

# Rozumienie prawa zachowania pędu przez nauczycieli przyrody i nauczycieli fizyki w gimnazjach

Zofia Gołąb-Meyer

Instytut Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego  
30-059 Kraków, ul. Reymonta 4

## Streszczenie

W pracy pokazane są wyniki badań trudności nauczycieli ze zrozumieniem pojęcia pędu i prawa zachowania pędu.

Pojęcie pędu jest pojęciem trudnym i jego sens jest jasny dopiero po ogarnięciu całości dynamiki. Trudnym jest przejście od abstrakcyjnej dynamiki punktów materialnych do fizyki realnych obiektów. Trudność sprawia przetłumaczenie realnej sytuacji na model fizyczny.

W pracy przeanalizowano błędy popełniane przez nauczycieli rozwiązujących zadanie. Stwierdzono, iż nauczyciele mają bardzo podobne trudności do tych jakie mają uczniowie. Niepokonanie trudności nauczycieli można wytłumaczyć bardzo ograniczonym czasem nauczania tego problemu, z bardzo nikłą liczbą przykładów. W typowych podręcznikach jest to jeden rozdział, często zatytułowany „Zderzenia”. Zbyt pospieszna werbalizacja prawa zachowania pędu, nie poparta mnogością rozmaitych doświadczeń i przykładów rachunkowych prowadzi w najlepszym przypadku do spłylenia rozumienia prawa zachowania pędu, a znacznie częściej do niewłaściwego zrozumienia lub po prostu do jego nieznaomości.

Grudzień 1999

---

Pracę wykonano w ramach grantu 2 P03B 091 15

## 1 Wstęp

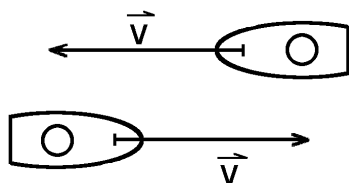
Obserwowane uprzednio duże niezrozumienie prawa zachowania pędu u uczniów i studentów wstępujących na uczelnię mogło mieć za przyczynę niezrozumienie tego prawa wśród nauczycieli. Aby sprawdzić rozumienie tego prawa wśród nauczycieli zaproponowano im rozwiązanie prostych zadań ilustrujących prawo zachowania pędu. Przypuszczenie o braku znajomości tego prawa potwierdziło się. W artykule przeanalizowano najczęstsze trudności i błędy popełniane przez nauczycieli. Wskazano też na inną przyczynę trudności, a mianowicie na zbyt lakoniczne i nieodpowiednie potraktowanie tego materiału w podręcznikach.

## 2 Zadanie testujące

Moje długoletnie obserwacje wyników studentów z egzaminów wstępnych wskazują na duże trudności w zrozumieniu zarówno prawa zachowania energii jak i prawa zachowania pędu [1], [2], [3], [4], [5]. Postanowiłam przeprowadzić badania nad rozumieniem pojęcia pędu przez nauczycieli przyrody i nauczycieli fizyki w gimnazjach. W tym celu poniższe zadanie zostało wybrane jako testujące trudności nauczycieli.

### Zadania

Dwie jednakowe łódki poruszają się z jednakową prędkością po stojącej wodzie tak, jak pokazuje rysunek.



W chwili mijania żeglarze przejmują od siebie wzajemnie ładunki o jednakowych masach  $m$ . Oblicz prędkości łódek po wymianie ładunków. Masa każdej łódki wraz z żeglarzem wynosi  $M$ .

Wybrałam powyższe, dość trudne zadanie ponieważ jest ono koncepcyjnie proste. Jest doskonale **wyobrażalne**. Każdemu z rozwiązujących sugeruje użycie prawa zachowania pędu. Jest rachunkowo proste.

## 3 Procedura testowania

1. Zadanie przedstawiono do rozwiązania w lutym 1999 roku 30 uczestnikom studium podyplomowego dla nauczycieli (nauczyciele szkół podstawowych i liceów). Dwie osoby rozwiązały poprawnie.
2. W lutym 1999 zadanie dano do rozwiązania siedmiu uczniom IV klasy V LO w Krakowie (uniwersyteckiej fizycznej). Rozwiązali wszyscy poprawnie.
3. W lutym 1999 zadanie dano do rozwiązania absolwentowi studiów humanistycznych (uczeń dobry, matura w 1992, klasa matematyczna). Zadanie, wprowadzcie z mozołem, ale rozwiązał poprawnie.
4. Zadanie dano do rozwiązania w listopadzie 1999 kolejnej grupie (32 osoby), słuchaczom studiów podyplomowych z fizyki dla nauczycieli (głównie nauczyciele gimnazjów). Poproszo-

no o wyszczególnienie tzw. trudnych momentów, np. co było w temacie zadania czy szukaniu rozwiązania niejasne. Nikt nie rozwiązał zadania poprawnie.

5. Poproszono nauczycieli przyrody (34 osoby, grudzień 1999) o sformułowanie prawa zachowania pędu. Jedna osoba w miarę poprawnie potrafiła to zrobić.

## 4 Trudności i błędy w rozwiązywaniu zadania

### 4.1 Trudności techniczne związane z brakiem umiejętności poprawnych oznaczeń zmiennych występujących w zadaniu

Pomimo, iż zadanie jest proste rachunkowo wymaga umiejętności użycia poprawnego algebraicznego zapisu zmiennych. U większości osób zaobserwowano trywialne trudności techniczne, a mianowicie nieumiejętność spójnego używania nazw parametrów danych występujących w zadaniu.

W zadaniu nie było tego wiele, a i tak zbyt dużo, by utrzymać porządek.

$M$  – masa łódki

$m$  – masa ładunku

$\vec{v}_i$  – prędkości łódek z ładunkiem przed wymianą towaru ( $\vec{v}_{i1} = -\vec{v}_{i2}$ )

$\vec{v}_f$  ( $\vec{v}_{f1} = -\vec{v}_{f2}$ ) – prędkości łódek z ładunkiem po wymianie towaru.

Prędkości z indeksami 1 i 2 oznaczają pierwszą i drugą łódkę.

$\vec{v}_p$  – prędkość łódki po straceniu pierwszego ładunku

Często u rozwiązujących te same litery oznaczały różne wielkości. Wielu rozwiązujących nie potrafiło korzystać poprawnie z konwencji „+  $v$ ”, „-  $v$ ”. Można sądzić, że poprawny zapis umożliwiłby poprawne rozwiązanie dwóm osobom.

### 4.2 Rozumienie tematu: przykład rzeczywistego problemu na problem fizyczny (opis matematyczny)

Jednym z powodów, który wielu nauczycielom uniemożliwił zabranie się za rozwiązywanie zadania była niemożność uświadomienia sobie jakiegoś mechanizmu przekazywania ładunku a następnie jego opis czy model. Nauczyciele pytali:

1/ „nie wiadomo czy przy mijaniu łódki zatrzymują się”

2/ „jak długo trwała wymiana?”

3/ „nieczytelny jest sam moment wymiany ładunków”

4/ „czy jest to wyrzucenie?”

5/ „czy jest to zderzenie sprężyste?”

Dla rozwiązujących obce były konwencje obowiązujące przy formułowaniu takich zadań. Ustny komentarz do zadania wyjaśniał sprawę (łódki w ciemności bezszelestnie poruszały się bez napędu, ze stałą prędkością). I chociaż rozwiązujący (a raczej ci nie rozwiązujący) wy-czuwali, że rodzaj oddziaływania (sposób przekazywania ładunku) ma wpływ na rozwiązanie, czyli na wynik końcowy, nie potrafili jednak samodzielnie zaproponować żadnego modelu. **Jest to ilustracja najtrudniejszej, a zarazem najważniejszej umiejętności w fizyce i w każdej innej dziedzinie, w której można zastosować matematyczny opis.**

### 4.3 Błędy w interpretacji prawa zachowania pędu

Powszechnym błędem było odgadnięcie wyniku spełniającego prawo zachowania pędu. Korzystano z prawa zachowania pędu dla stanu początkowego ( $\vec{P}_i = 0$ ) i dla stanu końcowego ( $\vec{P}_f = 0$ ), następnie zauważano symetrię stanu końcowego (takie same masy) z początkowym by skonkludować, iż prędkości początkowe łódek  $\vec{v}_i$  równe prędkościom końcowym  $\vec{v}_f$  spełniają prawo zachowania pędu.

Następnym powszechnym błędem było zastosowanie prawa zachowania pędu dla pojedynczej łódki zostawiającej lub pobierającej ładunek (prawidłowo) lecz fałszywe skorzystanie z tego prawa. Nie brano pod uwagę pędu samego ładunku. Na przykład uważano, że pęd początkowy łódki z ładunkiem równa się pędowi łódki bez ładunku. Pisano np.  $\vec{v}_i(M + m) = \vec{v}_p M$ . Zaniedbanie w bilansie pędu ładunku jest błędną interpretacją faktu założenia braku wzajemnej względnej prędkości łódki i ładunku.

Nikt nie potrafił zinterpretować poprawnie uwolnienia się od ładunku (bez wyrzucania). Równość  $\vec{v}_i(M + m) = \vec{v}_p M + \vec{v}_p m$  ma jedno rozwiązanie  $\vec{v}_p = \vec{v}_i$ , a to oznacza, iż pozostawienie ładunku nie zmienia ani prędkości łódki, ani prędkości ładunku.

Jest to tak trywialny przypadek, iż o nim się nie mówi. A jest on „przykryty” przez rozpady ciał z wyzwaniem energii kinetycznej (wyrzwał armatni).

W standardowych przykładach – armata i pocisk oraz chłopiec wyrzucający kamień z łódki – obydwie początkowo połączone i spoczywające ciała w wyniku oddziaływania nabywają względnej prędkości. Ich pędy są przeciwne.

Ta sama trudność wystąpiła powszechnie u studentów rozwiązujących zadanie sprawdzające rozumienie prawa zachowania krętu [5]. Zadanie to brzmi:

*Człowiek siedzący na krześle obrotowym i trzymający w wyciągniętych rękach dwa jednakowe odważniki obraca się z prędkością kątową  $\vec{\omega}$ . Jeżeli w pewnej chwili upuści obydwie odważniki, to jego prędkość kątowa*

- a) wzrośnie (wynika to z zasady zachowania momentu pędu),
- b) wzrośnie (wynika to z zasady zachowania energii),
- c) zmaleje (wynika to z zasady zachowania momentu pędu),
- d) nie ulegnie zmianie.

Poprawną odpowiedzią jest d).

Otóż powszechną odpowiedzią błędną była odpowiedź a). Dlatego tak się dzieje, iż sytuacja opisana w zadaniu była zdominowana przez obraz chłopca wirującego na krześle, który zbliża do siebie ręce i w efekcie wiruje szybciej.

Prawidłowa odpowiedź była udziałem niewielu studentów AGH. Uczniowie grupy kontrolnej V LO poprawnie rozwiązali zadanie. Poprawnie rozwiązał zadanie student kontrolny, humanista, absolwent V LO. Przytoczył on swoje rozumowanie prowadzące do prawidłowego wyniku. On argumentował: „wyobrażam sobie, iż odbywa się to na statku kosmicznym w stanie nieważkości, upuszczenie odważników niczego nie zmienia”.

### 4.4 Trudność z doбором dogodnego układu, w którym można zastosować prawo zachowania pędu

Nauczyciele nie potrafili wyodrębnić właściwego do rozważań układu i zastosować dwa razy pod rząd prawa zachowania pędu.

#### 4.5 Trudności w zrozumieniu wektorowości prawa zachowania pędu. Przykład Rogersa

A oto dość standardowe zadanie, chętnie cytowane przez Erica Rogersa [6] na jego zajęciach poświęconych rozwiązywaniu zadań:

*Na skrzyżowaniu dróg samochód o masie  $m = 2t$ , poruszający się na północ po śliskiej nawierzchni drogi, uderza w ciężarówkę o masie  $m = 10t$ , poruszającą się na zachód. Po zderzeniu szczepione razem wraki poruszają się po prostej, która tworzy kąt  $60^\circ$  z kierunkiem północnym. Na podstawie drogi hamowania policja określiła prędkość wraku tuż po zderzeniu. Wynosiła ona  $20 \text{ km/h}$ . Policja twierdzi, że kierowca przekroczył dozwoloną prędkość  $40 \text{ km/h}$ . Kierowca samochodu zaprzecza. Na podstawie znanej ci wiedzy o zderzeniach rozstrzygnij ten spór.*

Otóż zadanie to dałam do rozwiązania tej samej grupie 32 nauczycieli. Połowa z nich (tylko!) rozwiązała je poprawnie. Pewną trudność sprawiło nauczycielom sformułowanie „z życia” oraz niekonwencjonalnie zadane pytanie. Ono to spowodowało blokadę procesu rozwiązywania. Nauczyciele nie rozwiązywali tylko stawiali pytanie „Jaką prędkość miała ciężarówka?”. Ci rozwiązujący (a raczej nie rozwiązujący) są dopiero na początku swej drogi do rozumienia metody fizyki.

U innych, którzy nie potrafili rozwiązać zadania, oprócz braku podstawowych wiadomości z matematyki, wystąpiła nieznanajomość sensu wektorowości pojęcia pędu i nieznanajomość faktu, iż prawo zachowania jest słuszne dla każdej składowej z osobna.

### 5 Budowanie modeli przekazu ładunku

1/ Łódki z towarem wyhamowują przy spotkaniu, a następnie przerzucają towar. Całkowity pęd początkowy  $\vec{P}_i = 0$ , prędkości pośrednie obu łódek  $\vec{v}_p = 0$ .

Łódki po przetrzuceniu ładunków z względną prędkością  $\vec{u}$  nabierają prędkości

$$v_p = \frac{mu}{M} \quad (\text{zachowanie pędu zastosowane do łódki wyrzucającej ładunek})$$

Etap końcowy:

Łódka (pusta) łapie lecący z prędkością  $u$  ładunek wyrzucony przez drugą łódkę. Tu pęd całkowity początkowy rozważanego układu nie jest zerem tylko jest równy

$$M \cdot \left(\frac{mu}{M}\right) + mu = 2mu$$

Musi być on równy pędowi końcowemu po złapaniu ładunku  $(M + m)v_f$ . A zatem

$$v_f = \frac{2mu}{M + m}$$

2/ Następnym krokiem może być rozważenie przykładu, w którym łódki nie wyhamowują lecz poruszają się z prędkością  $v$  i wyrzucają ładunek z prędkością  $u$  względem łódek. Ponownie dwukrotne prawo zachowania pędu prowadzi do wyniku

$$v_f = \frac{M - m}{M + m} v - \frac{2m}{M + m} u$$

Rachunek, który prowadzi do tego wyniku jest nieco bardziej skomplikowany niż dla przypadku, w którym  $u = 0$  (przekładanie ładunku, wynik

$$v_f = \frac{M - m}{M + m} v$$

lecz paradoksalnie opisuje łatwiejszą do zaakceptowania sytuację. Tak jest ponieważ procedura: realna sytuacja  $\rightarrow$  model matematyczny jest jakby bardziej życiowa. Okazało się, że wykonanie ilustracji



ułatwiło rozwiązanie zadania z przekładaniem ładunku ( $u = 0$ ).

3/ Niektórzy studenci zapytywali, czy przełożenie ładunków było jednoczesne, czy też nie. Rozważyliśmy model niejednoczesnego przełożenia. Wtedy

$$-mv_i + v_i(m + M) = (M + 2m)v_p$$

zatem

$$v_p = \frac{M}{M + 2m} v_i.$$

Należy następnie znowu zauważyć, że upuszczenie ładunku  $m$  nie zmienia prędkości, zatem  $v_f = v_p$ .

Każdy z omawianych wyników jest inny, zależny od mechanizmu przeladunku.

## 6 Intuicje rozwiązujących, korzystanie z symetrii

Studenci, nauczyciele jak i uczniowie na ogół nie mają trudności z zaakceptowaniem symetrii w zadaniu. Uważają, że wynik dla drugiej łódki powinien być taki sam jak dla pierwszej łódki.

Uczniom i nauczycielom zwykle demonstruje się doświadczenie zwane kołyską Newtona. Standardowo mówi się (podręczniki), że zachowanie kulek ilustruje zasadę zachowania pędu. Uczniowie zapytani, czy możliwa jest sytuacja zgodna z zachowaniem pędu, ale niesymetryczna (patrz rysunek) zwykle wpadają w pierwszej chwili w osłupienie (uważają pytanie za głupie), a następnie konstatują z pewnością, iż taka realna sytuacja jest niemożliwa.



Jako argument jest podawany powszechnie **brak symetrii**. To jest bardzo mocno zakorzenion intuicja. Samo zjawisko zderzenia kul jest fascynujące. Uczniowie bardzo długo wpatrują się w ruch tych kul w rozmaitych konfiguracjach. Doświadczenie jest wymieniane jako jedno z bardziej fascynujących [7]. Fascynuje obserwatorów zatrzymanie bili uderzającej w identyczną spoczywającą.

Jeden z uczniów (dziewięciolatek) obserwujący takie zachowanie bili i zapytany czy go to nie dziwi odparł, że nie, bo skoro „ta pierwsza nie może się dalej poruszać, to druga musi się **tak samo** poruszać”. Widzimy akceptację symetrii przestrzeni, przyczynę prawa zachowania pędu.

## 7 Pierwsze doświadczenie. Przedwczesna formalizacja

Definicja pędu  $\vec{p} = m\vec{v}$  jako wielkości fizycznej, która jest iloczynem dwóch innych wcześniej poznanych, jest dla uczniów pusta i bezcelowa, ot „szkolny twór do męczenia uczniów”.

Pęd nabiera sensu w kontekście prawa zachowania pędu i drugiej zasady Newtona. Nabiera sensu wraz z omówionymi przykładami. Jeśli jednak tych przykładów jest zbyt mało i są zbyt jednostronne – to sens prawa zachowania pędu może być zupełnie zdeformowany i nieoddający najistotniejszej jego cechy.

Spośród 34 studentów, nauczycieli przyrody w szkołach podstawowych na prośbę o sformułowanie prawa zachowania pędu, lub chociaż podania przykładów, podano tylko przykład: „jak jedna kula uderzy w drugą to ta druga kula będzie miała taki sam pęd”, podano też wzór „ $m_1v_1 = m_2v_2$ ”. Tylko jedna osoba spośród 34 podała prawie poprawnie sformułowanie prawa zachowania pędu. Widzimy wyraźne niedouczenie, by nie rzec ignorancję nauczycieli. Warto sprawdzić jak prawo zachowania pędu jest przedstawiane w szkolnych podręcznikach do fizyki.

## 8 Prawo zachowania pędu w przykładowym podręczniku

Ponieważ interesuje nas przyszłość, podam przykład z wydanego po raz pierwszy w Polsce podręcznika. Podręcznik jest przekładem z angielskiego i ma ambicję być podręcznikiem nowoczesnym, a nie zubożałą kopią podręcznika uniwersyteckiego. Chodzi tu o książkę autorstwa Fouldsa [8].

Rozdział 3.16 (całość 4 strony!) zatytułowany jest „Zderzenia”. W rozdziale tym autor wprowadza III zasadę Newtona (nie nazywając jej tak, by nie „obciążać zbyttno pamięci uczniów encyklopedyczną wiedzą”): *Gdy jedno ciało działa na drugie, to i drugie działa na pierwsze, przy czym obie siły są sobie równe co do wartości i kierunku, lecz mają przeciwne zwroty*. Podaje się następujące przykłady: bramkarz łapiący piłkę, rakiera uderzająca piłkę oraz zderzenie kul bilardowych. Następnie tak jak w klasycznych podręcznikach autor z równości

$$F_{B \rightarrow A} = -F_{A \rightarrow B} \quad \text{przechodzi do równości}$$

$$m_A \Delta v_A = -m_B \Delta v_B$$

i następnie definiuje pęd jako  $p = mv$ .

Podobny skrócony wykład z tymi samymi przykładami znajdziemy w podręczniku Dobsona, w rozdziale „Zderzenia” [9].

I tutaj odnajdujemy źródło zbyt płytkiego zrozumienia prawa zachowania pędu. Wielu uczniów (badania własne) pamięta jedynie powyższy wzór wraz ze słownym opisem: „pęd jednego ciała równy jest minus pędowi drugiego ciała” lub „po zderzeniu ciała mają pędy przeciwne”.

**Przedwczesne sformułowanie prawa, poparte zbyt małą ilością przykładów nie buduje właściwego rozumienia prawa, a stanowi jedynie komfortowy sposób odpowiadania na rutynowe pytania nauczyciela.**

**A oto przykłady zadań kończących rozdział „Zderzenia” z podręcznika Fouldsa**

Po trzech stronach ekspozycji materiału autor proponuje uczniom następujące zadanie:

„POMYŚL I ZRÓB”

1. *Komu grozi większe niebezpieczeństwo w razie zderzenia czołowego – kierowcy ciężarówki czy samochodu osobowego? Dlaczego?*

### **Komentarz**

Jest to doskonale zadanie „z życia”. Bardzo sensowna odpowiedź to: „ciężarówka jest solidniej zbudowana”, „kierowca siedzi wyżej” (odpowiedzi uczniów).

Tymczasem autor oczekuje odpowiedzi zgodnie z prawem zachowania pędu – „Ciężarówka mniej zmieni swoją prędkość”  $M\Delta V_c = -m\Delta v_0$ ;  $\Delta V_c < \Delta v_0$  ponieważ  $M > m$ . Uczeń poprawnie wyczuwa, że mniejsza zmiana prędkości to i mniejsze szkody. Jest to w pozornym konflikcie z faktem, że siła działająca na ciężarówkę jest równa co do wartości tej działającej na auto. Jednakowe siły, to i jednakowe szkody – rozumuje uczeń.

Co nauczyciel odpowie małemu Jasiowi, który będzie argumentował, że małe auto, nawet mały fiacik wzmocniony mocnym stelażem (a masy od wzmocnienia wiele nie przybywa) nie musi doznać większego uszczerbku niż wielka skorodowana ciężarówka?

Czy nauczyciele poprawnie interpretują fakt, że kierowca jest częścią układu? Czy nauczyciele są przygotowani do poprawnej interpretacji funkcji zderzaków, roli poduszki powietrznej, materaca podkładanego przez strażaków wyskakującym z płonącego domu?

Słuchacze studium podyplomowego uważają, że poduszka zwiększa bezpieczeństwo „bo przejmuje dużo pędu”. Niestety nie umieją objaśnić co by to miało znaczyć. Podręcznik też nie daje odpowiedniej porcji wiadomości do rozstrzygnięcia powyższych problemów.

**Uważam też, że podział skutków działania sił na ciała statyczne i dynamiczne (powszechny) wnosi przeszkodę w rozumienie zasady zachowania pędu.**

Uczeń przyjmuje do wiadomości i utrwała przypadki, w których działanie siły na ciało **nie zmienia** jego pędu.

Moja praktyka szkolna pokazuje, że uczniowie z trudem akceptują uproszczone modele zachowania się rzeczywistych obiektów takich jak: bryły sztywne, ciecz, liny.

2. *Dwie jednakowe kulki stalowe wiszą na żyłkach, tak że mogą się poruszać tylko w jednej płaszczyźnie. Gdy odchylimy jedną kulkę i puścimy ją, uderzy w drugą i zatrzyma się, a druga odskoczy.*

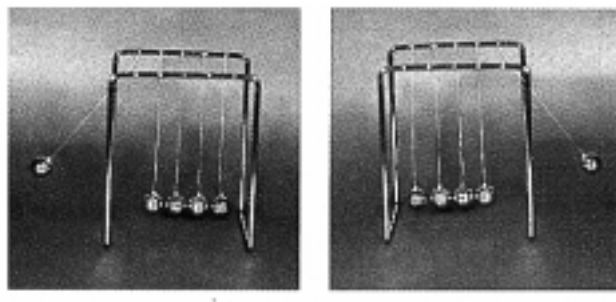
a) *Uzupełnij, wstawiając słowa „większa od”, „mniejsza od” lub równa:*



Ponieważ łączny pęd kulek nie zmienia się w czasie zderzenia, więc prędkość pierwszej kulki tuż przed zderzeniem jest.... prędkości drugiej kulki tuż po nim.

b) Opisz przemianę energii w tym doświadczeniu. Czy w wyniku zderzeń kulki się nagrzewają?

c) Zamiast dwóch rozpatrzmy większą liczbę kulek, które w spoczynku stykają się wzdłuż linii prostej. Gdy odchylimy i puścimy pierwszą kulkę, po zderzeniu zatrzyma się, a ostatnia odskoczy (patrz fotografia). Gdy odchylimy i puścimy dwie pierwsze kulki, po zderzeniu te dwie kulki się zatrzymają, a dwie ostatnie odskoczą (reszta kulek pozostanie nieruchoma).



Napisz zdanie analogiczne do powyższego z punktu a), opisujące zmieniony przebieg doświadczenia dla dwóch kulek.

### Komentarz

Zdanie, które jest podpowiadane uczniowi, jest interpretowane przez ucznia: ponieważ jest spełnione prawo zachowania pędu to koniecznie druga kulka musi mieć taką samą prędkość. Dopiero po tym stwierdzeniu uczeń jest naprowadzany na informację o zachowaniu energii kinetycznej. Wnioskować o tym uczeń ma na podstawie faktu, że temperatura kulek nie zmieniła się. Argument jest nie tylko nieuczciwy (jak to sprawdzić w szkolnych warunkach, dokładność pomiaru) jak i metodycznie niepoprawny.

Jest odwrotnie: z faktu, że pierwsza kulka odskoczyła tak samo wysoko (kulki wymieniły się prędkościami) wnioskujemy, że jest zachowany zarówno pęd jak i energia.

Podobna argumentacja dotyczy odchylenia dwóch kulek. Wszyscy nieletni uczniowie zapytani, czy pozostałe kulki pozostają nieruchome, odpowiadają, że „one poruszają się, mało drgają”.

### Podsumowanie

Pojęcie pędu i jego zachowania, podobnie jak pojęcie energii i jej zachowania unifikuje i łączy wiele działów fizyki. W dobie reformy nauczania, gdy czas nauczania fizyki jest coraz bardziej ograniczany a materiału do nauki przybywa, warto sięgnąć po te pojęcia, które są najbardziej kształcące i równocześnie unifikujące nie tylko różne działy fizyki ale i przyrody.

Z uprzednich badań wynika, że pojęcie pędu jest trudne. Pomimo rozmaitych ciekawych propozycji dydaktycznych jak to pojęcie wprowadzać autorzy nowych podręczników [8,9] zaskakująco mało czasu poświęcają zasadom dynamiki i prawom zachowania pędu. Jest to jedna z przyczyn tego, że sami nauczyciele słabo rozumieją prawo zachowania pędu, a w konsekwencji, później również ich uczniowie.

Podręczniki ze zbyt ubogim zestawem przykładów i ogólnymi konkluzjami opartymi na pojedynczym doświadczeniu, prowadzą do werbalizacji czyli pamięciowego opanowania formuł.

Przedwczesna werbalizacja stawia ucznia w komfortowej sytuacji szkolnej i często powoduje blokadę dalszego dochodzenia do sedna prawa. Raz utrwalone niewłaściwe intuicje blokują krytyczne myślenie. Doskonałą ilustracją tego faktu jest analiza wypadku zastrzeżenia prezydenta Kennedy'ego. Zapewne wszyscy uczestnicy komisji znali prawo zachowania pędu, ale dopiero noblista Alvarez właściwie je zinterpretował [10].

Niezbędnym jest opracowanie (czy propagowanie znanych) właściwych materiałów i doświadczeń zarówno dla nauczycieli jak i dla uczniów. Prawo zachowania pędu nie jest materiałem, który można rozważać pośpiesznie. Nadaje się do opracowań na CD, na taśmach video, i wreszcie oferuje wdzięczne i zabawne doświadczenia w muzeach nauki tzw. interakcyjnych. Jest to też materiał, który świetnie można ilustrować we współpracy z nauczycielem sportu.

## Literatura

- [1] Z. Gołąb-Meyer, *O niektórych trudnościach epistemologicznych przy wprowadzaniu pojęcia pędu*, *Foton* 27, str. 13, (1994)
- [2] A. Batko-Łazarska, *Badanie rozumienia pojęcia pędu*, *Foton* 28, str.16, (1994)
- [3] Z. Gołąb-Meyer, *O przeszkodach poznawczych w nauczaniu początkowym fizyki*, *Foton* 45, (1996)
- [4] Z. Sanok, B. Kawecka-Magiera, Z. Gołąb-Meyer, A. Lenda, K. Pieczara, T. Płazak, *Ocena przygotowania z fizyki studentów pierwszych lat kilku wydziałów AGH*, *Foton* 53, str. 33, (1997)
- [5] *Egzaminy wstępne na fizykę. Testy sprawdzające na AGH*, *Foton* 57, (1998)
- [6] Eric M. Rogers, *Doskonalenie nauczania fizyki przez konstrukcje i dyskusje różnych typów sprawdzianów*, Raport z Seminarium w Paryżu (1972), wydane przez IKN w Warszawie i ODN we Wrocławiu (1986)
- [7] Z. Gołąb-Meyer, Wyniki ankiet wypełnianych przez uczniów po demonstracjach organizowanych w Instytucie Fizyki UJ
- [8] K. Foulds, *Fizyka. Podręcznik dla gimnazjum*, Wyd. Prószyński i S-ka, Warszawa, (1999)
- [9] K. Dobson, *Fizyka tom 1*, Wydawnictwa Szkolne PWN
- [10] A. Chomętowska, *Czy fizyk widzi więcej?*, *Foton* 55, str. 19, (1998)