Uniwersytet Wrocławski, Instytut Fizyki Doświadczalnej, I Pracownia

Ćwiczenie nr 12

LABORATORYJNY EKSPERYMENT SYMULUJĄCY POWSTAWANIE KRATERÓW NA PLANETACH I KSIĘŻYCACH, WSKUTEK UDERZEŃ METEORYTÓW

I. WSTĘP

Na wszystkich planetach i księżycach układu słonecznego (z wyjątkiem Jowisza, który nie posiada twardej powierzchni) stwierdzono obecność kraterów powstałych wskutek uderzeń meteorytów spadających z ogromnymi prędkościami. Tak na przykład krater w Arizonie powstał ok. 20 000 lat temu po uderzeniu meteorytu o masie M_m. ok. 3×10^8 kg,, który uderzył w powierzchnię Ziemi z prędkością ok. 12 000 m/s (*). Krater ten ma średnicę ok. 1200 m i aktualną (wskutek erozji) głębokość ponad 200 m.

Uderzenie to, z punktu widzenia fizyki, jest przykładem prawa zachowania pędu w zderzeniu niesprężystym. Można obliczyć, że skutkiem przekazaniu pędu przez meteoryt, Ziemia uzyskała dodatkową prędkość po zderzeniu, równą ok. 6×10^{-13} m/s, czyli znikomo małą w porównaniu chociażby z prędkością ruchu orbitalnego ($v_{orb} \cong 3\times10^4$ m/s). Jest to zrozumiałe ze względu na różnice mas meteorytu i Ziemi ($M_Z \cong 6\times10^{24}$ kg). Energia kinetyczna meteorytu tylko w małej części została zamieniona na energię kinetyczną Ziemi, lecz prawie w całości na energie: plastycznej deformacji podłoża (gruntu), energię kinetyczną wyrzucanych fragmentów, energię fal sejsmicznych oraz na energię cieplną (w miejscu uderzenia temperatura może osiągnąć wartość kilku tysięcy kelwinów).

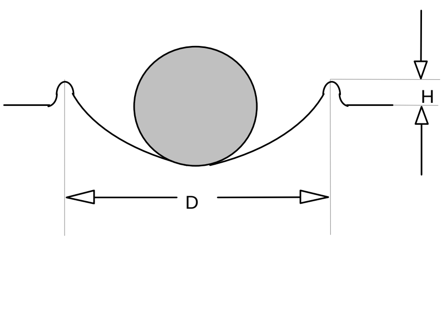
W warunkach laboratorium studenckiego możemy symulować takie zderzenie jedynie w zakresie względnie małych wartości energii kinetycznej uzyskiwanych np. przez ciała przy spadku swobodnym. Oczywiście wtedy ilość wydzielonego ciepła i przyrost temperatury będą bardzo małe, ale inne skutki zderzenia mogą być łatwo obserwowane.

(*) https//www.barringercrater.com/the-crater, wejście 27.02.2023r.

II. OPIS EKSPERYMENTU

W modelowym ćwiczeniu meteoryt zastępujemy kulkami stalowymi o różnych średnicach (i masach m), spadających z różnych wybranych wysokości h, do pojemnika wypełnionego suchym piaskiem. Energię kinetyczną kulki w momencie uderzenia obliczamy przyjmując, że jest ona równa energii potencjalnej kulki względem poziomu piasku przed spadkiem:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = mgh \tag{1}$$



Rys. 1. Profil krateru

Po uderzeniu kulki, na powierzchni piasku powstaje krater, którego średnica D zależy od energii kinetycznej padającej kulki. <u>Zakładamy</u>, że w tym eksperymencie:

1) Energia kinetyczna kulki zamienia się głównie na energię deformacji pewnej objętości V piasku, o kształcie zbliżonym do półkuli, która została przemieszczona w wyniku uderzenia kulki:

$$E_k \propto V \tag{2}$$

2) Objętość V jest <u>w przybliżeniu</u> proporcjonalna do trzeciej potęgi średnicy D krateru powstałego w wyniku zderzenia (patrz rys. 1):

$$V \propto D^3 \quad (3)$$

Na słuszność założeń 1) i 2) wskazują wyniki pomiarów średnic sztucznych kraterów spowodowanych przez eksplozje materiałów wybuchowych

3) Dodatkowo można założyć, że część energii kulki, przejmuje w postaci energii potencjalnej materiał wyrzucony spod kulki do góry, ponad poziom początkowy, o h (patrz Rys. 1). Energia ta jest wprost proporcjonalna do D.

Możemy więc oczekiwać, że albo uwzględniając tylko założenia 1) i 2) oraz równanie (3)

$$E_k \propto D^3 \quad (4)$$

albo, po uwzględnieniu także założenia 3):

$$E_k \propto D^4 \quad (5)$$

Celem tego ćwiczenia jest sprawdzenie, który z wzorów: (4) czy (5), lepiej opisuje wyniki eksperymentu.

III. POMIARY

Stalowe kulki należy puszczać swobodnie (zwalniać) z uchwytu magnetycznego zamocowanego na statywie do kuwety wypełnionej suchym piaskiem.

1. Zmierzyć średnice kulek.
2. Małą kulkę o masie m_1 = 4,0g puszczać z wysokości równych ok. 0.25 m, 0.5 m, 1 m, 1,5 m i 2 m. Średnią kulkę o masie m_2 = 14,0g wystarczy puścić z wysokości 0.5 m, 1 m, 1.5 m i 2 m, a największą o masie m_3 = 31,8g tylko z wysokości 1,5 m i 2 m. Wynika to z faktu, że energie kinetyczne małej kulki spadającej z dużej wysokości i pozostałych kulek spadających z małych wysokości są zbliżone.
   W ten sposób uzyskujemy 10 różniących się wartości energii kinetycznych kulek.
3. Średnice powstałych kraterów mierzymy suwmiarką, korzystając z obserwacji cienia wytwarzanego przez brzegi krateru przy bocznym oświetleniu powierzchni piasku przy pomocy lampy.
4. Po każdym pomiarze wyrównujemy powierzchnię piasku. Aby poprawić dokładność pomiarów, powtarzamy je trzykrotnie dla każdej wartości energii.

IV. OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW

Znając masy kulek i wysokość spadku, wyliczamy ich energie potencjalne względem poziomu piasku. Mogą się one zmieniać od ok. 1×10^{-2} J do ponad 1 J (dżula), a więc o ponad dwa rzędy. Obliczamy wartości średnie średnic kraterów. Sporządzamy wykres zależności średnicy krateru od energii kulki. Zależności potęgowe, takie jak we wzorach (3) i (4) najlepiej jest przedstawiać w układzie podwójnie logarytmicznym, tzn. lg(D) na osi rzędnych (pionowej) a lg(E) na osi odciętych (poziomej). W takim układzie współrzędnych zależności potęgowe są liniami prostymi. Można to zrobić albo obliczając logarytmy danych pomiarowych, albo robiąc wykres na specjalnym papierze „milimetrowym" o skali podwójnie logarytmicznej (patrz Dodatek 1). Najkorzystniej jest wykorzystać do tego celu komputerowy program graficzny np. Origin albo którąś z wersji Graphera, lub Excela.

Znając kąt nachylenia prostej znajdujemy współczynnik potęgi jak w zależności (4) albo (5).

Przez ekstrapolację uzyskanych wyników zależności lg(D) od lg(E) (w tym celu przedłużamy prostą wykreśloną na podstawie naszych wyników w stronę większych energii) szacujemy, jaką energię miał wspomniany we wstępie meteoryt, który spadł w Arizonie, jeśli średnica powstałego krateru wynosi 1200 m. Porównujemy uzyskaną wartość energii z tą, jaka wynika ze wzoru na energię kinetyczną ($E_k = M_m v^2/2$).

V. LITERATURA

1. I. W. Sawieliew, Kurs Fizyki, tom 1, PWN Warszawa 1987

VI. ZAGADNIENIA DO KOLOKWIUM

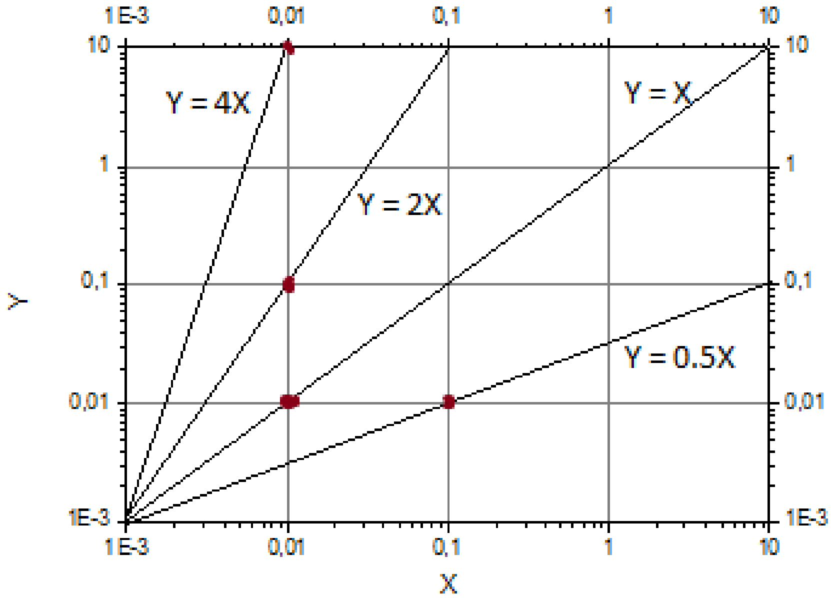
Spadek swobodny.

Zasada zachowania energii i pędu. Zderzenia sprężyste i niesprężyste. Logarytm dziesiętny.

3

DODATEK 1

Na rysunku poniżej pokazano jak wyglądają zależności potęgowe typu y = x^n w skali podwójnie logarytmicznej. Tutaj X = lg(x) oraz Y = lg(y).



Przykładowo Y = 2X oznacza lg(y) = 2lg(x) czyli y = x^2