

Działo Gaussa

Drużyna XIV LO im. Stanisława Staszica w Warszawie

W niemagnetycznej rynience spoczywa szereg jednakowych kulek stalowych oraz znajdujący się pomiędzy nimi silny magnes. Gdy inna kulka stalowa, tocząca się z boku, uderza w skrajną kulkę, kulka z przeciwnego końca odskakuje z zadziwiająco dużą prędkością. Wyznacz optymalne położenie magnesu, przy którym uzyskany efekt jest największy.

Wstęp

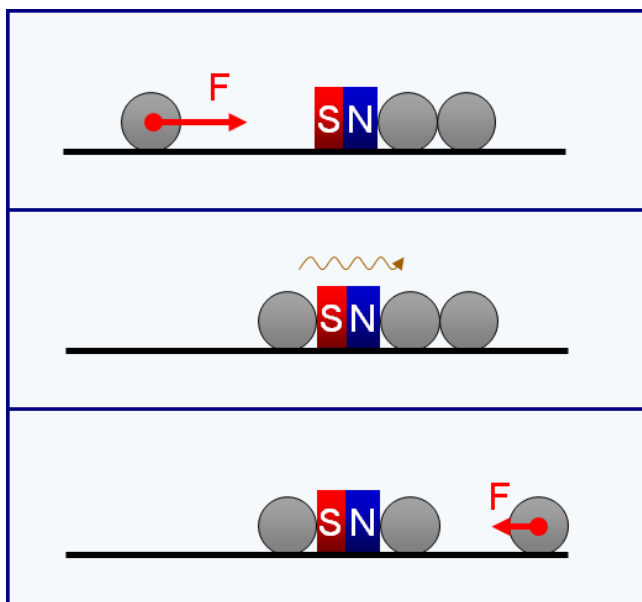
Opisane w treści zadania działko wykorzystuje bardzo prosty mechanizm, opierający się na przyciąganiu ferromagnetycznych kulek przez magnes [1]. To opracowanie zawiera jakościowy opis tego zjawiska i zasadę działania działka. Przedstawia także wyniki pomiarów oddziaływania pojedynczej kulki i magnesu, a także efektywności działka przy różnych konfiguracjach kulek i magnesu. Uzyskane rezultaty pozwoliły na znalezienie konfiguracji przy której prędkość wyjściowa kulki jest maksymalna oraz stanowią poparcie dla przedstawionego przez nas jakościowego opisu działania urządzenia.

Opis jakościowy

Pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego, ferromagnetyk ulega namagnesowaniu. Zjawisko to wynika z porządkowania się zgodnie z kierunkiem pola domen magnetycznych w materiale. Oznacza to, że umieszczona w polu magnesu kulka uzyska pewien moment magnetyczny.

Ferromagnetyczna kulka umieszczona w niejednorodnym polu magnetycznym doznaje działania siły. Wynika ona z porządkowania się domen magnetycznych w jej wnętrzu i w efekcie uzyskania pewnego momentu magnetycznego. Jeśli zewnętrzne pole jest dostatecznie silne, dojdzie do pełnego uporządkowania domen, a zatem magnetyzacja kulki będzie w

każdym punkcie zgodna z wektorem indukcji pola magnetycznego. Jeśli zewnętrzne pole jest słabsze, uporządkowanie będzie mniejsze, jednakże wypadkowy moment magnetyczny kulki i tak będzie skierowany zgodnie z wektorem indukcji. Oznacza to, że kulka będzie przyciągana przez magnes, w pobliżu którego pole będzie silniejsze, co zgodne jest z codzienną obserwacją.



Rysunek 1

Przykładem ferromagnetyka jest stal. Oznacza to, że tocząca się po torze kulka doznaje działania siły, która przyciąga ją do magnesu, nadając jej tuż przed chwilą zderzenia znaczną energię kinetyczną oraz pęd. W chwili zderzenia w układzie dochodzi do propagacji fali mechanicznej, która wiąże się z przekazywaniem energii i pędu przez magnes i inne kulki, aż do ostatniej kulki z przeciwnej strony, która z braku możliwości przekazania fali dalej uzyskuje pewną prędkość. Jeśli kulka - pocisk jest odpowiednio daleko od magnesu, praca, potrzebna na oddalenie jej od układu jest mniejsza od energii uzyskanej dzięki fali, a zatem może ona odłączyć się od pozostałych kulek i unieść część energii kinetycznej uderzającej kulki (rysunek 1).



Rysunek 2

Z uwagi na zasadę zachowania energii, energia kinetyczna pocisku jest mniejsza niż energia kulki uderzającej. Jednakże, kulka uderzająca uzyskuje większość swojej maksymalnej energii kinetycznej przybywając niewielką odległość tuż przy magnecie. Sprawia to, że ma ona prędkość porównywalną z prędkością pocisku przez niewielki odstęp czasu. Prowadzi to do złudzenia, że pocisk uzyskuje swoją energię „z nikąd”, a jego prędkość jest „zaskakująca”.

Pomiary siły

W celu lepszego poznania oddziaływania kulki z magnesem dokonaliśmy pomiaru siły tego oddziaływania. Wykorzystaliśmy w tym celu układ (rysunek 2.) w którym do przytwierdzonego do statywu magnesu przyczepialiśmy kulkę. Była ona połączona z szalką na której spoczywały obciążniki, których łączny ciężar wystarczył by oderwać kulkę od magnesu. Szalka zostawała oparta na wadze elektronicznej, ta zaś na pneumatycznym podnośniku.

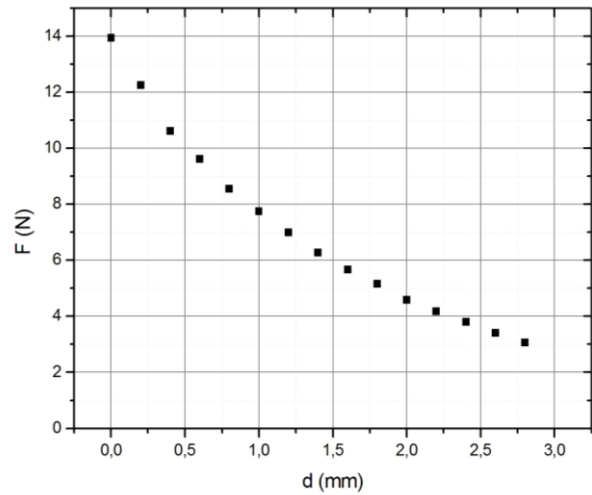
Każdy pomiar polegał na manipulacji wysokością wagi za pomocą podnośnika w celu odnalezienia najmniejszego wskazania wagi, przy którym magnes utrzymywał kulkę z obciążeniem. Wskazanie to wraz z ze znajomością całkowitej masy ciężarków z kulką i mocowaniem pozwalał wyznaczyć siłę oddziaływania magnesu na kulkę. Wykonaliśmy pomiary dla różnych odległości kulki

od magnesu, którą regulowaliśmy wkładając pomiędzy magnes i kulkę plastikowe warstwy o grubości 0.2 ± 0.01 mm.

Wyniki pomiarów siły zostały przedstawione na wykresie 1.

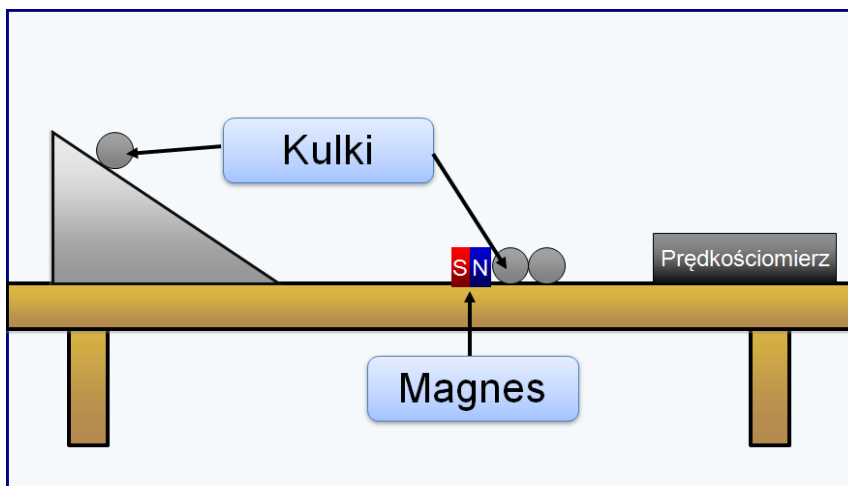
Zgodnie z przewidywaniami siła ta gwałtownie rośnie w pobliżu magnesu, co odpowiada uzyskaniu największej części energii na krótkim odcinku przed samym magnese.

Wykorzystanie podnośnika pozwoliło na bardzo precyzyjny pomiar siły oddziaływania, ze względu na możliwość zmiany wysokości wagi z bardzo małym przyspieszeniem. Oznacza to, że siła odrywająca kulkę była rzeczywiście równa ciężarowi obciążenia. W przypadku obciążania kulki odważnikami o różnej masie (jak w [1]), siła ta mogła być większa z uwagi na dodatkowy nacisk w chwili podwieszania ciężarka.



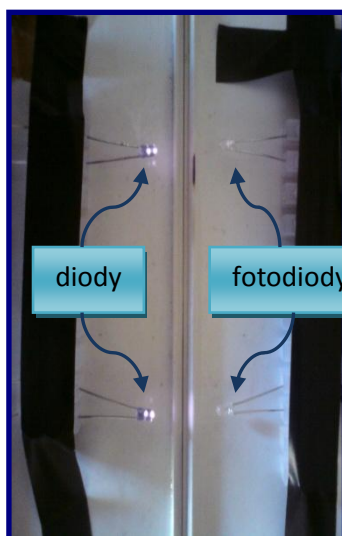
Wykres 1

Pomiary prędkości



Rysunek 3

W celu zmierzenia wydajności działa Gaussa zbudowaliśmy odpowiedni układ pomiarowy. W jego skład wchodził niemagnetyczny tor (rysunek 3), którego część była wygięta ku górze. W pewnej odległości od wygięcia umieszczaliśmy magnes wraz z kulkami, zaś za nimi układ do pomiaru prędkości (rysunek 4). Składał się on z dwóch par umieszczonych naprzeciwko siebie, po dwóch stronach toru diody i fotodiody. Dioda oświetlając fotodiode umożliwia przepływ prądu przez nią, lecz gdy zostanie zasłonięta, przez poruszającą się po torze kulkę, natężenie tego prądu spada. Ponieważ owe pary umieszczone były w pewnej odległości od siebie, spadki natężenia będą miały miejsce w różnych chwilach.



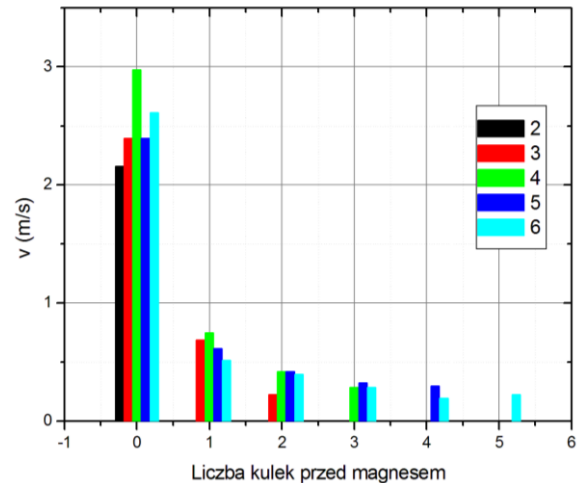
Rysunek 4



Rysunek 5

Każdą z fotodiod podłączyliśmy do oscyloskopu (rysunek 5), który pozwolił nam zmierzyć czas pomiędzy spadkami, zaś znając odległość między diodami, wyznaczyć prędkość średnią kulki na tym odcinku. W celu uzyskania powtarzalności wyników kulkę uderzającą w układ umieszczaliśmy na stałej wysokości na wygiętej części toru. Wykonaliśmy pomiary prędkości dla różnych ilości kulek przed i za magnesem.

Wyniki przedstawia wykres 2. Na osi poziomej odłożona jest liczba kulek za magnesem, zaś poszczególne serie opisują pomiary dla różnych ilości kulek za magnesem (obydwie wartości dotyczą liczby kulek przed uderzeniem).



Wykres 2

Optymalne położenie magnesu

Wyniki pomiarów pokazują bez wątpliwości, że oddzielanie kulki uderzającej od magnesu jakąkolwiek liczbą kulek zmniejsza efektywność działa. Jest to rezultat równie intuicyjny, jak prosty do uzasadnienia. Jeśli zderzenie następuje w większej odległości od magnesu, kulka osiągnie mniejszą energię kinetyczną. Nawet gdyby bezpośrednie zderzenie z magnesem mogło być źródłem strat energii, możliwym do uniknięcia poprzez poprzedzenie go kulką, to jest to efekt całkowicie marginalny w stosunku do zmian energii uzyskanej dzięki przyciąganiu magnetycznemu. W celu maksymalizacji prędkości pocisku należy umieścić magnes przed wszystkimi kulkami.

Kulki za magnesem

Pomiary ukazują, że wpływ liczby kulek za magnesem na prędkość pocisku jest nie do wyznaczenia za pomocą użytej przez nas aparatury, o ile liczba ta jest o co najmniej 2 większa od liczby kulek przed magnesem. W przeciwnym wypadku pocisk nie odrywał się w ogóle od układu. Rozważania teoretyczne wskazują jednak, że liczba kulek za magnesem ma wpływ na prędkość pocisku. Większa liczba kulek rozdzielająca magnes i pocisk pozwala na oddalenie pocisku od układu przy pomocy mniejszej pracy, a tym samym uzyskania większej prędkości, choć z drugiej strony wiąże się z większym tłumieniem przy przekazywaniu fali mechanicznej.

Nasze pomiary ukazują, że w granicy błędów pomiaru przy liczbach kulek badanych przez nas te efekty znoszą się lub, co jest bardziej prawdopodobne, pozostają mało znaczące.

Dalsze badania

W celu lepszego zbadania działa Gaussa należy przeprowadzić doświadczenia wykorzystujące dokładniejszą aparaturę do pomiaru prędkości i zbadanie większego zakresu liczby kulek. Należy zbadać również działanie urządzenia przy wykorzystaniu kulek innych rozmiarów i różnych magnesów. Takim kątem można także rozwinąć badanie oddziaływania magnesu na stalowe kulki, podobnie jak należy zbadać siłę oddziaływań magnesu połączonego współosiowo z kilkoma kulkami na pojedynczą kulkę.

Odnosiniki

[1] Christian Ucke, Hans Joachim Schlichting, *The Magnetic Cannon*, 2009