

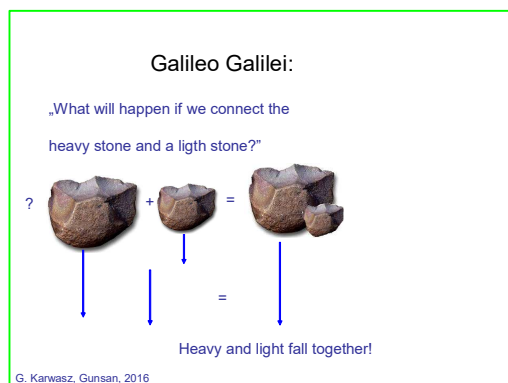
Zadanie nr 1. Wyznaczanie przyspieszenia ziemskiego**Wstęp**

Obserwacja Galileusza, że wszystkie ciała, niezależnie od ich masy, spadają z tym samym przyspieszeniem stała się podstawą nowożytnej fizyki. Jak napisał E. M. Rogers, „Fizyka zesłała z nieba na ziemię po równi pochyłej Galileusza.” [1]. Być może Galileusz, profesor matematyki w Pizie, zrzucił kamienie z Krzywej Wieży [zob. 2], ale nie mamy na to żadnych zapisów.



Wniosek o stałej „prędkości” spadania dla wszystkich ciał, niezależnie od ich masy, udowodnił Galileusz przez rozumowanie, *Gedankenexperiment* (eksperyment myślowy, jak to nazywał Einstein). Załóżmy, że kamień cięższy spada szybciej niż lekki. Wówczas te dwa kamienie, połączone sznurkiem, będą spadały z „prędkością” średnią – ten cięższy przyspiesza ruch tego lżejszego, ale lżejszy spowalnia ruch cięższego. Z drugiej zaś strony, dwa kamienie, ściśle tym sznurkiem związane, winny zachowywać się jak kamień jeszcze cięższy, czyli spadać szybciej. Jedynym rozwiązaniem jest, że oba kamienie, niezależnie od ich masy, spadają tak samo, czyli z tym samym *przyspieszeniem* („accelerazione” po włosku).

Spadające swobodnie ciała (*gravi* po włosku) przyspieszają. Pierwszy opis matematyczny ruchu przyspieszonego zawarł Galileusz w pracy 1632 roku „Dialogu o dwóch największych systemach” [Ptolemeusza i Kopernika]. Galileusz, w zawiły nieco sposób stwierdza, że odcinki drogi przebytej w kolejnych przedziałach czasu mają się do siebie jak kolejne liczby nieparzyste. Matematycznie odpowiada to stwierdzeniu, że całkowita droga od początku ruchu przyspieszonego (czyli również w spadku swobodnym) rośnie jak kwadrat czasu.

**Cele ogólne** (kompetencje społeczne dla ucznia)

1. Zrozumienie, że przyspieszenie w spadku swobodnym nie zależy od masy ciała, ani np. od wysokości, z jakiej spada ciało.
2. Znajomość wartości przyspieszenia ziemskiego – umiejętność policzenia, np. ile czasu zajmuje spadek z wysokości 100 m.
3. Poznanie serii doświadczeń szkolnych służących do wyznaczenia przyspieszenia ziemskiego przy pomocy różnych metod pomiarowych.

Cele operacyjne:

Umiejętność oszacowania przyspieszenia ziemskiego za pomocą:

- a) swobodnego spadku z pomiarem czasu przy użyciu stopera ręcznego lub stopera w telefonie komórkowym
 - b) pomiaru przyspieszenia ziemskiego z wykorzystaniem spadkownicy¹,
 - c) rzutu pionowego w górę,
 - d) wahadła matematycznego o regulowanej długości (wahadła różnicowego) [3]
- Znajomość pojęć wahadło fizyczne, wahadło rewersyjne.

¹ Spadkownica to urządzenie, w którym spada kolejne kilka kulek: upadek jednej wyzwala za pomocą prostego mechanizmu spadek kolejnej. Nie ma więc konieczności czasu pojedynczego spadku, a jedynie sumy czasów.

Pojęcia kluczowe:

- niezależność przyspieszenia ziemskiego od masy spadającego ciała,
- izochronizm wahadła matematycznego,
- geoida jako bryła jednakowego potencjału grawitacyjnego.

Przyrządy do dyspozycji:

1. Sznurek, metalowa kulka z zaczepem, stoper ręczny, stoper w telefonie komórkowym, ultradźwiękowy miernik odległości, piłka tenisowa.
2. Wahadło rewersyjne, wahadło różnicowe, „spadkownica”
3. ?

Zadania do wykonania:

1. Wykonaj pomiar przyspieszenia ziemskiego wykorzystując do tego celu spadanie kulki z wysokości kilku metrów; czas spadania mierzyć stoperem w telefonie komórkowym
2. Wykonaj pomiar przyspieszenia ziemskiego z wykorzystaniem spadkownicy. Oszacuj, czy ustawienia mechaniczne spadkownicy nie wprowadzają jakiś (?) błędów systematycznych do pomiaru.
3. Wykonaj pomiar przyspieszenia ziemskiego wykorzystując do tego celu rzut pionowy w górę. Do wyrzucania kulek posłuż się pistoletem sprężynowym. Sprawdź, czy dokładność pomiaru zależy od masy kulki.
4. Powtórz to doświadczenie z partnerem, rzucając piłkę tenisową z podwórza Instytutu do wysokości okiem ZDF. Wyznacz potrzebne wielkości, oceń błąd pomiaru.
5. Wykonaj pomiar przyspieszenia ziemskiego przy pomocy wahadła matematycznego.
6. Wykonaj pomiar przyspieszenia ziemskiego metodą wahadła różnicowego, przeprowadź pomiary dla 5 długości wahadła [3].
7. Wykonaj pomiar przyspieszenia ziemskiego przy pomocy wahadła rewersyjnego (Katera)
8. Wyznacz przyspieszenie ziemskie przy pomocy spadającej sznurkowej drabinki.
9. Wyznacz przyspieszenie ziemskie przy pomocy równi pochyłej. Zaproponuj (i uzgodnij z prowadzącym) przebieg pomiaru. Jakie przyrządy będą w Pani/ Pana scenariuszu potrzebne?
10. Dokonaj statystyki pomiarów za pomocą wahadła matematycznego o długości 1 metra: dwie osoby przeprowadzają serię 30 pomiarów po 5 wahnięć (tzn. pełnych okresów). Podziel wyniki na przedziały wyników o szerokości 0,02 s (np. 10,02-10,0399). Sporządź wykres ilustrujący, ile wyników przypada na poszczególne przedziały (tzw. histogram). Porównaj wyniki dwóch osób.

Uwagi:

1. Sporządź zestawienie wyników pomiarów za pomocą różnych metod.
2. Oszacować dokładność pomiaru za pomocą różnych metod. Wskazać możliwe źródła błędów
3. W sprawozdaniu proszę opisać krótko, w jaki sposób pomiary przyspieszenia ziemskiego przyczyniły się historycznie do rozwoju nauki.
4. Opisać również, jakie zastosowania praktyczne mają dokładne pomiary g [zob. 4]
5. Wykazać, że okres drgań wahadła matematycznego nie zależy (?) od amplitudy drgań. Określić granice stosowalności tego przybliżenia [zob. 5].

Uwagi dydaktyczne

1. Niezależność przyspieszenia, z jakim spadają ciała (przyspieszenie grawitacyjnego, przyspieszenia „ziemskiego”) od masy ciała nie jest, bynajmniej, intuicyjnie oczywista. Wynika to z codziennych obserwacji, że ciała lżejsze spadają wolniej. Powodem są, oczywiście, opory ruchu, w szczególności opór powietrza.

Aby pokazać niezależność przyspieszenia w spadku swobodnym (dla uproszczenia możemy użyć określenia „prędkości”) pokazujemy spadek na stół dwóch piłeczek – kauczukowej i ping-pongowej, upuszczonych jednocześnie z dwóch dłoni. Dla zachowania zasady *abstrakcji* od zmiennych nieistotnych, doświadczenie przeprowadzamy prosząc uczniów o zamknięcie oczu. Wcześniej pokazujemy, jaki odgłos wydaje odbijająca się piłka kauczukowa a jaki ping-pongowa (w tej części doświadczenia uczniowie patrzą).

Konfuzji doświadczenia z piłeczkami dokonujemy spuszczać obie na podłogę, z wysokości dwóch metrów lub więcej. Tym razem uczniowie patrzą.

2. Niezależność przyspieszenia spadku od masy ciała jest również poważnym problemem *naukowym*. Formalnie, masy m w dwóch różnych równaniach Newtona, tj. w drugim prawie dynamiki $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$ i we wzorze na siłę grawitacji na powierzchni Ziemi $F_g = GMm/R^2$ (gdzie \mathbf{a} jest przyspieszeniem, z jakim porusza się ciała a \mathbf{F} – siłą na nie działającą, G jest stałą grawitacji, M – masą Ziemi, a R – jej promieniem) – nie muszą być takie same. Pierwszą z nich nazywamy czasem masą inercjalną, drugą – masą grawitacyjną.

Równość masy inercjalnej i masy grawitacyjnej wynika dopiero z równania Ogólnej Teorii Einsteina, gdzie pole grawitacyjne powoduje *zakrzywienie* czasoprzestrzeni, w formie jakby leja, do którego wszystkie ciała wpadają z tym samym przyspieszeniem.

3. Przykładem wahadła rewersyjnego (sprawdź w wikipedii wyprowadzenia wzorów [6]) jest młotek. Jego okres wahań wokół środka obucha i miejsca na trzonku, w którym powinno się go trzymać (rękojeści) są takie same. Pozwala to na uniknięcie niemiłego „odrztu” w trakcie wbijania gwoździ. Podobnie działa siekiera.

Literatura:

[1] E. M Rogers, *Fizyka dla dociekliwych*, PWN, 1972, t. II, str. 163

[2] G. Karwasz, *Jak prostowano Krzywą Wieżę*, Głos Koszaliński/ Głos Słupski, 4-5.06.2001, str. 18
http://www.fizyka.umk.pl/~karwasz/publikacje/2001_Wieza.pdf

[3] *Wyznaczanie przyspieszenia ziemskiego za pomocą wahadła różnicowego*, Instrukcje I Laboratorium Fizycznego, IF UMK, <https://www.fizyka.umk.pl/wfaiis/?q=node/193>

[4] J. Chojnacka, G. Karwasz, *Elipsoida Ziemska*, Foton, 114, 2011, 32-45.

http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Publikacje_2011/Elipsoida_2011.pdf

J. Chojnacka, G. Karwasz, *Jakiego kształtu jest "kula" ziemiska?* Geografia w Szkole, 6/2011, 2011, 45-51, http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Publikacje_2011//Kula_ziemska_JCh_GK_2011.pdf

[5] G. Consolati, *Wahadło matematyczne*, w: Z. Koupilova i in. *Sbirka zadań z fizyki*, Wyd. Nauk. UMK, 2014, str. 111.

[6] L. Santi, *Pomiary lokalnej stałej przyspieszenia ziemskiego za pomocą wahadła odwracalnego*, Uniwersytet w Udine, <http://www.fisica.uniud.it/~santi/didattica/kater.html>

© Pracownia Dydaktyki Fizyki UMK (1990-2006), Zakład Dydaktyki Fizyki UMK (2007-2017)

Opisy: © G. Karwasz