Temat: Doświadczalne wyznaczanie parametrów ruchu po okręgu.
Rozdział Ruch po okręgu - jak przeżyć zakręt. "Moja Fizyka T1. str.75"

Elżbieta Krawczyk

Przebieg lekcji
Proponujemy zacząć od doświadczenia do którego potrzebna:
Obudowa zużytego długopisu, żyłka wędkarska (ok. 1 m), gumka (raczej miękka) i "ciężki" obiekt do dźwigania - to elementy składające się na całość przyrządu. Każdy uczeń powinien mieć przyrząd w ręku (patrz zdjęcie). Warto "wyprodukować" z pomocą uczniów wystarczająco dużo takich urządzeń, by mieć je w zbiorach.

Uczniowie otrzymują polecenie:
"Weź w jedną rękę obudowę długopisu, trzymaj ją w pozycji pionowej, a drugą ręką odciągnij gumkę poziomo i wyczuj działające siły, ich kierunek, siły równoważące.
Zauważ, że uwalniając gumkę, spowodujesz, że "spadnie" ona na wylot rurki
Uczniowie wykonują doświadczenie.
Szukamy analogii między "spadaniem" gumki w kierunku wylotu rurki a spadaniem ciał na powierzchni Ziemi. Wypunktujemy różnice.

Zadajemy pytanie: Co zrobić, by gumka nie spadła na wylot rurki?
Wynikiem dyskusji powinno być stwierdzenie, że gumka, aby nie spaść, musi się poruszać po okręgu. Czy ten ruch może być dowolny? Czy przy każdym promieniu koła okres obiegu może być taki sam? Jakie wielkości w naszym doświadczeniu nie zmieniają się?
W tym doświadczeniu, dla tego urządzenia ustalone są z góry: siła dośrodkowa F (równa Mg, gdzie M to masa ciężarka) i masa m poruszającego się po okręgu "pojazdu". inne wielkości (v, r, T) mogą się zmieniać. Najprościej jest zbadać zależność pomiędzy T i r.
Jaki związek teoretyczny istnieje pomiędzy tymi wielkościami?
Na gumkę działa siła dośrodkowa

$$F = m\frac{v^2}{r}$$

Wiedząc, że F = Mg oraz, że $v = \frac{2\pi R}{T}$, otrzymamy

$$T^2 = \frac{4\pi^2 m}{Mg} r$$

Oznaczając $\frac{4\pi^2}{Mg} m = C$, otrzymujemy związek między T i r dla naszego urządzenia:

$$\mathbf{T^2 = Cr}$$

Wielkość $C = \frac{4\pi^2}{Mg} m$ można znaleźć na dwa sposoby: albo przez zważenie m i M, albo z wyrażenia $C = \frac{T^2}{r}$
, na co wystarczy w zasadzie jeden pomiar T i r.

Planujemy więc szereg pomiarów. Dla różnych wartości r wyznaczamy T. Na podstawie wykonanych pomiarów należy zrobić wykres zależności T^2 od r. Z wykresu odczytujemy wartość C.

W tym doświadczeniu można się nauczyć sporządzania wykresów - prostych, bezpośrednio podczas dokonywania pomiarów. Można dyskutować błędy pomiaru, można konfrontować teorię (policzone ze wzoru C) z doświadczeniem. Można na tym samym wykresie doświadczalnym, narysować skrajne proste (najmniej pochyloną i najbardziej pochyloną) i porównać prostą teoretyczną z wykresem doświadczalnym.

Wielokrotnie użyliśmy słowo "można". To są nasze propozycje. Sposób opracowania wyników pomiarów nauczyciel dopasuje do poziomu, możliwości i zainteresowania uczniów.

I jeszcze jedno doświadczenie
W ramach dbania o zdrowie pobiegnij chwilę po podwórku lub, ostatecznie, po pokoju. Wyznacz sobie uprzednio zakrzywiony tor ruchu (np. kredą na asfalcie), przebiegnij się po tym torze kilkakrotnie, za każdym razem zwiększając szybkość. Oczywiście, warto wyciągnąć, a może nawet zapisać wnioski z własnych obserwacji.
Wnioski powinny być u wszystkich uczniów podobne: im większa szybkość, tym trudniej utrzymać się na łuku (bezpieczeństwo na zakrętach!), tym bardziej trzeba się pochylać w kierunku środka. Takie przechylenie wyzwala siłę (składową siły ciężkości), która jest potrzebna by "spadać" na środek (podobną rolę spełniało napięcie żyłki w poprzednim doświadczeniu). Z odczuć lub obserwacji może wynikać uzasadnienie pochylania dróg na zakrętach.
Z poprzednich lat zgłębiania tajników przyrody pamiętasz pewnie, jak są ze sobą związane wielkości, bardzo ważne dla życia, liczące się w pokonywaniu zakrętów:

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a}$$

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

$$F = m\omega^2 r$$

Przypomnę, że $\omega = 2\pi/T$ to prędkość kątowa (jak wielki kąt w ciągu sekundy zakreśli promień wodzący r ciała wykonującego ruch po łuku), mierzona w radianach na sekundę. **Promień wodzący r** to wyimaginowana nić łącząca obserwatora ze środkiem obiektu. W przypadku ruchu po torze kołowym, tylko dla obserwatora znajdującego się w środku okręgu ma on stałą długość równą promieniowi okręgu. **Promień wodzący jest wektorem**, posiadającym początek w miejscu, z którego obiekt jest obserwowany, a koniec w środku masy ciała. Czasem nazywamy go wektorem położenia, gdyż określa on miejsce, w którym ciało aktualnie się znajduje. Równanie **F** = m**a** to dobrze znany zapis wielkiej Newtonowskiej zasady ruchu zwanej drugą zasadą dynamiki. Nie nudząc wyprowadzaniem wzorów, chcę zauważyć tylko, że sens ma także zapis równoważny poprzedniemu:

$$a = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$$

a wielkości zarówno v^2/r, jak i $\omega^2 r$ mają wymiar oraz wartość przyspieszenia. Jest to logiczne: w pierwszym doświadczeniu mogliśmy sprawdzić słuszność tych relacji, w drugim "namacalnie" wyczuć ich sens. Oba wyrażenia określają **wartość przyspieszenia skierowanego ku środkowi krzywizny** - wzdłuż promienia r. **Nazywamy je przypieszeniem dośrodkowym**

Tarcie między oponami auta a nawierzchnią nie profilowanej (nie pochylonej na zakręcie) drogi musi dostarczać - niezbędnej do zmiany kierunku jazdy - siły. Podwojenie prędkości wymaga czterokrotnie większego tarcia na tym samym zakręcie. Dobrze jest o tym pamiętać.
Wiedzą o tym kierowcy wszelkiego rodzaju pojazdów: od deskorolek, rowerów, przez samochody, czołgi, pociągi. Każdy z nich przeżył przynajmniej raz w życiu swoją przygodę na zakręcie. Wielu nie przeżyło. Tysiące ludzi na świecie straciło życie "nie wyrabiając" zakrętu.

Elżbieta Krawczyk, (fot i animacja Agnieszka Wendykier)