sformulowaniem zasady zachowania energii mechanicznej, którą to zasadę otrzymuje się już w jednym kroku:

$$-\Delta E_{potencjalna} = \Delta T_{kinetyczna}$$

$$E_i - E_f = T_f - T_i$$

$$E_i + T_i = E_f + T_f .$$

Pierwsze ze sformułowań akcentuje w prawie zachowania energii istotę różnic.

Rozróżnianie pomiędzy siłami zewnętrznymi i wewnętrznymi

W propozycji JS i BS w przypadku wprowadzania energii kinetycznej mowa jest o pracy siły wypadkowej, lecz przy określaniu energii potencjalnej o pracy sił wewnętrznych. Początkujący uczeń może odczuwać dyskomfort, zwłaszcza w momencie, w którym formułuje się prawo zachowania energii mechanicznej. Wyrugowanie tego dyskomfortu wymaga starannego przerobienia wielu przykładów, w tym również takich, w których jedno z ciał ma masę zaniedbywalną w porównaniu z drugim. Robi się cichcem przejścia graniczne. Zachowanie pędu jest jeszcze słabo przyswojone, to nie ułatwia łatwego przechodzenia np. od układu „Ziemia – ciało” (energię potencjalną definiują JS i BS dla układu) do pojedynczego ciała w polu grawitacyjnym Ziemi (zadania).

Trudność ta to cena za prowadzenie rozważań dla układu ciał (dwóch w praktyce); profit to gładkie wprowadzenie zasady zachowania energii w układach izolowanych.

Inne tradycyjne podejście to prowadzenie rozważań od rozpatrywania jednego ciała (tak robi J. Blinowski). Wtedy wszystkie siły są zewnętrzne. Taki początek jest dla ucznia niewątpliwie prostszy. Odpada rozróżnianie pomiędzy siłą wypadkową a wewnętrzną – to może być ta sama siła. Prawo zachowania energii mechanicznej wyprowadza się dla niektórych sił, które nazywa się siłami potencjalnymi. Siły te zależą ewentualnie od położenia ciała, a nie zależą od prędkości. Ze znanych uczniom sił są to: siła grawitacji, elektrostatyczna i sprężystości. Przykładem sił niepotencjalnych są siły tarcia.

Trudność ze zrozumieniem zachowania (lub nie) energii mechanicznej w układach ciał, ze zrozumieniem prawa zachowania energii w układach izolowanych jest przesunięta na później.

W toku nauczania uczniowie spotykają się z różnymi wyrażeniami:

- „ciało wykonuje pracę” (najbardziej wyobraźalne, najbardziej zbliżone do potocznych intuicji, może jednak wystąpić niejednoznaczność w rozumieniu, czy to jest działanie siły zewnętrznej czy wewnętrznej i w stosunku do jakiego obiektu działa),
- „siła wykonuje pracę” (najpoprawniejsze, bardziej abstrakcyjne) oraz
- „praca sił nad ciałem” (dla podkreślenia, że chodzi o siły zewnętrzne).

Uczeń może być zdezorientowany, dlaczego używa się innych wyrażań, czy są one równoważne, czy też znaczą co innego. Uczniowie mają trudność ze zrozumieniem pracy siły tarcia.

Mają też trudności ze zrozumieniem pracy siły grawitacji przy **podnoszeniu** ciała na wysokość h .

Klasycznie obchodziło się tę trudność przez rozważanie pracy siły równoważającej grawitację. Pracę tę uczniowie bez trudności wyliczali: mgh . O procesie podnoszenia zawsze się w takich wypadkach mówi, że to podnoszenie następuje bardzo powoli.

Niektórzy uczniowie, pomimo znajomości prawa Newtona, odczuwają dyskomfort: „działa siła, przemieszcza ciało, a nie przyspiesza!”.

Następnym krokiem jest powiedzenie, że ciało wyniesione na wysokość h może opaść i wykonać pracę, którą łatwo wyliczyć. Jest ona równa też mgh .

I tu wprowadzało się użyteczny slogan *energia potencjalna to zdolność do wykonania pracy*. On kształtował pozytywne intuicje, ale tylko dopóty, dopóki nie był traktowany jako definicja. „Zdolność do wykonania...” nie jest wielkością fizyczną mierzalną w dżulach. Wydaje się, że zastąpienie tego sloganu innym, pozornie takim samym: „Ciało podniesione na wysokość h ... posiada zdolność do wykonania pracy. Ten zapas pracy nazywamy energią potencjalną” (A. Piekara, *Mechanika*, str. 225) jest bardzo celowe.

Przejście od sformułowań: „ciało ma energię potencjalną i może wykonać pracę”, „ciało ma energię kinetyczną”, „przy swobodnym spadku suma energii kinetycznej ciała i jego energii potencjalnej jest stała” do sformułowania ogólnego „Energia mechaniczna układu jest zachowana, gdy w układzie działają siły potencjalne” jest przejściem na wyższy stopień abstrakcji i nie jest wcale proste.

W przytaczanym powyżej podejściu: „najpierw wynoszenie ciała quasistatycznie na wysokość h , a następnie rozważanie swobodnego spadku” tkwi dysonans. W pierwszym z procesów nie jest zachowana energia mechaniczna, a w drugim jest.

Wydaje się, że trudności będą zawsze występować. Mogą one być pokonywane przez odpowiednio dobrane zadania rachunkowe. Każdy nauczyciel ma prawdopodobnie swoje metody i kolejność wprowadzania pojęć, slogany, które mają ułatwić pamiętanie i rozumienie, a wreszcie ma swoje ulubione przykłady paradygmatyczne.

Poniżej proponuję trzy zestawy par zadań, które byłoby dobrze przerobić z uczniami właśnie jako pary:

- 1/ Spadek swobodny i rzut do góry,
- 2/ Rzut do góry na wysokość h i podniesienie quasistatyczne na wysokość h ,
- 3/ Spadek swobodny z wysokości h i zesunięcie po słupie ze stałą prędkością z wysokości h .

Dla każdej pary należy zrobić analizę zmian energii kinetycznej, potencjalnej i całkowitej.

Ujemna energia potencjalna

Wielu uczniom sprawia trudność zrozumienie sensu znaczenia ujemnej energii potencjalnej. Energia traktowana w sposób naturalny przez uczniów jako wielkość substancjalna (dżule, przeliczane na złotówki) powinna być według nich zawsze dodatnia, tak jak ilość materii jest zawsze dodatnia. Energia kinetyczna jest zawsze dodatnia. Pierwsze poznane energie potencjalne to energia potencjalna mgh pola grawitacyjnego i $kx^2 / 2$ energia sprężystości pasują do tego obrazu. Im większa energia potencjalna, tym większą pracę ciało może wykonać. Dysonans pojawia się przy określeniu energii potencjalnej w polu grawitacyjnym centralnym. Energia potencjalna jest ujemna $-kMm / r^2$. Jeśli, co się zdarza nawet w szkole średniej, uczeń ma kłopot z interpretacją liczb ujemnych (jako „czegoś brak”) to uzdrowienie tej sytuacji wymaga cofnięcia się do podstaw.

Ale nawet matematycznie dość obcy uczniowie mają kłopot z interpretacją. U studentów fizyki też słyszy się czasem stwierdzenia: „potencjał dodatni odpychający, a ujemny to przyciągający” (tu nakłada się „matryca” z elektrostatyki). Wydaje się, że pomocna w usunięciu tej trudności jest formuła o „ubytkach energii potencjalnej i przyrostach kinetycznej”. Uświadomienie uczniom, że bardzo naturalny wybór energii potencjalnej w nieskończoności, gdzie ciała na siebie już nie oddziałują, jako zero wymusza ujemność energii potencjalnej, bo w miarę przybliżania się ciała do centrum przyciągania jego energia potencjalna musi maleć. To nie jest poważna trudność, ale warto by nauczyciel był czujny, bo uczniowie mogą popełniać pomyłki.

Podsumowanie

Nauczyciel wybierając taką lub inną drogę wprowadzania energii potencjalnej ma zadanie ułatwić uczniom zrozumienie i następnie ułatwić zapamiętanie tego co się uczeń nauczył.

Praktyka szkolna pokazuje, że jest to możliwe w szkole średniej. Nie ma jednak jednej królewskiej drogi.

* Po obranej drodze należy posuwać się z konsekwencją i nie mieszać podejść. Należy starannie dobierać przykłady rachunkowe.

* Jeśli nie ma czasu na dokładne omówienie zadań należy unikać zadań, które wywołują konflikt poznawczy.

* Ważny jest sposób zapisu wzorów i ich opis werbalny, skrótowe slogany. One kształtują intuicję i pozwalają przywoływać wiedzę z pamięci. Źle dobrane slogany mogą blokować rozumienie.



Samochodem po ziemi⁵ czyli o tym, czy tarcie statyczne między oponą i nawierzchnią szosy pracuje?

Stanisław Jakubowicz, Wacław Świątkowski
Instytut Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Wrocławskiego

Bezpośrednim powodem do napisania tego artykułu jest fragment 14 rozdziału książki J. Blinowskiego *Samochodem przez fizykę* (podręcznik dla I klasy liceum, Oficyna Edukacyjna Krzysztof Pazdro, Warszawa 1996), w którym Autor (na str. 97) stara się przekonać czytelnika, że przy rozpędzaniu samochodu „...potrzebną pracę wykonuje siła tarcia statycznego opon samochodu o nawierzchnię szosy”.

W miejscu zetknięcia się opony z nawierzchnią nie ma żadnego ruchu, a więc nie może też być mowy o pracy. Wprawdzie nieco dalej Autor jakby trochę wycofuje się z tego pisząc nawet, że „...pracę wykonuje naprawdę silnik...”, ale z kolei stwierdzenie, że mamy tu analogię ze sznurkiem ciągnącym sanki, tylko sprawę gmatwa. Tam przecież połączony z sankami i przekazujący im działanie koniec sznurka **przesuwa się** zgodnie z kierunkiem siły (założmy, że sznurek jest poziomy) przyłożonej do sanek, a więc wykonuje pracę dodatnią. Drugi jego koniec ciągnięty przez człowieka **przesuwa się** w stronę przeciwną do siły, jaką działa na człowieka, a więc wykonuje pracę ujemną (pobiera energię od człowieka i przenosi ją do sanek).

Jeśli już miałyby być analogia między samochodem i człowiekiem z sankami, to odpowiednikiem silnika samochodu powinny być mięśnie człowieka, a sznurka układ kół zębatych sprzęgających silnik z resztą samochodu. Odpowiednikiem samochodowych opon, byłyby podeszwy butów człowieka, **unieruchomione** tarcie statyczne na podłożu.

Wróćmy do samochodu. W układzie związanym z Ziemią, miejsca zetknięcia się opon kół napędowych samochodu z nawierzchnią szosy są **względem siebie nieruchome**. Do tych właśnie **nieruchomych** miejsc są przyłożone siły tarcia. Ich wypadkowa jest jednocześnie (przy poziomej szosie) wypadkową siłą zewnętrzną działającą na samochód i decyduje o możliwości zmiany pędu samochodu kosztem części pracy sił wewnętrznych; bez jej udziału mogłyby kosztem tej pracy (pochodzącej od silnika) zrodzić się wewnątrz samochodu ruchy jakichś jego elementów, mogłyby „buksować” koła, wreszcie mogłyby się coś nagrzewać, ale pęd samochodu nie mógłby się zmienić. W związku

⁵ Pierwotna wersja tego tekstu została przedstawiona w sesji plakatowej na XII Jesiennej Szkole Problemy Dydaktyki Fizyki w Borowicach w październiku 1996 r.

z taką rolą sił tarcia opon o nawierzchnię w rozpędzaniu samochodu, pojawia się pokusa twierdzić, że to te siły wykonują pracę.

Ponieważ z takim (błędny) poglądem zetknęliśmy się w różnych podręcznikach i zbiorach zadań już wcześniej, jego pojawienie się w **dobrym**, naszym zdaniem, podręczniku, rekomendowanym uczniom, uznaliśmy za istotny powód do napisania uwag na ten temat.

Wydaje się, że jedną z przyczyn, które mogą rodzić taki błędny pogląd jest z reguły nieprecyzyjne definiowanie pracy. Dość często spotykamy sformułowania (ograniczmy się do przypadku stałej siły) zbliżone do następujących:

a) *praca wykonana przez siłę jest iloczynem składowej siły w kierunku ruchu przez przebytą drogę* (cytat z książki J. Oreara, *Fizyka* t. 1, Wyd. Naukowo-Techniczne 1996).

b) *Pracę siły na prostoliniowej drodze s określa wzór:*

$$L = F \cdot s \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

gdzie F jest wartością siły, α zaś jest kątem jaki tworzy wektor siły z wektorem prędkości. (cytat z książki J. Blinowskiego, *Samochodem przez fizykę*).

Jeżeli, stosownie do tych definicji, weźmiemy jako siłę tarcie między oponami kół napędowych i nawierzchnią, a jako drogę iloczyn prędkości samochodu i czasu (załóżmy krótki odstęp czasu), to otrzymamy to co zaproponował w swej książce J. Blinowski i od razu jest wniosek, że pracuje nie silnik a szosa.

W obu cytowanych przypadkach definicja została przeniesiona z działu omawiającego mechanikę punktu materialnego i w takim przypadku wszystko byłoby w porządku. Kłopot w tym, że najczęściej ilustrację i późniejsze przykłady zastosowania definicji stanowią sytuacje, w którym siła działa na jakies ciało rozciągle, często będące fragmentem bardziej złożonego układu.

Poprawna definicja pracy powinna mieć brzmienie podobne do następującego:

Jeżeli do danego punktu ciała jest przyłożona siła \vec{F} i w trakcie działania tej siły punkt jej przyłożenia doznał przemieszczenia $d\vec{s}$, to mówimy, że ta siła wykonała pracę (lub często, że została wykonana nad ciałem praca):

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{s} \quad (2)$$

Zależność (2) w formie całkowej przyjmuje postać

$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{s} \quad (3)$$

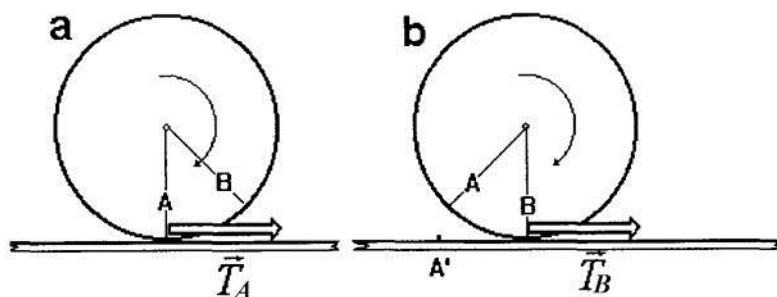
Dla przypadku stałej siły i prostoliniowego przemieszczenia \vec{s} punktu jej przyłożenia wzór (3) ma postać

$$W = F \cdot s \cdot \cos \alpha \quad (4)$$

gdzie α jest kątem, jaki tworzy wektor siły z wektorem przemieszczenia.

Warto zaznaczyć, że z reguły (jak to widać z przytoczonych wyżej przykładów) przy definicji pracy brak jest wyraźnego zaznaczenia, że nie chodzi o ruch całego ciała (powiedzmy jego środka masy), a o **ruch tego punktu ciała, do którego jest przyłożona siła**, i że obojętne jest przy tym, czy ruch tego punktu jest związany z przemieszczaniem się całego ciała, jego obrotami, czy też tylko z jego odkształceniem.

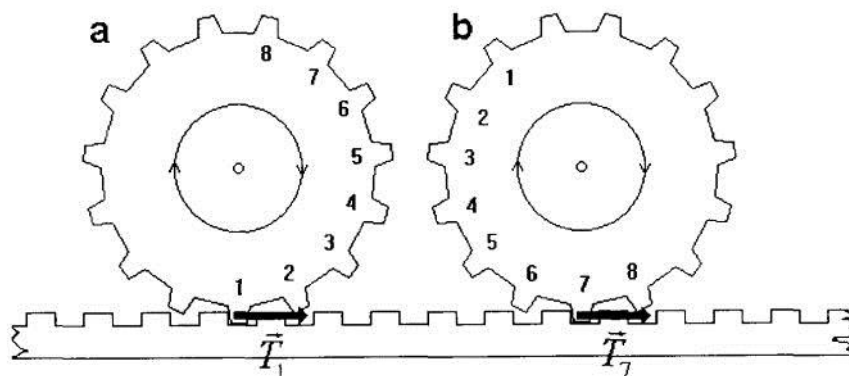
W przypadku analizy ruchu samochodu (nie jest to chyba najlepszy obiekt do ilustracji podstawowych pojęć mechaniki), dodatkowe nieporozumienie może powstać w związku z tym, że przy tym ruchu zmienia się miejsce zetknięcia opony z nawierzchnią (przemieszcza się ono przy tym z prędkością równą prędkości samochodu), a więc i przesuwa się punkt przyłożenia siły tarcia (stycznego; por. Rys. 1). Mamy tu więc sytuację pozornie zgodną z poprawną definicją pracy. Należy jednak podkreślić, że siła \vec{T}_A i siła \vec{T}_B z Rys. 1 to dwie różne siły i przyłożone do różnych punktów opony.



Rys. 1. Wraz z przemieszczaniem się koła z pozycji a do b zmienia się siła tarcia z \vec{T}_A na \vec{T}_B ; może być tak, że $\vec{T}_A = \vec{T}_B$, ale każda z tych sił działa na inny punkt opony.

Przy toczeniu się koła punkt przyłożenia (i rodzenia się) siły \vec{T}_A traci kontakt z nawierzchnią i siła ta znika, a na jej miejsce pojawia się nowa siła tarcia, w punkcie położonym na prawo (w sytuacji jak na Rys. 1b) od poprzedniego i działająca na inny (znów nieruchomy) punkt opony.

Dla lepszego zrozumienia o co tu chodzi popatrzmy na Rys. 2. Koło z oponą zostało zastąpione kołem zębatym, a nawierzchnia została odpowiednio pokarbowana. Tu przy obrocie koła napędowego, w sytuacji jak na Rys. 2a, na tryb z numerem 1 działa (w kierunku ruchu samochodu) siła oporu \vec{T}_1 .



Rys. 2. Przypadek koła napędowego zębatego.

Po pewnym czasie tryb 1 wyskoczy z zagłębienia, za to w zagłębieniu będzie tryb 2 i to nań będzie działać siła oporu, następnie tak będzie dla trybu 3 itd. (por. Rys. 2b). Będziemy tu więc mieli do czynienia z siłą oporu, która w krótkich przedziałach czasu będzie miała praktycznie stałą wartość i ustalone miejsce działania – wyraźny brak ruchu zarówno miejsca przyłożenia siły jak i elementu koła, do którego jest ona przyłożona.

Jeśli sobie wyobrazimy np. zmniejszanie i jednocześnie zagęszczanie ząbków na kole (odpowiednio i karbów na nawierzchni), to w granicy otrzymamy oponę i równą, szorstką nawierzchnię.

W rozważanym przypadku wprawiania w ruch samochodu na nieruchomej nawierzchni, siły tarcia statycznego między oponami i nawierzchnią nie wykonywały pracy. Są jednak często takie sytuacje, że siły tarcia statycznego sprzęgają (np. w sprzęgle samochodu) dwa elementy mechanizmu i punkt zetknięcia się tych elementów jest w ruchu. Wtedy jedna z sił tarcia wykonuje pracę dodatnią, a druga ujemną – przekaz energii od jednego elementu do drugiego.

Pewne poszerzenie poczynionych tu uwag podajemy w formie Uzupelnienia i Zadania.

W Uzupelnieniu zostaną przedstawione, w sposób schematyczny – bez wnikania w szczegółowe procedury – podstawowe skutki przyłożenia zewnętrznej siły do ciała sztywnego i ciała podlegającego odkształceni, oraz przykład ilustrujący możliwość przekształcenia energii związanej z pracą sił wewnętrznych układu w energię kinetyczną jego ruchu postępowego.

Z kolei w Zadaniu, będącym w istocie standardem przy ilustracji zasady zachowania pędu (być może Czytelnik częściej zetknął się z analizą ruchu człowieka spacerującego po łódce niż samochodu i platformy), chcemy przybliżyć problemy przekazu pędu i energii między dwoma oddziałującymi na siebie obiektami. Przechodząc w tym zadaniu do bardzo ciężkiej platformy, wrócimy

do samochodu na ziemi, a przechodząc do bardzo małych mas możemy znaleźć się w świecie obiektów elementarnych, np. rozważać kinetykę rozpadu α .

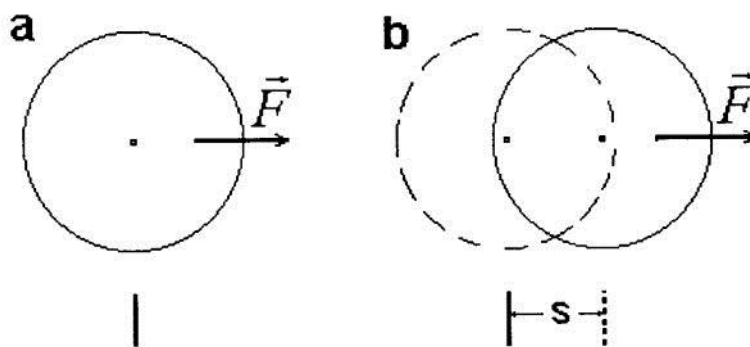
Uwaga: dla większej przejrzystości w Zadaniu zastosowano odrębną numeryzację rysunków i wzorów.

Uzupełnienie

Rozpatrzmy kilka przykładów ilustrujących jak funkcjonuje pojęcie pracy w zależności od charakteru skutków działania siły.

Krążek hokejowy

Na Rys. 3 mamy sytuację, odpowiadającą wprawianiu w ruch, poprzez uderzenie kijem, krążka hokejowego, przy założeniu, że zawodnik prowadzi krążek w taki sposób, że nie zmienia on swojej pozycji względem łopatki kija. Mamy tu więc do czynienia z taką sytuacją, w której na swobodne ciało sztywne (krążek jest obiektem dostatecznie sztywnym, a jego tarcie po lodzie jest na tyle małe, że dla ruchu po lodowisku dobrze przybliża on ciało swobodne) działa siła \vec{F} (por. Rys. 3a) taka, że jej linia działania przechodzi przez środek masy ciała.



Rys. 3. Linia działania siły przechodzi przez środek masy ciała (ciało sztywne, swobodne).

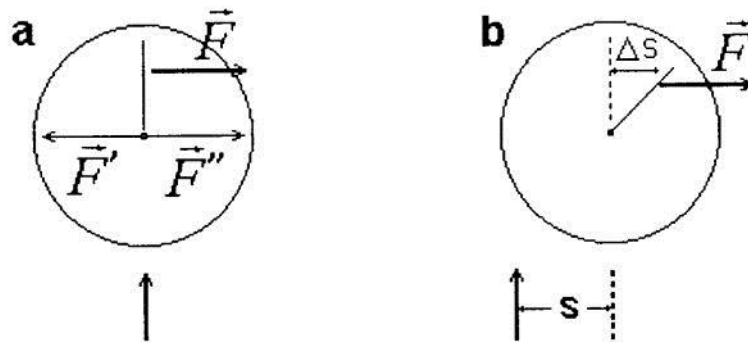
Efektom działania siły będzie ruch postępowy (jednostajnie przyspieszony) ciała, przy czym cała praca siły (W) zostanie wykonana na rzecz energii kinetycznej ruchu postępowego. Jeżeli s oznacza przemieszczenie ciała, m jego masę, a v uzyskaną przez ciało prędkość, to spełniony będzie związek

$$W = F \cdot s = \frac{1}{2}mv^2. \quad (5)$$

Na Rys. 4 na podobne ciało działa siła \vec{F} , której linia działania nie trafia w środek masy. Jeżeli dodamy dwie siły, \vec{F}' i \vec{F}'' , przyłożone do ciała w środku masy i równe co do wartości sile \vec{F} (por. Rys. 4a), to łatwo dostrzec, że siła \vec{F} jest równoważna sile \vec{F}'' , przyłożonej do środka masy i parze sił \vec{F} i \vec{F}' . Efektem działania siły może być przemieszczanie się środka masy ciała ruchem jednostajnie przyspieszonym, a efektem działania pary sił, obrót ciała wokół środka masy. Zamiast związku (5) otrzymamy

$$W = F \cdot (s + \Delta s) = \frac{1}{2}mv^2 + E_{k,obr}, \quad (6)$$

gdzie $E_{k,obr}$ oznacza energię związaną z obrotem ciała.



Rys. 4. Linia działania siły \vec{F} nie przechodzi przez środek masy ciała (ciało sztywne, swobodne).

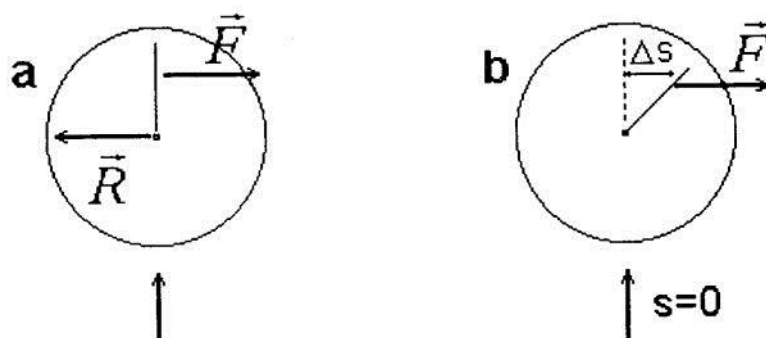
Zwracamy uwagę na zastosowanie tu założeń uproszczających, przyjmując np., że w sytuacji jak na Rys. 3a i 4a ciało było nieruchome i że w sytuacji z Rys. 4 siła \vec{F} nie zmieniała w rozważanym fragmencie ruchu wartości i kierunku (choć ulegała zmianie jej linia działania).

Bloczek z unieruchomioną osią

Na Rys. 5 mamy bloczek, czyli też krążek, ale z nieruchomą osią przechodzącą przez środek masy (choć w ogólnym przypadku nie jest to konieczne). Siła \vec{F} została przyłożona tak, że jej linia działania nie trafia w oś. Ponieważ nie może być tu ruchu postępowego, więc suma sił przyłożonych do ciała musi być równa zero. Z uwagi na to zamocowanie osi musi zrodzić reakcję (siła \vec{R} na

Rys. 5a) równą co do wartości sile \vec{F} ($\vec{F} = -\vec{R}$). Te dwie siły, \vec{F} i \vec{R} , tworzą parę sił, z których pierwsza (\vec{R}) jest przyłożona do nieruchomego elementu ciała (osi; a więc nie wykonuje pracy), a druga do elementu poruszającego się, w związku z obrotem. Otrzymamy tu związek

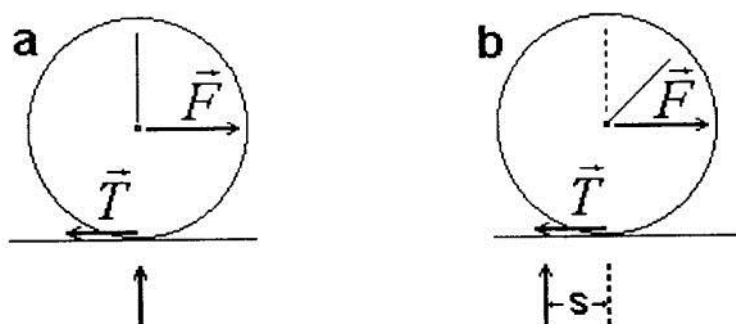
$$W = F \cdot \Delta s = E_{k,obr}. \quad (7)$$



Rys. 5. Siła \vec{F} działa na ciało sztywne o ustalonej osi obrotu.

Kula bilardowa

Rys. 6 ilustruje sytuację, z jaką mamy do czynienia przy wprawianiu w ruch kuli bilardowej; dla uproszczenia zostaniemy dalej przy konwencji kuli bilardowej.



Rys. 6. Siła \vec{F} działa na kulę, która może toczyć się (bez poślizgu) po podłożu.

Jeżeli siła \vec{F} (por. Rys. 6a) działa tak, że jej linia działania przechodzi przez środek kuli, to rodzi to siłę tarcia statycznego \vec{T} przeciwdziałającą poślizgowi i kula zaczyna się toczyć. Zatem siła

$$\vec{F}' = \vec{F} + \vec{T} \Rightarrow \vec{F}' = F - T \quad (8)$$

decyduje o ruchu środka masy kuli, a para sił \vec{T} i $\vec{F} - \vec{F}'$ o jej obrocie.

Z uwagi na to, że przemieszczanie się środka masy kuli jest związane z jej toczeniem się, wymusza to odnośną relację między siłą \vec{T} i siłą \vec{F} . Dla jednorodnej kuli (analizę szczegółową zostawiamy Czytelnikowi) będzie to relacja

$$T = \frac{2}{7}F \quad (9)$$

Związek między pracą i uzyskaną przez kulę energią przyjmie tu postać

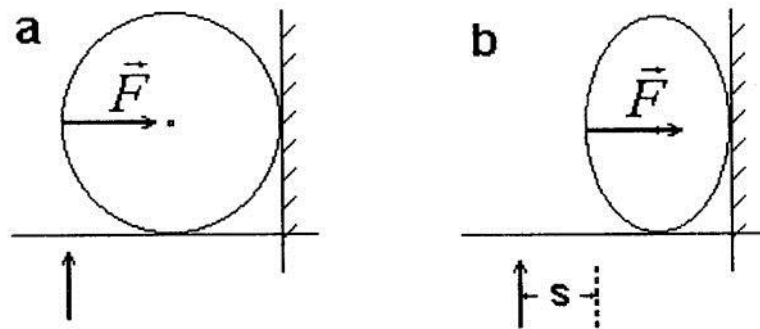
$$W = F \cdot s = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{5}mv^2, \quad (10)$$

gdzie I jest momentem bezwładności kuli (tu kuli jednorodnej) względem osi przechodzącej przez jej środek, a ω prędkością kątową wynikającą z toczenia się; to ostatnie oznacza relację

$$\omega = \frac{v}{r}; \quad (11)$$

we wzorze (11) r jest promieniem kuli, a v w (10) i (11) oznacza prędkość kuli.

Wreszcie na Rys. 7 pokazana jest sytuacja ciała opartego o nieruchomą przegrodę. Tu skutkiem działania siły \vec{F} jest odkształcenie ciała.



Rys. 7. Siła \vec{F} powoduje odkształcenie ciała.

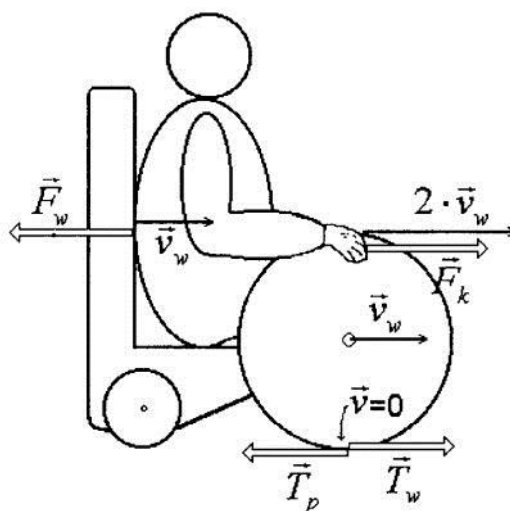
Jeżeli miejsce przyłożenia siły doznało przy tym odkształcaniu przemieszczenia o s , to mamy związek

$$W = \langle F \rangle \cdot s = \Delta U, \quad (12)$$

gdzie ΔU jest zmianą energii wewnętrznej ciała, a $\langle F \rangle$ oznacza tu średnią wartość siły na drodze s .

Dlaczego można samodzielnie poruszać się na wózku?

Na Rys. 8 jest przedstawiona sytuacja odmienna od poprzednich, bowiem nie mamy tu do czynienia z obecnością siły zewnętrznej wykonującej pracę nad układem (tu wózkiem inwalidzkim z użytkownikiem). Źródłem energii są tu mięśnie człowieka,



Rys. 8. Siły i prędkości związane z ruchem wózka inwalidzkiego.

który opierając się o oparcie wózka – wywierając na nie nacisk \vec{F}_w – popycha górną część koła siłą \vec{F}_k ($\vec{F}_k = -\vec{F}_w$). Jeżeli wózek ma aktualnie prędkość \vec{v}_w , jak zaznaczono na rysunku, to praca wykonywana przez człowieka w krótkim odstępie czasu Δt jest równa

$$W = \left[\vec{F}_w \cdot \vec{v}_w + \vec{F}_k \cdot 2\vec{v}_w \right] \cdot \Delta t = F_k v_w \Delta t. \quad (13)$$

Efektom tej pracy jest przyrost energii kinetycznej, związanej z ruchem wózka (ΔE_{kw}), przyrost energii ruchu obrotowego kół (ΔE_{obr}) i wytworzenie ciepła (ΔQ) związanego z tarcie, tj.

$$W = \Delta K_{kw} + \Delta E_{obr} + \Delta Q. \quad (14)$$

Ponieważ jedyną siłą zewnętrzną działającą na wózek jest tu siła tarcia statycznego kół o podłoże (\vec{T}_w ; siła \vec{T}_w rodzi się jednocześnie z zaznaczoną na rysunku siłą \vec{T}_p , działającą na podłoże), to słuszny jest związek

$$\Delta E_{kw} = T_w v_w \Delta t, \quad (15)$$

bo środek masy wózka porusza się tak jak poruszałby się punkt materialny o masie równej masie wózka pod działaniem siły \vec{T}_w . Właśnie słuszność związku (15) może sugerować, że to siła \vec{T}_w wykonuje pracę na rzecz rozpędzania wózka. W istocie wzór (15) **pozwała jedynie obliczyć** (o ile wcześniej znajdziemy wartość \vec{T}_w) tę **część pracy sił wewnętrznych**, która przypada na przyrost energii kinetycznej związanej z ruchem postępowym wózka. Ponieważ wszystkie wyrazy we wzorze (14) są nieujemne, to z wzorów (13–15) otrzymujemy, że

$$T_w \leq F_k. \quad (16)$$

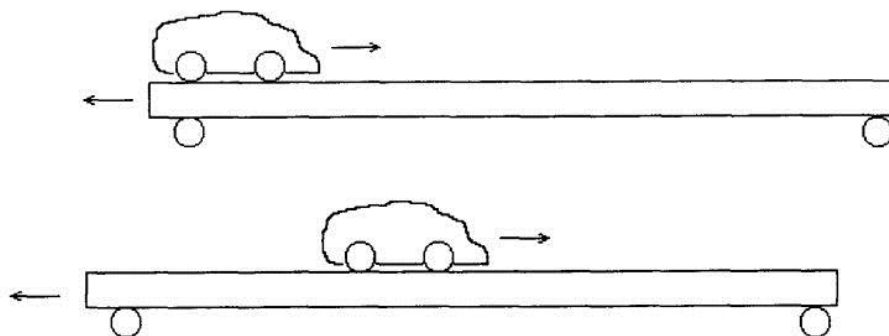
Równość w (16) wystąpi gdy możliwe będzie zaniedbanie tarcia między elementami wózka i przyjęcie zerowych momentów bezwładności kół.

Zadanie

W pobliżu jednego końca długiej poziomej platformy o masie m_p i bardzo lekkich kołach stoi samochód o masie m_s . W chwili $t = 0$ włączono silnik samochodu i ruszył on, bez poślizgu, ze stałym przyspieszeniem a (w prawo; por. Rys. A) względem platformy.

Znajdź:

- a) przyspieszenie platformy i samochodu względem ziemi;
- b) podział wytworzonej energii kinetycznej między samochód i platformę.



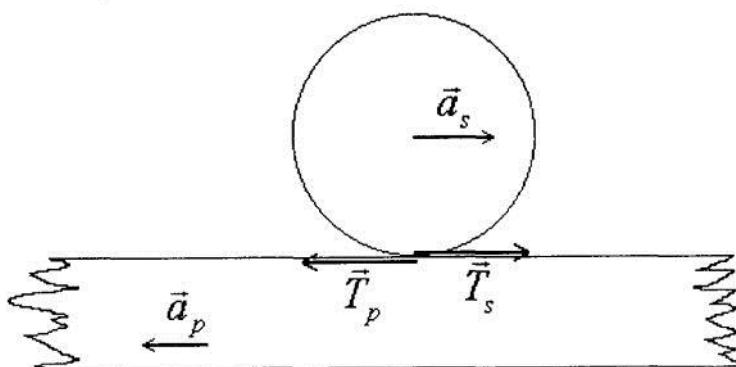
Rys. A. Ilustracja do tekstu Zadania.

Rozwiązanie Zadania

Uwaga: przy rozwiązywaniu zadania wygodnym przybliżeniem będzie założenie, że układ związany z powierzchnią, na której jest platforma jest układem inercyjnym.

Próba rozpędzenia samochodu powoduje pojawienie się w miejscu aktualnego stykania się opony koła (dla uproszczenia przyjmijmy, że jest jedno koło napędowe jak u motocykla) z platformą, dwu sił tarcia (por. Rys. B): siły \vec{T}_p działającej (tu w lewo) na platformę i siły \vec{T}_s działającej na oponę. Oczywiście, stosownie do III zasady dynamiki

$$\vec{T}_p = -\vec{T}_s \Rightarrow T_p = T_s. \quad (1)$$



Rys. B. Ilustracja do rozwiązania Zadania.

Siła działa na platformę powodując, że porusza się ona (w lewo) z przyspieszeniem o wartości

$$a_p = \frac{T_p}{m_p}. \quad (2)$$

Z kolei siła \vec{T}_s jest jedyną nieskompensowaną siłą działającą na elementy samochodu (siły powstające wewnątrz układu dają w sumie zero), a więc samochód (jego środek masy) musi poruszać się w prawo z przyspieszeniem

$$a_s = \frac{T_s}{m_s}. \quad (3)$$

Oznacza to (stosownie do wzoru (1)), że

$$\frac{a_p}{a_s} = \frac{m_s}{m_p}. \quad (4)$$

i oczywiście mamy

$$a_s + a_p = a. \quad (5)$$

Dalej z (4) i (5) otrzymujemy

$$a_s = a \cdot \frac{m_p}{m_s + m_p} \quad (6a)$$

i

$$a_p = a \cdot \frac{m_s}{m_s + m_p}. \quad (6b)$$

Dla chwili t od początku ruchu będziemy mieli wzory:

$$v_s = a \cdot t \cdot \frac{m_p}{m_s + m_p} \quad (7a)$$

i

$$v_p = a \cdot t \cdot \frac{m_s}{m_s + m_p}, \quad (7b)$$

na prędkość samochodu i platformy (względem ziemi), odpowiednio. Oczywiście prędkość samochodu względem platformy (poruszającej się z przyspieszeniem względem ziemi, a więc nie stanowiącej układu inercyjnego) będzie równa co do wartości

$$v = v_s + v_p \quad (7c)$$

(samochód i platforma poruszają się w przeciwne strony względem ziemi).

Wróćmy teraz do rysunku B. Aktualne punkty przyłożenia sił \vec{T}_s i \vec{T}_p są nieruchome względem platformy, a więc w stosunku do ziemi poruszają się w lewo z prędkością v_p . Kierunek ich przemieszczania się jest więc zgodny z kierunkiem (zwrotem) siły \vec{T}_p i przeciwny (przeciwny zwrot) do siły \vec{T}_s .

Oznacza to, że **siła** \vec{T}_p , działająca na platformę ze strony samochodu, wykonuje pracę **dodatnią**, a **siła** \vec{T}_s , działająca na samochód ze strony platformy, wykonuje pracę **ujemną**; **platforma pobiera** energię od samochodu.

Jeżeli będzie

$$m_s \ll m_p \quad (8)$$

(bardzo ciężka platforma; w granicy np. Ziemia), to samochód (z uwagi na $v_p = 0$) praktycznie **nie będzie przekazywał energii platformie (w granicy Ziemi)**, ale na pewno **nie będzie jej od niej pobierał**.

Wróćmy do platformy o skończonej masie. Stosownie do wzorów 7a i 7b energie kinetyczne samochodu i platformy można zapisać wzorami

$$E_{ks} = \frac{1}{2} m_s v_s^2 = m_p \cdot \frac{1}{2} \frac{m_p m_s}{(m_p + m_s)} a^2 t^2 \quad (9)$$

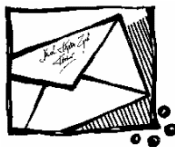
i

$$E_{kp} = \frac{1}{2} m_p v_p^2 = m_s \cdot \frac{1}{2} \frac{m_p m_s}{(m_p + m_s)} a^2 t^2, \quad (10)$$

odpowiednio. Zatem

$$\frac{E_{ks}}{E_{kp}} = \frac{m_p}{m_s}. \quad (11)$$

Jak widać, energie kinetyczne samochodu i platformy są odwrotnie proporcjonalne do ich mas. Jest to dość ważny związek, dotyczący rozpadu jednego obiektu na dwie części. Wyzwalana energia rozpadu (tu energia wytworzona przez silnik) dzieli się między produkty rozpadu w sposób określony wzorem (11) (uwaga: wzór (11) dotyczy sytuacji nierelatywistycznej).



Odpowiedź Autora

Jan Blinowski

Instytut Fizyki Doświadczalnej UW

Z zainteresowaniem przeczytałem krytyczne uwagi do napisanego przeze mnie podręcznika i oczywiście muszę z nich wyciągnąć wnioski. W następnych wydaniach zmienię nieco tekst, aby dla wszystkich było jasne, że ja też, podobnie jak Autorzy uwag krytycznych, uważam, że to silnik samochodu, a nie Ziemia wykonuje pracę potrzebną przy rozpędzaniu samochodu.

Wydawało mi się, że moje przekonania powinny być dostatecznie klarowne, gdy piszę w książce (str. 97, wiersz 4 od dołu) „W przypadku samochodu pracę wykonuje naprawdę silnik, ale to siła tarcia rozpędza samochód”, a kilka wierszy wyżej: „Siła tarcia spoczynkowego pojawia się jako siła reakcji do siły, z jaką koło samochodu, obracane przez silnik, pcha do tyłu powierzchnię szosy. Siła tarcia spoczynkowego jest więc w rzeczywistości tylko pośrednikiem w zwiększaniu energii samochodu”.

Prawdą jest jednak także, że napisałem również nieco wyżej w podręczniku zdanie cytowane przez Autorów uwag krytycznych. Samo w sobie jest ono fałszywe, sądziłem jednak, że w świetle całej strony 97 podręcznika taki skrót myślowy jest uprawniony. Spróbuję wyjaśnić, dlaczego go zastosowałem.

Samochód jest bardzo złożonym układem fizycznym, nie można go uznać ani za układ mechaniczny, ani za układ termodynamiczny, nawet jeśli odstąpi się od najbardziej ortodoksyjnych definicji takich układów. Powszechnie dla fizyki jest jednak stosowanie uproszczonych modeli rzeczywistości, których własności w pewnym zakresie zjawisk przypominają własności układów rzeczywistych. Biorąc pod uwagę, że prawa ruchu układów brył sztywnych z więzami wykraczają daleko poza zakres szkolnej fizyki, starałem się utrzymać, w maksymalnym możliwym stopniu, wyjaśnienie napędu samochodu w ramach modelu punktu materialnego i układu punktów materialnych, w obecności więzów ograniczających obszar dostępny dla ruchu.

Siły tarcia działające na punkty materialne spoczywające względem układu inercjalnego oczywiście nie mogą przyczynić się do wzrostu energii tych punktów materialnych. Ale także nie mogą nadać przyspieszenia środkowi masy układu, jeśli nie ma różnego od zera momentu sił działających na układ punktów. Jeśli jednak chcemy zastosować tego rodzaju model do opisu samochodu, godzimy się ze stwierdzeniem, że siła tarcia statycznego rozpędza samochód, choć to nie ona jest przyczyną sprawczą – gdyby nie moment sił obracających koło nie byłoby przyspieszenia. Autorzy uwag krytycznych także stosują, i słusznie, ten niewątpliwie skrót myślowy w proponowanym przez siebie roz-

wiązaniu zadania z samochodem na platformie. Autorzy nie wnikają w to, że w rzeczywistości karoseria samochodu rozpędzana jest siłą reakcji osi koła uzyskującego przyspieszenie kątowe za sprawą momentu sił na nie działających, natomiast siła tarcia spoczynkowego zmniejsza to przyspieszenie kątowe i dostosowuje do przyspieszenia ruchu postępowego karoserii, interesuje ich jedynie wynik końcowy. Wynik ten wiąże przyspieszenie samochodu z siłą tarcia spoczynkowego.

Podobnego, choć może bardziej drastycznego skrótu myślowego dokonałem mówiąc, że to siła tarcia spoczynkowego wykonuje pracę potrzebną do zmiany energii kinetycznej samochodu. Taki właśnie jest wynik rachunku – znając wartość siły tarcia spoczynkowego i wielkość przesunięcia jej punktu przyłożenia w układzie inercyjnym w czasie działania siły, możemy obliczyć zmianę energii kinetycznej samochodu w tym czasie. To nie jest przypadek, lecz także wynik stosowania prostych praw mechaniki układu punktów materialnych w inercyjnym układzie odniesienia do skomplikowanego układu fizycznego, jakim jest samochód. Siła tarcia wyznacza przyspieszenie (jeśli znana jest masa), a masa, przyspieszenie i droga wystarczają do obliczenia pracy.

Jeśli ze stosowanego skrótu – mimo że napisałem wprost, że pracę wykonuje silnik – można wnioskować, jak Autorzy uwag, że moim zdaniem samochód pobiera energię od Ziemi, to niestety oznacza, że sformułowanie jest niefortunne i potrzebny jest obszerniejszy komentarz do problemu. Zapewne trafniej byłoby napisać: „siła tarcia statycznego determinuje, jaka część pracy silnika zużywana jest na nadanie samochodowi przyspieszenia w ruchu postępowym. W przypadku ruchu ze stałym przyspieszeniem, tę pracę można obliczyć mnożąc wartość siły tarcia spoczynkowego przez przesunięcie samochodu, a więc w taki sposób, jakby to siła tarcia spoczynkowego sama wykonywała pracę”.

Zadanie przedstawiane przez Autorów jest oczywiście rozwiązane poprawnie, ale szkoda, że Autorzy koncentrują się na pracy wykonanej na rozpędzenie platformy i nie obliczają także pracy wykonanej dla rozpędzenia samochodu w układzie inercyjnym. Obliczenie takie właśnie wykazałoby, że choć siła tarcia jest statyczna, i aktualny jej punkt przyłożenia ma prędkość w układzie inercyjnym skierowaną w przeciwną stronę niż prędkość i przyspieszenie samochodu, to praca zużyta na rozpędzenie samochodu jest równa iloczynowi tej siły i drogi pokonanej w układzie inercyjnym przez samochód w czasie przyspieszenia. Nie ma to oznaczać, że platforma wykonała pracę, oczywiście wykonał ją silnik, ale do obliczenia pracy można wykorzystać siłę tarcia spoczynkowego, tę, która jest bezpośrednią przyczyną przyspieszenia, ergo i przesunięcia samochodu (i punktu przyłożenia siły tarcia) względem układu inercyjnego.

Od Redakcji (JS):

Ostatnie zdanie odpowiedzi p. J. Blinowskiego wydaje się jednak przeczyć zdaniom Autorów (W. Ś. i St. J) na str. 53 (wiersze 1–7 od góry).

Nasze zdanie jest następujące:

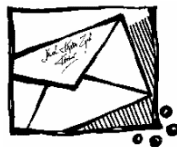
„Aktualny” punkt przyłożenia sił tarcia porusza się w lewo względem podłoża z prędkością \vec{v}_p – to prawda, ale dlaczego ten właśnie punkt miałby nas interesować? Przecież siła tarcia działająca na platformę nie jest stale przyłożona w tym jednym punkcie; jej punkt przyłożenia ciągle przesuwa się w prawo z prędkością chwilową \vec{v}_s względem podłoża, tak jak miejsce styczności koła z platformą. Dlaczego mielibyśmy uważać, że punkt przyłożenia siły tarcia \vec{T}_s działającej na samochód pozostał gdzieś w tyle, podczas gdy koło potoczyło się do przodu?

**Nieprawidłowe zadanie**

Zadanie z pewnego konkursu fizycznego dla szkół podstawowych (etap rejonowy), w którym było nieprawidłowo postawione pytanie.

Gdy przez uzwojenie silnika lokomotywy elektrycznej o sprawności 90%, pracującego pod napięciem 2500 V płynie prąd o natężeniu 100 A, wówczas lokomotywa porusza się ruchem jednostajnym z prędkością $36 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Masa lokomotywy wynosi 200 t.

Oblicz współczynnik tarcia kół lokomotywy o szyny (inne opory ruchu zaniebaj).



Anegdota

zasłyszana od profesora Łukasza Turskiego

Zabawne anegdoty spełniają swoją kształcącą rolę. Ażeby zrozumieć zabawność anegdoty, trzeba zwykle rozumieć problem fizyczny. Poniżej cytujemy anegdotę, zasłyszaną od profesora Łukasza Turskiego, przydatną na lekcje z termodynamiki. (Z.G-M)

Pewien profesor termodynamiki zadał swoim studentom następujące zadanie domowe:

Czy piekło jest egzotermiczne czy endotermiczne.

Odpowiedź należało uzasadnić.

Jeden ze studentów przedstawił następujące wypracowanie:

Zakładamy, że jeśli dusze istnieją, to muszą one mieć jakąś masę.

Pytamy następnie o tempo wpadania dusz do piekła i o tempo ucieczki dusz z piekła. Możemy bezpiecznie założyć, że dusza, która już raz wpadnie do piekła nigdy się z niego nie wydostanie. Tak więc nie ma dusz opuszczających piekło.

Rozpatrujemy następnie częstość wpadania dusz do piekła.

Na świecie jest wiele religii. W wielu religiach uważa się innowierców za potępionych, czyli potencjalnych mieszkańców piekła. Ponieważ większość religii tak twierdzi, a nikt nie jest wyznawcą dwóch religii naraz, możemy spokojnie założyć, że wszyscy idą do piekła.

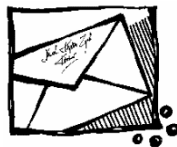
Ponieważ liczba urodzin wzrasta eksponencjalnie, to i liczba dusz wędrujących do piekła też wzrasta eksponencjalnie.

Badamy następnie tempo zmian objętości piekła.

Z równania stanu gazu doskonałego wynika, że aby temperatura i ciśnienie w piekle pozostawały stałe to stosunek masy dusz do objętości piekła musi też być stały. Tak więc jeśli piekło rozszerza się wolniej niż przybywa dusz do piekła, to temperatura i ciśnienie w piekle będą wzrastać dopóki się piekło nie rozpuknie.

Jeśli zaś ekspansja piekła będzie większa niż nabytki nowych dusz, to temperatura i ciśnienie w piekle będą spadać, aż w końcu piekło zamrznie.

Nie jest wiadomym, jaką ocenę dostał student.



Ile waży litr cieczy?

Wojciech Dindorf

Wiedeń, 12 kwiecień 1997

Wpadła mi w ręce książka: **Marian Kozielski** *Fizyka dla Szkół Średnich*, Tom 1, wydanie trzecie.

Czytałem podczas grypy. Im bardziej się w tę lekturę zagłębiałem, tym bardziej podnosiła mi się temperatura. Błąd na każdej stronie. Co najmniej jeden. A stron jest ponad dwieście. Język polski stał się dla mnie prawie językiem obcym – bardzo niewiele rozumiałem.

„Definicje” fizyki, siły, energii, ciepła, niutona, mola, liczby Avogadra(!), drogi przemieszczenia (co się potem gdzieś w przesunięcie zmienia) są mętne. Co gorsze, że sam autor swoich definicji w swoim tekście nie respektuje. Symbole mieszane i dowolne. Zdjęcia (często czarne plamy) i dziwne rysunki (patrz piknometr) podpisywane byle jak i byle gdzie.

Nazwiska fizyków pisane zupełnie dowolnie i niejednolicie. A o nich samych ani słowa poza tym, że byli genialni. Jedyne fizyk z rodowodem, to Autor na okładce.

Język uniwersytecki, bez jakiegokolwiek względu na wiek i przygotowanie słuchaczy. Skorowidz (nowość! tylko w tomie 1) tak czytelny jak niektóre książki telefoniczne, a już na pewno niekompletny. Podam przykład: moment bezwładności pojawia się na str. 178. Nie pojawia się w skorowidzu, ale i nie powinien w tekście. Einstein kilkanaście razy w tekście, raz tylko w skorowidzu. Małutki przykład kompletnego bałaganiku w podręczniku.

Zadania stare i banalne. Rozwiązania tych zadań okrężne i bez konkluzji, a czasem zwyczajnie złe. Doświadczenia niewykonalne (patrz Galileusz). Silnik Carnota może pracować na parze wodnej i to przy maksymalnej temperaturze 100°C. (O doświadczeniu „Galileusz” napisałem szerzej do *Fizyki w Szkole*).

Chciałbym poznać normalnego nauczyciela, który w normalnej szkole, normalnym dzieciom w pierwszej klasie licealnej będzie wprowadzał „Czterowymiarową czasoprzestrzeń Minkowskiego”. Z tym problemem autor wydaje się nie mieć trudności. Ma za to litość nad uczniami i z tego paragrafu „nie pyta”, czyli nie zadaje pytań sprawdzających.

Ma natomiast autor trudności i to spore z rozciąganiem sprężyny „siłą równoległą do przesunięcia”, z energią jako „wielkością fizyczną zgromadzoną w danym ciele” nie mówiąc już o takich oczywistych sprawach jak smarowanie torów (!) by wózek mógł dalej pojechać.

Szczytem wszystkiego jest chyba doświadczenie „Dyna” na str. 81. Autor sprawdza „wzór Newtona $F = ma$ ” mierząc niezależnie na równi pochyłej wartość siły ściągającej i wielkość przyspieszenia. Założenie wejściowe jest, że $P = mg$. Niczego nie zrozumiałem – chyba z powodu grypy.

Pewne jest, że autor lubi liczyć. Liczy dużo i zawile. Nie lubi zwracać uwagi na liczby znaczące ani na wyniki swoich obliczeń (patrz np. napięcie powierzchniowe).

Jeśli nie macie tej książeczki (w Redakcji) to pewnie zaraz pójdziecie kupić. Nie odradzam. Rozrywka na wiele, wiele godzin. A i studentom fizyki warto coś takiego polecić. Konkurs na spostrzegawczość, na to „Kto pierwszy” – mam na myśli, kto pierwszy znajdzie błąd. Ja znalazłem na razie na stronach: 3, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 45, 48, 70, 75, 78, 81(!), 83, 87, 88, 89, 90, 91, 94, 95, 96, 97, 104, 105, 109, 111, 112, 113, 114, 115, 117, 119, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 134, 135, 161, 162, 166, 167, 172, 174, 176, 178, 180, 181, 182, 184, 188, 190, 191, 192, 194, 195, 196, 197, 198, 200, 207, 208, 213, 216, 224, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 235, 237, 238.

Gdybym miał pod ręką jakiegoś doktora habilitowanego (jestem cholernie złośliwy) to policzyłby mi błędy i strony jak to zrobił z zadaniami w recenzji wydrukowanej na okładce. Jaki podręcznik taka recenzja.

Jak ktoś lubi szukać, to zostawiłem jeszcze trochę stron gdzie można poszperać. Jestem przekonany, że jeszcze jest wiele do odkrycia.

A na str. 3 autor dziękuje swoim uczniom z Liceum Ogólnokształcącego w ni osio n e poprawki korektorskie. Jak tyle wniosli to jak musiały wyglądać poprzednie wydania?

Tak się dzieło zaczyna. A kończy się wykrzyknikiem. Wykrzyknikiem czy radości czy zdziwienia – nie wiem. Wiem natomiast, że litr plazmy – bo o takiej substancji jest mowa – nie musi ważyć 100 ton bo plazma to stan materii, a stan nie waży. Nawet litr stanu.

Przykre to w sumie. A podobno komplet czterech tomów z foliogramami i dyskietkami ma nazywać się „Fizyka 2000”. Wiem, że dyrektorzy niektórych Liceów zalecają pierwszoklasistom właśnie tę książkę.



Przestrzeń i Ruch, Andrzej Szymacha

Propozycja nowoczesnego nauczania zasad mechaniki
dla studentów Nauczycielskiego Kolegium Fizyki
Zofia Gołąb-Meyer

Nauczycielskie Kolegium Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego wydaje dla swoich studentów serię skryptów. W ramach tej serii profesor Andrzej Szymacha napisał oryginalny podręcznik *Przestrzeń i Ruch* [1]. A oto spis rzeczy podręcznika:

1. Wstęp
2. Kinematyka
3. Zasady dynamiki. Grawitacja.
4. Mechanika ciał ziemskich
5. Bryła sztywna. Momenty.
6. Uzupełnienia. Orbity planet.

Podręcznik A. Szymacha nie jest z pewnością tzw. klasycznym podręcznikiem podstaw mechaniki typu podręczników np. A. Piekary [2], D. Hallidaya i R. Resnicka [3] czy podręcznik mechaniki z kursu berkeleyowskiego [4]. Nie jest to bowiem kurs fizyki doświadczalnej. Nie jest on również wstępem do mechaniki teoretycznej. Mimo to jest elementarnym podręcznikiem, którego duże fragmenty mogą stanowić gotowe materiały do przekazania ich wprost uczniom szkoły średniej. Podręcznik jest napisany w nadziei, że słuchacze, przyszli nauczyciele, będą niejako tubą Andrzeja Szymacha i powtórzą swoim uczniom rozumowanie i podejście autora. Nie oznacza to jednak, że książka jest przeznaczona bezpośrednio dla uczniów szkół średnich. Brak w niej doświadczalnego wprowadzenia, niezbędnego w takim kursie (a co słuchacze wykładu A. Szymacha mieli zapewne uprzednio), książka wymaga od czytelnika pewnej niewielkiej erudycji fizycznej.

Kiedy powstaje kolejny podręcznik mechaniki klasycznej rodzi się pytanie co nowego, oryginalnego ma autor do zaoferowania.

Andrzej Szymacha jako długoletni wykładowca doskonale wyczuł i rozpoznał przeszkody poznawcze (*O przeszkodach poznawczych* patrz *Foton* 45), jakie mają studenci przy studiowaniu mechaniki a zwłaszcza mechaniki relatywistycznej. Od lat czyni on wysiłki, by zminimalizować trudności zrozumienia mechaniki relatywistycznej.

Podręcznik *Ruch i przestrzeń* jest tak skonstruowany, by zrozumienie mechaniki relatywistycznej uczynić „bezprzeszkodowym”. Powstaje jednak pytanie, czy nie występuje sytuacja opisana przez Bachelarda (patrz *Foton* 45), a mianowicie, że usunięcie jednej przeszkody powoduje powstanie innych, na innym etapie nauczania, by mówiąc obrazowo, „czy skórka warta jest wypra-

wy?”. Na to pytanie nie można jednak odpowiedzieć bez przeprowadzenia wywiadów ze studentami nauczonymi „metodą Szymachy”, bez przeprowadzenia czegoś w rodzaju testu czy egzaminu, bez poproszenia innego wykładowcy o wykładanie metodą Szymachy. Znane są bowiem w dydaktyce przykłady kiedy oryginalne podejście „pracuje”, przynajmniej początkowo, tylko w wykonaniu autora (np. słynne wykłady Feynmana).

Oto przeszkody poznawcze, których usunięcie ma zapewnić podejście Szymachy:

1. Zasypanie przepaści pomiędzy dynamiką punktu materialnego a dynamiką rzeczywistych obiektów.
2. Zrozumienie sensu zmian układu współrzędnych, transformacji Galileusza i Lorentza.
3. Zrozumienie zasady bezwładności i zasad dynamiki relatywistycznej.

Ad 1.

Przejście pomiędzy fizyką punktu materialnego a fizyką rzeczywistych obiektów jest bardzo trudne. Fizyka rzeczywistych obiektów często powinna uwzględniać mikroskopowe mechanizmy i fizykę statystyczną.

Autorzy elementarnych podręczników często prześlizgują się nad mechanizmem transmisji sił w ciałach stałych. Wprowadza się bryłę sztywną. Tymczasem dla ucznia takie obiekty jak właśnie bryła sztywna, lina, sprężyny, krążki pozostają obiektami enigmatycznymi. W życiu codziennym rzadko występują przedmioty o idealnych własnościach. W nauczaniu zastępowanie sił rozproszonych jedną siłą wypadkową występuje często bez uzasadnienia. Część uczniów uczy się z powodzeniem „trików” potrzebnych do rozwiązywania zadań. Uzasadnienie tych „trików” przychodzi później. Brak jednak zrozumienia mechanizmów uzasadniających te triki „uwiera” rozumienie mechaniki jak kamień w bucie.

A. Szymacha w swoim podręczniku przedstawia mikroskopowe tłumaczenia ciśnienia, oporów, sprężystości, tarcia. Rozważa klocki i linki. To wszystko znajduje się w rozdziale 4 podręcznika. Polecam np. niestandardowe wyprowadzenie wzoru na ciśnienie gazu doskonałego. Rozdziały o naturze oporów i sprężystości (rozdziały o oporach, tarcu, sprężystości i spoistości) na pewno pomogą uczniom w rozumieniu istoty tych zjawisk, lecz nie mogą one zastąpić klasycznego podejścia z serią odpowiednich doświadczeń i zadań. Dobre są przykłady w rozdziale o klockach i linkach. Zachęcamy Państwa do lektury w tym *Fotonie* rozdziałów zawierających dyskusję o pracy wykonywanej przez siły tarcia.

Ad 2.

Ominięcie trudności ze zrozumieniem zasady względności oraz rozumienia transformacji Galileusza i Lorenza A. Szymacha osiąga poprzez żmudne i sztuczne wyprowadzenie obu transformacji naraz (rozdział 2.2 *Położenie punktu, wektory*). Wyprowadzenie jest eleganckie i elementarne, jednakowoż u początkującego studenta może zrodzić zniecierpliwienie poprzez brak zrozumienia dla zbyt ogólności i sztuczności. Uczeń może zniechęcić się nim przyjdzie mu spożytkować owoce swego trudu. Podejście A. Szymacha jest na pewno doskonałym pogłębieniem rozumienia problemu w drugim podejściu, a więc np. dla przyszłych nauczycieli, którzy są po kursie mechaniki doświadczalnej. Nie polecałabym jednak tego dla uczniów szkół średnich.

Mam wątpliwości, czy po kursie Szymacha student będzie rozumiał potrzebę wprowadzanie czasoprzestrzeni i czy będzie rozróżniał własności czasoprzestrzeni Galileusza od czasoprzestrzeni Minkowskiego. A to jest dość istotne.

Takie rozróżnienie własności tych czasoprzestrzeni jest wyraźne w książce Kopczyńskiego i Trautmana *Czasoprzestrzeń* [5] i w haśle w Encyklopedii Fizyki „*O niektórych podstawowych pojęciach fizyki*” opracowanym przez A. Staruszkiewicza [6].

Ad 3.

W prezentacji dynamiki A. Szymacha odchodzi od klasycznie sformułowanych zasad Newtona. W miejsce zasad Newtona A. Szymacha proponuje cztery następujące (str. 83):

1. Zasada bezwładności.
2. Zasada demokracji (równoważność układów inercjalnych, zwana tradycyjnie zasadą względności).
3. Zasada zachowania pędu i masy (bardzo silnie sugerowana przez dwie poprzednie i praktycznie przez nie narzucona).
4. Zasad determinizmu stwierdzająca możliwość wyrażenia szybkości dopływu pędu, czyli możliwość wyrażenia siły, przez położenie i prędkość cząstki.

Według A. Szymacha: „przedstawiony powyżej zestaw jest o tyle wygodniejszy dydaktycznie, że udało się wydzielić – jako pierwsze trzy powyższe zasady – tę część teorii Newtona, która się nie zestarzała. Pierwsze trzy zasady stosują się nadal do tych obszarów fizyki współczesnej, które dotyczą zjawisk w mikroświecie”.

Widzimy, że A. Szymacha zastępuje rzeczywiście niefortunną nazwę zasada względności zasadą demokracji. Czy jest to lepsza nazwa zależy od konotacji

jakie uczniowie mają. Jeśli demokracja kojarzy się z rządami większości to zmiana nazwy nie ułatwi rozumienia. Znacznie lepszym i uznanym terminem jest Zasada Symetrii Galileusza.

Proponowana przez A. Szymachę zasada zachowania masy i pędu daje gładkie przejście do masy i pędu relatywistycznego. Szymacha osiąga cel wprowadzając masę bezwładną, jak sam pisze na str. 78, w sposób pozornie dziwaczny i odległy od praktyki życia.

Pisze on: (str. 78):

„W przybliżeniu Galileusza, masa to wielkość przypisywana ciału tak, by po pomnożeniu przez prędkość spełnione było prawo zachowania sumy wielkości $m\vec{v}$ oddziaływujących ciał. Masę jednego, dowolnie wybranego (na mocy umowy fizyków) ciała w przyrodzie określamy arbitralnie jako jednostkową. Sam iloczyn nazywa się pędem ciała. Oznaczany jest symbolem \vec{p} ”.

Taka definicja jest w istocie dla nowicjuszy dziwaczna i mam poważne wątpliwości, czy można od niej w szkole startować. Mamy tutaj typowy przykład *de facto* nie usuwalnej przeszkody poznawczej polegający na zderzenia struktury – w której bardziej fundamentalną niż masa i prędkość wielkością jest pęd – a widzeniem rzeczywistości przez nowicjusza, który wie co to jest kilogram cukru i co oznacza prędkość 100 km/h.

W sformułowaniu zasady Zachowania Masy i Pędu Szymacha umieścił komentarz, że zasada ta silnie jest **sugerowana** przez dwie poprzednie. Nie jest to ścisłe, bowiem Zasada Zachowania Pędu po prostu wynika z dwóch poprzednich.

Sformułowanie drugiej zasady Newtona u A. Szymachy w postaci Zasady Determinizmu przypomina sformułowanie dynamiki w Szkole Karlsruhe (Falk, Herrmann), w której nie operuje się siłami tylko strumieniami pędu. Falk i Herrmann twierdzą, że uczniowie szkół podstawowych i średnich świetnie takie podejście asymilują [7].

Wprowadzenie nowej nazwy służyć ma nadaniu słowu determinizm ścisłe określonego sensu. To może być mylące w dobie rozważania zjawisk chaotycznych, i określenia chaos deterministyczny.

Podsumowanie

Książka Andrzeja Szymachy *Przestrzeń i Ruch* jest bardzo ciekawą pozycją dla przyszedłych i już uczących nauczycieli. Może być inspiracją dla poszukiwania własnych rozwiązań dydaktycznych. Niewątpliwie podręcznik ma wartość największą dla słuchaczy wykładów profesora Szymachy, jest bowiem spisany wykładem, razem z dygresjami. Książka zawiera nie tylko ciekawe, oryginalne podejście do nauczania mechaniki, lecz zawiera także ładne i użyteczne przykłady.

Książka jest warta przetestowania na studentach.

Niestety, książka zawiera dużo błędów literowych i językowych, sprawia wrażenie jeszcze niedopracowanej do końca.

Literatura

- [1] Andrzej Szymacha, *Przestrzeń i Ruch*, UW, Wydział Fizyki, Nauczycielskie Kolegium, W-wa 1996.
- [2] Arkadiusz Piekara, *Mechanika ogólna*, wyd. VIII, PWN, 1986.
- [3] David Halliday, Robert Resnick, *Fizyka*, PWN, 1994.
- [4] C. Kittel, W. D. Knight, M. A. Ruderman, *Mechanika*, wyd. III, PWP, W-wa 1975.
- [5] W. Kopczyński, A. Trautman, *Czasoprzestrzeń i grawitacja*, PWN, W-wa 1989.
- [6] A. Staruszkiewicz, *O niektórych podstawowych pojęciach fizycznych*, Encyklopedia Fizyki Współczesnej, PWP, W-wa 1983 (str. 35).
- [7] *Ein moderner Physikkurs fuer Anfaenger und seine Begrundung*, Herausgeber G. Falk, F. Herrmann, in *Konzepte eine zeitgemäßig Phsik unterrichts*, Schroedel, 1979.



Co czytać

Postępy Fizyki Zeszyt 1, tom 48 (1997)

Czy fizyk może być platonikiem? – Włodzimierz Kołos

Kołos: Osobiście podzielam pogląd tych, którzy dają priorytet platonizmowi. Rzeczywistość mikroświata okazała się bliższa ideom Platona niż atomom Demokryta.

Historia Szkolnej Pracowni Przyrodniczej w Wilnie (w 75 rocznicę powstania)
– Janusz Eugeniusz Dmochowski

Lato z Helem '96 – Zbigniew Trybuła

Błędy w procesie uczenia matematyki (Próba syntezy) Zdzisława Dybiec
Wyd. UJ, Kraków 1996, dostępne w kiosku w IFUJ, ul. Reymonta 4.

Gorąco polecamy bardzo interesującą lekturę:

Autobiografię Richarda Feynmana – *Pan Raczy żartować panie Feynman!*,
wydaną przez „Znak”.

Z tygodników polecamy *Magazyn Gazety Wyborczej* (Nr 10, str. 22)

„Z historii fizyki” fragment książki zamieszkałego w Ameryce wybitnego pisarza Henryka Grynberga pt. *Drohobycz, Drohobycz...*, która ukaże się w kwietniu nakładem warszawskiego wydawnictwa W. A. B.

We *Wprost* (4 maja '97) polecamy artykuł profesora Łukasza Turskiego *Echo milczenia owiec* – o współodpowiedzialności polskiego środowiska naukowego w spychaniu go na margines w decydowaniu o losach polskiej nauki i szkolnictwa.

Jak zwykle polecamy *Fizykę w Szkole*.

**XXXIV Zjazd Fizyków Polskich****Katowice, 15–18 września 1997 roku**

Organizatorzy

Polskie Towarzystwo Fizyczne, Oddział Katowicki
Instytut Fizyki Uniwersytetu Śląskiego
Instytut Fizyki i Chemii Metali Uniwersytetu Śląskiego
Instytut Fizyki Politechniki Śląskiej
Zakład Fizyki Ciała Stałego PAN w Zabrze

Adres:

XXXIV Zjazd Fizyków Polskich
Instytut Fizyki, Uniwersytet Śląski,
ul. Uniwersytecka 4, 40-007 Katowice
tel./fax: (32) 588 431
e-mail: zfp@us.edu.pl
<http://www.us.edu.pl/zfp>

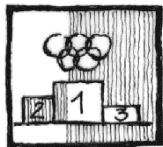
Oplaty konferencyjne wraz z kosztami wyżywienia, bez kosztów zakwaterowania

Oплата pełna 130 zł

Oплата dla członków PTF 100 zł

Oплата zniżkowa 50 zł

Oплата zniżkowa przysługuje nauczycielom szkół podstawowych i średnich oraz uczniom i studentom.



Konkurs fizyczny

Jadwiga Wójcicka

WOM Kraków

Tegoroczny Konkurs Fizyczny rozgrywany był pod hasłem „Przewidujemy i wyjaśniamy skutki oddziaływań (międzycząsteczkowych oraz między ciałami makroskopowymi)”. Jak co roku konkurs cieszył się dużą popularnością wśród młodzieży. W pierwszym etapie (szkolnym) uczestniczyło 754 uczniów ze 135 szkół podstawowych województwa krakowskiego.

Oto lista laureatów:

L.p.	Imię i nazwisko	Lokata	Szkoła	Klasa	Nauczyciel
1.	Emilia Łopacz	I	SP 24	8	G. Francuz-Ornat
2.	Tomasz Kurkiewicz	II	SP 55	8	Z. Janawa
3.	Piotr Paruch	II	SP 144	8	M. Szczepańska
4.	Maciej Franas	III	SP 2 Skawina	8	J. Wątor, K. Bahyrycz
5.	Aleksandra Maj	III	SP 126	8	A. Michalak
6.	Radosław Kurlit	IV	SP 1 Skawina	8	K. Bahyrycz
7.	Grzegorz Ciaptacz	V	SP 109	8	D. Karolczak
8.	Bartosz Sokołowski	VI	SP 31	8	M. Kupiec
9.	Tomasz Tyranowski	VI	SP 5	7	B. Jugowiec
10.	Sebastian Ostrowski	VII	SP 29	8	D. Biczewska
11.	Eryk Schiller	VII	SP 12	8	W. Sikora
12.	Andrzej Krzysztof Oleś	VIII	SP 72	8	J. Gramatyka
13.	Artur Skorek	VIII	SP 100	8	B. Golańkiewicz
14.	Szymon Godlewski	IX	SP 12	7	W. Sikora
15.	Marek Kołodziejczyk	IX	SP 15	8	C. Czuba
16.	Michał Listwan	IX	SP 130	8	J. Adamek

Puchar Przechodni ufundowany przez Kuratora Oświaty zdobyła reprezentacja Szkoły Podstawowej nr 109 w składzie: Grzegorz Ciaptacz, Marcin Pieczonka, Roman Sienko, Leszek Wroński przygotowywana przez p. Dorotę Karolczak i p. Dorotę Tulebę.

Uroczystość zakończenia Konkursu odbyła się 16 kwietnia w auli Instytutu Fizyki UJ. Spotkanie rozpoczęło się interesującymi pokazami eksperymentów z fizyki, które prezentowali: dr Zofia Gołąb-Meyer i dr Marek Gołąb, przyjęty mi entuzjastycznie przez uczniów.

Dostrzegając potrzebę nagrodzenia wysiłku tych uczniów, którzy już w szkole podstawowej wykazują bardzo duże zainteresowanie fizyką, ciekawe i cenne nagrody ufundowali:

Dyrekcja IFUJ i kierownicy Zakładów, prof. dr hab. Ryszard Radwański – Centrum Fizyki Ciała Stałego WSP, Redakcja *Fotonu*, Wydawnictwo *Zamiast Korepetycji*, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne oraz Kuratorium Oświaty.

Nagrody to bardzo cenne pozycje książkowe i encyklopedyczne, luneta, aparat fotograficzny, kalkulatory programowalne, plecak, szachy. Opiekunka uczennicy, która zdobyła I nagrodę otrzymała od ZTCz nieużywany już w zakładzie komputer PC286.



Komunikaty Redakcji

SPOTKANIA ŚRODOWE

IFUJ, PTF Sekcja Nauczycielska, WOM-Kraków
Kraków, ul. Reymonta 4, parter – sala 055

Uprzejmie informujemy, iż w **środy o 16⁰⁰** w Instytucie Fizyki UJ odbywają się wykłady i pokazy dla młodzieży szkół średnich. Informacje o wykładach rozprawdza Krakowski WOM.

Nauczyciele i szkoły, które przyślą zaadresowane do siebie koperty będą otrzymywać informacje pocztą.

Bardzo prosimy zgłaszać uczestnictwo telefonicznie (33 63 77 w. 563)!!!

14.V.1997 dr Marek Gołąb *Energia i ciepło* – wykład dla uczniów szkół średnich

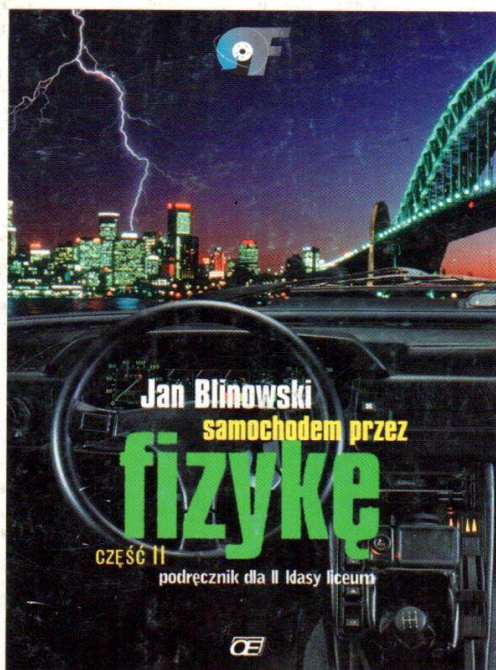
Pracownia Pokazów Fizycznych Instytutu Fizyki UJ organizuje bogato ilustrowane doświadczeniami pokazowymi wykłady dla młodzieży szkół średnich.

Wykłady odbywać się będą **o godz. 16, w sali 055** Instytutu Fizyki UJ.
Prosimy o potwierdzenie przybycia – tel. 33-63-77 w. 504.

21.V.1997 dr Marek Gołąb *Mechanika*

4.VI.1997 dr Jerzy Mucha *Elektromagnetyzm*

Serdecznie zapraszamy na Dni Otwarte Instytutu Fizyki UJ w dniach **19 i 20 maja 1997.**



“Samochoodem przez fizykę” to tytuł autorskiej serii podręczników Jana Blinowskiego do nauczania fizyki w szkołach ponadpodstawowych. Książki łączą w sobie zalety klasycznych podręczników z niekonwencjonalnym ujęciem przedmiotu. Współczesny, powszechnie dostępny samochód został

zamieniony przez autora w laboratorium fizyczne.

Dotychczas ukazały się:

Cz. I. Podręcznik dla I klasy liceum (wyd. II 1996)

Cz. II. Podręcznik dla II klasy liceum (wyd. I 1997)

Kolejne części w przygotowaniu.



OFICYNA EDUKACYJNA KRZYSZTOF PAZDRO

ul. Kościańska 4, 01-695 Warszawa

tel. 639-85-40

e-mail: oe pazdro@pol.pl