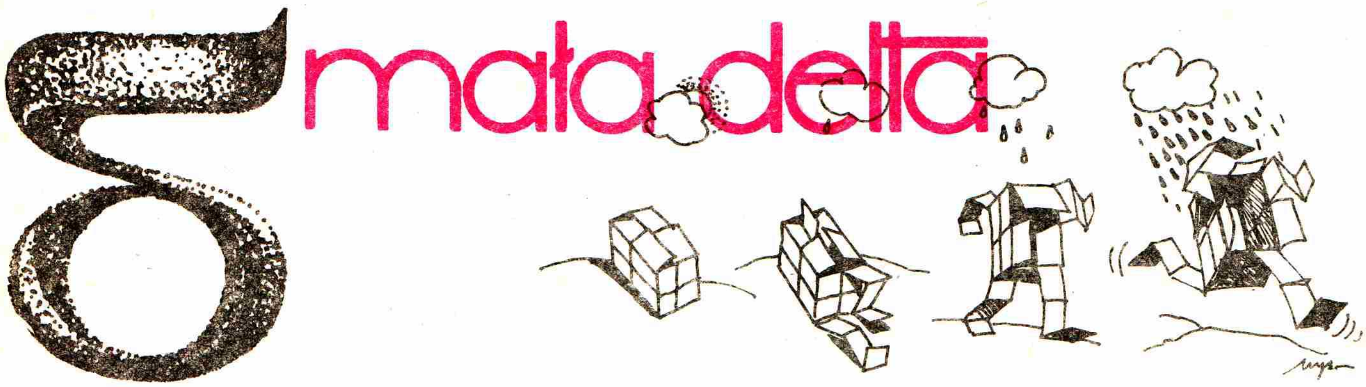
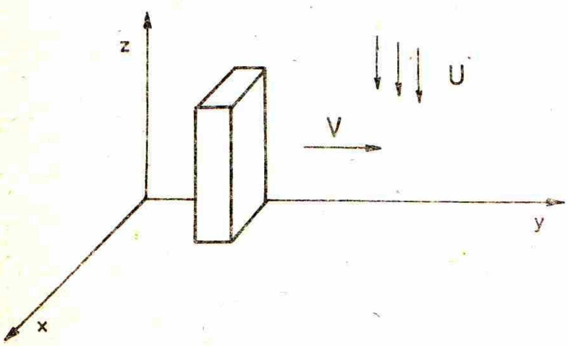


Czy opłaca się biec w czasie deszczu?

Przypuśćmy, że na otwartym terenie zaskoczył Cię, Czytelniku, niespodziewany ulewny deszcz. Nie masz parasola, od najbliższego schronienia dzieli Cię spora odległość. Jak powinieneś pokonać tę odległość, by zostać możliwie mało zmoczonym?

Intuicja podpowiada nam, że najkorzystniej jest przebywać na deszczu możliwie jak najkrócej, a więc należy przebiec dystans dzielący od schronienia tak szybko, jak tylko potrafimy. Prawdopodobnie taka byłaby właśnie instynktowna reakcja każdego z nas, gdybyśmy znaleźli się w powyżej opisanej, nieprzyjemnej sytuacji. Gdy jednak zastanowimy się chwilę nad odpowiedzią na tytułowe pytanie, być może nasuną się nam wątpliwości: co prawda biegnąc skracamy czas przebywania na deszczu, ale jednocześnie zwiększamy naszą prędkość względem niego, a więc i liczbę kropli, która do nas dociera. Może więc istnieje jakaś optymalna prędkość biegu? Spróbujemy odpowiedzieć na to pytanie w sposób możliwie ścisły.

Zacznijmy od stworzenia uproszczonego modelu problemu (tak zwykle postępują fizycy, gdy próbują opisać świat), w którym moknącą osobę zastąpimy prostopadłościanem o krawędziach a, b, c, poruszającym się ze stałą prędkością V w kierunku osi y tak, jak to przedstawia rysunek 1.



Rys. 1

Załóżmy też, że nie wieje wiatr, a więc krople deszczu padają pionowo w dół z prędkością u, przy czym (kolejne założenie!) deszcz jest jednorodny, tzn. liczba kropli deszczu na jednostkę objętości jest stała. Po takim uproszczeniu sobie życia łatwo już możemy obliczyć, że w czasie t spadnie na górną powierzchnię prostopadłościanu (lub na głowę i barki człowieka) deszcz zawarty w objętości

$$(1) \qquad O_1 = utab\,.$$

Nie jest to jednak jedyne źródło moknięcia. W tym samym czasie t prostopadłościan „zderzy się” z kroplami deszczu zawartymi w objętości

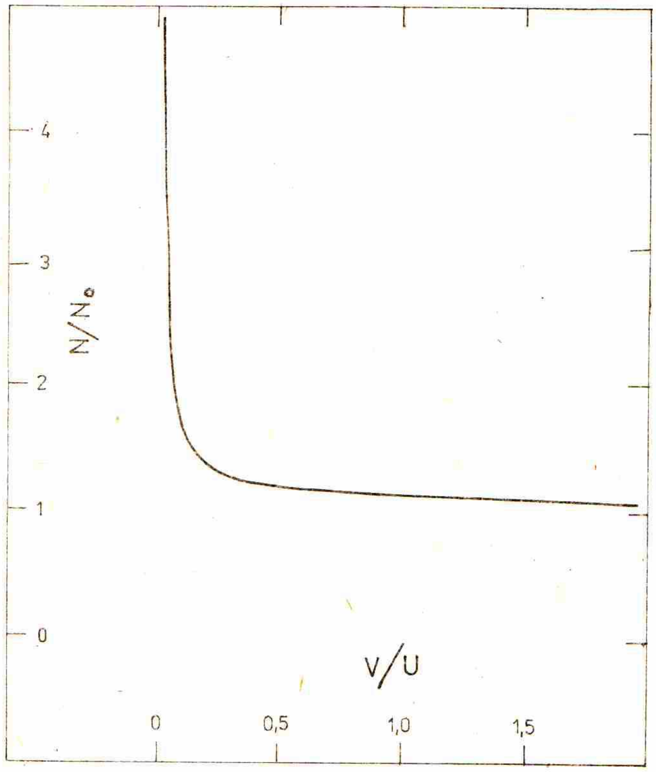
$$(2) \qquad O_2 = Vtac\,.$$

Całkowita liczba kropli, które dotrą do prostopadłościanu w czasie t (a jest to świetna miara „poziomu zmoknięcia”), jest proporcjonalna do $O_1 + O_2$. Jeśli weźmiemy pod uwagę, że w naszym przypadku $t = s/V$, gdzie s jest odległością od schronienia, to ostatecznie dostaniemy na liczbę kropli, które dotarły do prostopadłościanu, następujące wyrażenie

$$(3) \qquad N = N_0\left(1 + \frac{bu}{cV}\right).$$

Współczynnik N_0 jest iloczynem wielu nie znanych czynników, ale jego znajomość nie jest istotna. Wzór (3) i tak mówi nam, że nasza intuicja była poprawna: ponieważ N jest malejącą funkcją prędkości biegu V, więc im szybciej biegnie moknąca osoba (reprezentowana przez prostopadłościan), tym mniej moknie.

A jednak wzór (3) kryje pewną niespodziankę, którą łatwo wykryć rysując wykres liczby kropli N w zależności od prędkości V (rysunek 2). Aby to zrobić, musimy znać wartość stosunku b/c. Nie jest to trudne. Dla typowych rozmiarów człowieka stosunek ten jest rzędu $1/15$. Stąd wniosek, że ze wzrostem V liczba kropli bardzo szybko osiąga wartość asymptotyczną N_0.



Rys. 2

Jak szybko? Biorąc pod uwagę, że prędkość opadów wynosi na ogół 9 m/s lub mniej, możemy odczytać z rysunku 2, że idąc szybkim krokiem (około 2 m/s) zmokniemy jedynie o około 15% więcej niż biegnąc z prędkością odpowiadającą rekordowi świata na 100 m (10 m/s). A zatem chyba jednak nie warto biec w czasie deszczu!

Ten zaskakujący wniosek dotyczy, oczywiście, sytuacji, gdy nie ma wiatru i deszcz pada pionowo. Co zmieni się w przedstawionej analizie, gdy prędkości wiatru nie możemy zaniedbać? Może Czytelnik sam spróbuje odpowiedzieć na to pytanie. Dla zachęty dodam, że gdy wiatr wieje w plecy, odpowiednio zmodyfikowany wzór (3) przewiduje istnienie prędkości optymalnej, przy której stopień zmoknięcia jest najmniejszy.

Na zakończenie jeszcze tylko jedna uwaga. Może wydawać się dziwne, że nasz instynkt podpowiada zachowanie, które nie jest zachowaniem najlepszym. Cóż, wiąże się to z tym, że rzeczywistość jest znacznie bardziej skomplikowana niż nasz bardzo przecież uproszczony model. Zaniedbaliśmy możliwość niejednorodności w prędkości deszczu, zawirowań, tego, że człowiek może się pochylić w kierunku deszczu, aby zmniejszyć powierzchnię wystawioną na moknięcie i wiele innych efektów. Wszystkie te komplikacje powodują, że w ogólnym przypadku otrzymany wynik przestaje być ważny i uciekając jak najszybciej przed deszczem realizujemy najkorzystniejszą życiowo strategię. Nie zmienia to, oczywiście, wniosku, że w prostych przypadkach nasz model jest poprawny.

Małą Deltę opracował Paweł KRAWCZYK

(na podstawie A. De Angelis, *Eur. J. Phys.* 8(1987), 201)

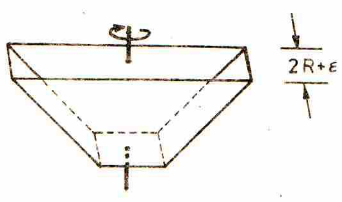
Listy prosimy przysyłać pod adresem:
Korespondencyjny Klub Fizyków
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa.

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

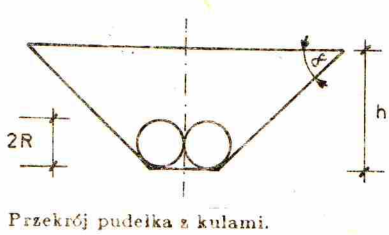
KORESPONDENCYJNY KLUB FIZYKÓW

Drodzy Członkowie i Sympatycy Klubu!
Przypominamy, że co miesiąc przyznajemy nagrodę książkową dla autora najciekawiej opracowanego rozwiązania postawionych zagadnień.

Dzisiejsza propozycja nie dotyczy doświadczeń, ale jest zbiorem problemów teoretycznych związanych z pewnym obiektem fizycznym. Problemy są uszeregowane według stopnia trudności: od pierwszego – łatwego do trzeciego – dla koneserów. Ale przejdźmy do rzeczy:



Wygląd zewnętrzny pustego pudełka.



Przekrój pudełka z kulami.

Rozważyć pudełko w kształcie graniastosłupa o podstawie trapezu równoramiennego, w którym znajdują się dwie kule o średnicy $2R$ nieznacznie mniejszej od grubości pudełka (wysokości graniastosłupa). Pudełko może obracać się wokół pionowej osi jak na rysunku.

Problem 1. Napędzamy puste pudełko wprawiając je w ruch obrotowy o stałej prędkości kątowej ω_o. Co się stanie z kulą umieszczoną na skośnej części dna pudełka w odległości r od osi obrotu?

Problem 2. Napędzamy pudełko z leżącymi na jego dnie kulami wprawiając je w ruch obrotowy o prędkości kątowej ω rosnącej powoli od zera do wartości ω_m, a następnie **powoli** obniżamy ω do zera. Podać zależność momentu pędu L, momentu bezwładności I i energii E ruchu obrotowego układu w zależności od ω.
Czy otrzymamy jednoznaczną zależność? Przedyskutować wynik w zależności od ω_m.

Problem 3. Zakładamy, że układ jest zamocowany w sposób umożliwiający obrót bez tarcia. Przykładamy mały moment siły powodując rozpędzenie układu do prędkości kątowej ω_m, a następnie zmieniamy znak momentu siły i utrzymujemy go aż do zatrzymania układu. Znaleźć ω, L, I, E w zależności od czasu. Czy zależności L, I, E od ω są takie same jak w problemie 2? Czy wystąpi histereza?

Pudełko ma moment bezwładności I_0 i wysokość h, kąt ostry przy podstawie trapezu wynosi α, a masa każdej z kul jest równa m.

Redaguje doc. dr Jan GAJ