

Scenariusz lekcji

Czas trwania: dwie jednostki lekcyjne cz. I i cz. II (2×45 min)

Przedmiot nauczania: **Fizyka**

Dział programowy: Ruch punktu materialnego

Temat: Ruch jednostajny po okręgu: cz. II – dynamika

Klasa I liceum – zakres rozszerzony

Zgodność z podstawą programową FIZYKA

ROZPORZĄDZENIE MEN z dnia 23 grudnia 2008 r. Dz.U. nr 4 2009r. Załącznik nr 4
IV etap edukacyjny – zakres rozszerzony: **1.Treści nauczania – wymagania szczegółowe**

Punkt załącznika 1.14) oblicza parametry ruchu jednostajnego po okręgu; opisuje wektory prędkości i przyspieszenia dośrodkowego.

Cele zajęć:

- ogólne:

I. znajomość i umiejętność wykorzystania pojęć i praw poznanych na ostatniej lekcji z kinematyki ruchu jednostajnego po okręgu. Wymagana jest ponadto znajomość zasad dynamiki, zwłaszcza drugiej i trzeciej.

II. Analiza tekstów popularnonaukowych i ocena treści: na podstawie fragmentów książki Krzysztofa Ernsta „Fizyka sportu” Wydawnictwo Naukowe PWN, 2010.

III. Przetwarzanie informacji zapisanych w postaci tabel i wykresów;

IV. Budowa modeli matematycznych opisu zjawisk

V. Wykonywanie prostych doświadczeń i ich analiza: umiejętność wyciągania wniosków na podstawie doświadczeń

- operacyjne:

a) zapamiętanie: U. zna określenie ruchu jednostajnego po okręgu, wie, co to jest okres obiegu, częstość kołowa i częstotliwość, wie od czego zależy siła dośrodkowa;

b) rozumienie: umie uzasadnić wzór na prędkość i przyspieszenie w ruchu jednostajnym po okręgu, rozumie na czym polega różnica między siłą dośrodkową a odśrodkową, oblicza parametry ruchu jednostajnego po okręgu, opisuje wektory prędkości i przyspieszenia dośrodkowego;

c) stosowanie wiadomości w sytuacjach typowych: wyznaczanie parametrów ruchu na podstawie jego obserwacji;

d) stosowanie wiadomości w sytuacjach problemowych: wirówki w urządzeniach gospodarczych, np. pralki, przemysłowych, np. wirówki

do mleka, do wzbogacania uranu, siła odśrodkowa w pojazdach, obsługa tokarki, regulatory przepływów, starożytne proce i wyrzutnie pocisków;
e) umiejętność pisania sprawozdań z ćwiczeń laboratoryjnych.

- **wychowawcze:** zaangażowanie UU w zdobywanie wiedzy, współdziałanie w grupie, uniwersalność przyrody, refleksja filozoficzna na temat siły ciężkości i siły dośrodkowej, wiadro Newtona, wynalazki techniczne na przestrzeni dziejów, kształcenie politechniczne, higiena pracy, promocja zasad bezpieczeństwa, bezpieczeństwo jazdy na zakrętach, duma z osiągnięć polskiej nauki i polskiego sportu.

Metody nauczania: pogadanka, wykład, pokaz i ćwiczenia laboratoryjne, ćwiczenia rachunkowe, wspomaganie komputerowe;

Formy pracy: praca indywidualna, w grupach wspomagana przez N.

Pomoce dydaktyczne: wirownica, dwie masy związane linką, przyrząd obręczowy, próbki do wirownicy, regulator Watta, pętla (looping), komputer, rzutnik multimedialny.

Przebieg lekcji.

Faza wstępna:

Sprawy porządkowe

Przypomnienie wiadomości o ruchu jednostajnym po okręgu oraz drugiej i trzeciej zasady dynamiki Newtona.

Podanie tematu i omówienie celów lekcji: **Ruch jednostajny po okręgu – dynamika**

Faza realizacji:

N. ruch krzywoliniowy - rodzaj ruchu znany z opisu rzutu poziomego, przyspieszenie i siła mimo stałej szybkości (wartości bezwzględnej prędkości).

U: Druga zasada dynamiki Newtona

$$F = m a$$

N przypomina, że nie jest to określenie siły, ale prawo przyrody. Wiemy zaś, że

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

oraz

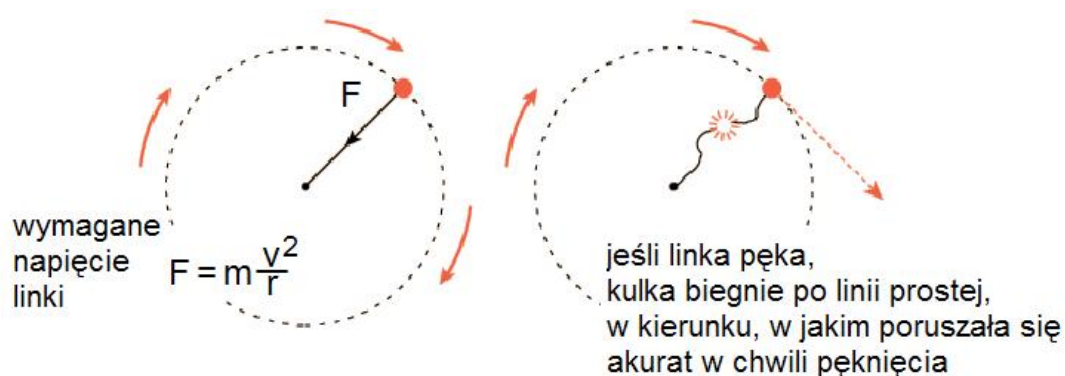
$$F = m \frac{v^2}{r}$$

Ponieważ

$$v = \omega r$$

Zatem

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



Rys. 1 Linka umożliwia wytworzenie koniecznej siły dośrodkowej, aby kulka poruszała się po okręgu. Jeśli linka pęknie, kulka odleci po linii prostej, w kierunku jaki kulka miała w chwili pęknięcia linki.

Ruch prostoliniowy w nieobecności siły wymuszającej jest przykładem pierwszego prawa Newtona. W opisie tym pomijamy wpływ siły ciężkości.

Dwa znaczenia terminu „siła odśrodkowa”:

Zgodnie z trzecią zasadą dynamiki w punkcie zaczepienia linki o podłoże i w każdym przekroju poprzecznym linki pojawieniu się siły akcji – to znaczy *siły dośrodkowej* towarzyszy siła reakcji – to znaczy *siła odśrodkowa*.

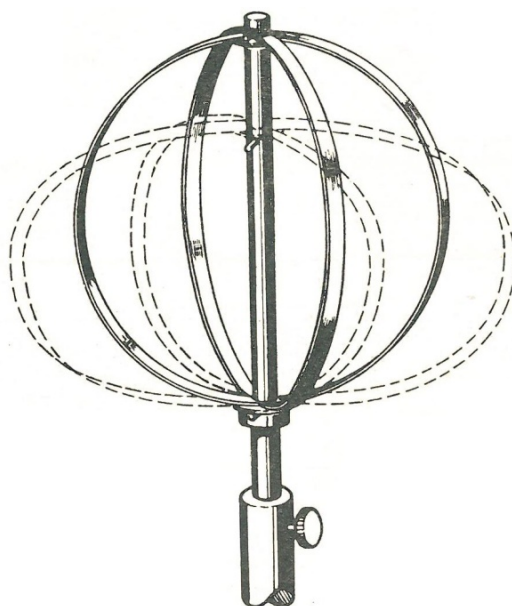
Przedmiot położony na wirującej śliskiej podłodze wskutek swej bezwładności przesuwa się względem podłogi, co w układzie odniesienia związanym z podłogą wygląda tak jakby istniała siła - *siła odśrodkowa* – która wymusza ruch – ucieczkę przedmiotu, por. rys. 1.

Podział UU na grupy.

N rozdaje karty pracy

Karta pracy grupy uczniów nr 1

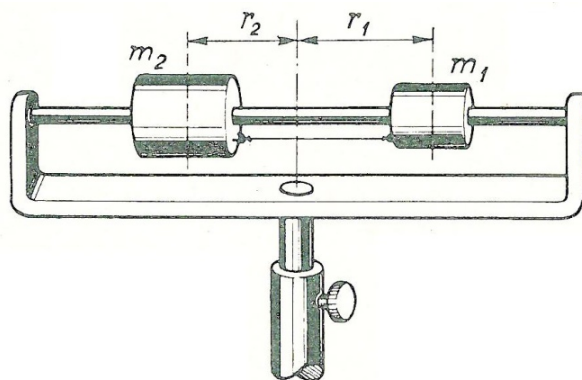
Doświadczenie 1: zamocować w wirownicy oś, do której są przymocowane obręcze z pasków elastycznych, por. rysunek. Wprawić w ruch wirownicę. Opisz wyniki obserwacji.



Rys.2 Sprawdzanie zależności siły dośrodkowej od prędkości kątowej – doświadczenie z dwiema elastycznymi obręczami na wspólnej osi obrotu. Kolistne obręcze wykonane z pasków metalowych wprawione w ruch wirowy ulegają spłaszczeniu. Zjawisko to można uważać za ilustrację spłaszczenia Ziemi.

Karta pracy grupy uczniów nr 2

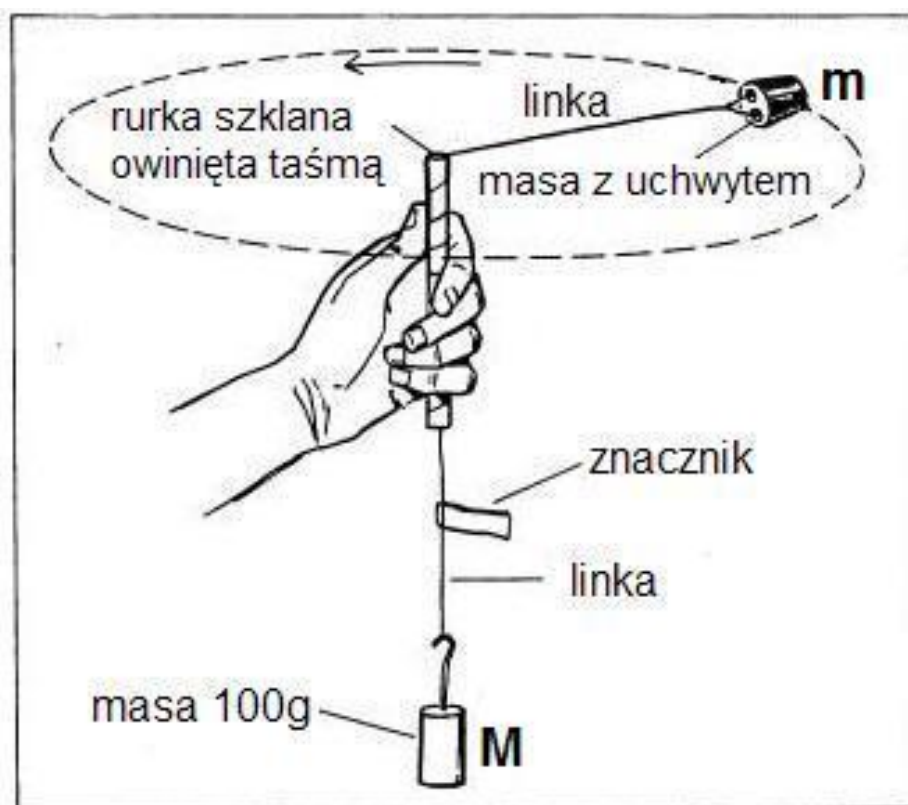
Doświadczenie 2 Układ kulek na szynie połączonych linką. Zamocować układ w wirownicy Zsunąć kulki do środka. Wprawić układ w ruch wirowy. Zbadać zachowanie kulek.



Rys. 3 Sprawdzanie zależności siły dośrodkowej od masy – doświadczenie z dwiema masami (kulami) połączonymi linką na wspólnej osi

Karta pracy grupy uczniów nr 3

Doświadczenie 3. W tym doświadczeniu linka jest przewleczona przez rurkę, a długość linki jest stała, około 1m. Na jednym końcu linki zamocowano masę m , a na drugim masę M (np. 100g).

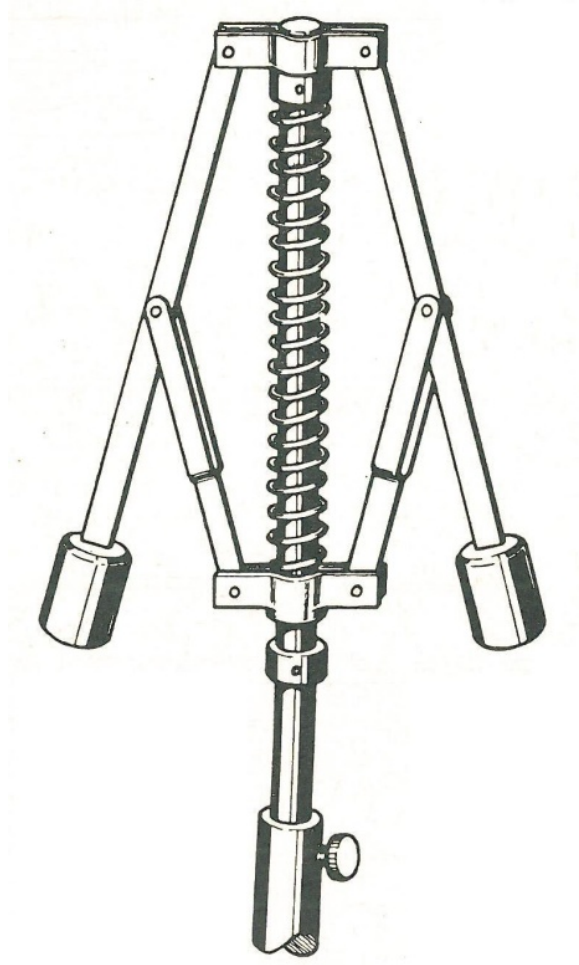


Rys. 4 Wirowanie linki z masami na końcach

N: Jak się zmieniają: częstość wirowania i promienia wirowania, jeśli siła dośrodkowa równa się stale ciężarowi masy M . Przedyskutować różne stosunki $M : m$.

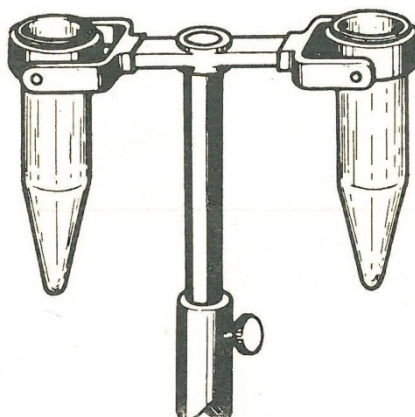
Karta pracy grupy uczniów nr 4

Doświadczenie 4. Zamocować regulator Watta w wirownicy. Opisać zależność kąta α od częstości wirowania.



Rys. 5 Regulator Watta

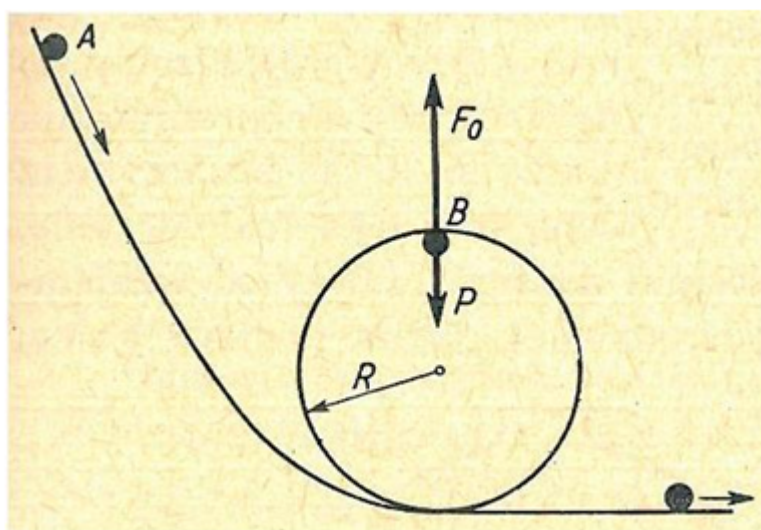
Karta pracy grupy uczniów nr 5
Doświadczenie 5.



Rys. 6 Dwie szklane probówki oprawione w pierścienie metalowe są zawieszone w oprawie widelkowej osadzonej na trzonie zaciśniętym we wrzecionie wirownicy i wprowadzone w ruch obrotowy.

Do probówek nalewamy zabarwionej wody i wprowadzamy przyrząd w ruch obrotowy. W miarę zwiększania szybkości obrotów probówki odchylają się stopniowo zbliżając się do pozycji poziomej: przy tym jednak woda nie wylewa się z probówek. Przyrząd ma zastosowanie np. w pracowniach naukowych do oddzielania zawiesiny od cieczy i ilustruje zasadę działania wirówki.

Karta pracy grupy uczniów nr 6
Doświadczenie 6



Rys. 7 Pętla (looping) jako wynik łącznego działania siły siły odśrodkowej i siły ciężkości.

W układzie pokazanym na rys. 7 punkt materialny (kulka, wózek, w większej skali motocykl) zsuwa się po równi pochyłej (po lewej stronie rysunku). Dzięki nabytej prędkości może obieć pętlę kołową po stronie prawej, nie spadając. Analogiczne są zabawowe tory jazdy zwane „russkije gorki” lub „rolling coaster”.

Siłę, jaką dociska wózek do toru w najwyższym punkcie pętli, mimo istnienia siły ciężkości jest siłą odśrodkową – reakcją na siłę dośrodkową wywieraną przez pętlę. Pokażemy, że aby wózek nie spadł, musi zaczynać zjazd z wysokości dwa i pół raza większej, niż najwyższy punkt pętli.

W najwyższym punkcie pętli na kulkę działają: siła ciężkości mg i siła reakcji N , tj. siła z jaką tor oddziałuje na kulkę.

Przykład: Z jakiej wysokości musi rozpocząć ruch kulka aby bezpiecznie minęła najwyższy punkt (nie oderwała się od toru pod wpływem działania siły ciężkości).

Siły te powinny nadawać kulce o masie m przyspieszenie dośrodkowe

$$v^2/R$$

Zatem

$$N + m g = m \frac{v^2}{R}$$

Aby kulka nie oderwała się od toru pętli, siła oddziaływania N między kulką a torem musi być większa od zera, bo gdy $N = 0$, to kulka nie styka się z torem. Z warunku $N > 0$ mamy

$$m \frac{v^2}{R} - m g > 0$$

Energia kinetyczna kulki

$$N + m g = m \frac{v^2}{R}$$

w najwyższym punkcie pętli jest równa różnicy jego energii potencjalnych na wysokości H i na wysokości $2R$, czyli

$$m g H - m g 2 R = m \frac{v^2}{R}$$

Obliczając z powyższego v^2 i podstawiając do nierówności otrzymujemy ostatecznie, że aby kulka nie oderwała się od toru musi być puszczona z wysokości

$$H \geq \frac{5}{2} R$$

Karta pracy grupy uczniów nr 7
Ćwiczenie rachunkowe

UU rozwiązują przykład, a mianowicie sprawdzają następującą tezę:

Jeśli ciało porusza się po okręgu koła z szybkością, którą nabyłoby ono spadając z wysokości równej jednej czwartej średnicy koła, będzie ono poddane sile odśrodkowej równej ciężarowi ciała.

Rzeczywiście: przy spadku z wysokości

$$h = \frac{2r}{4} = \frac{r}{2}$$

ciało nabywa prędkość

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2g \frac{r}{2}} = \sqrt{gr}$$

Stąd siła dośrodkowa wynosi

$$m \frac{v^2}{r} = m \frac{(\sqrt{gr})^2}{r} = m \frac{gr}{r} = mg$$

a więc istotnie siła odśrodkowa jest w tym wypadku równa ciężarowi ciała, co należało pokazać.

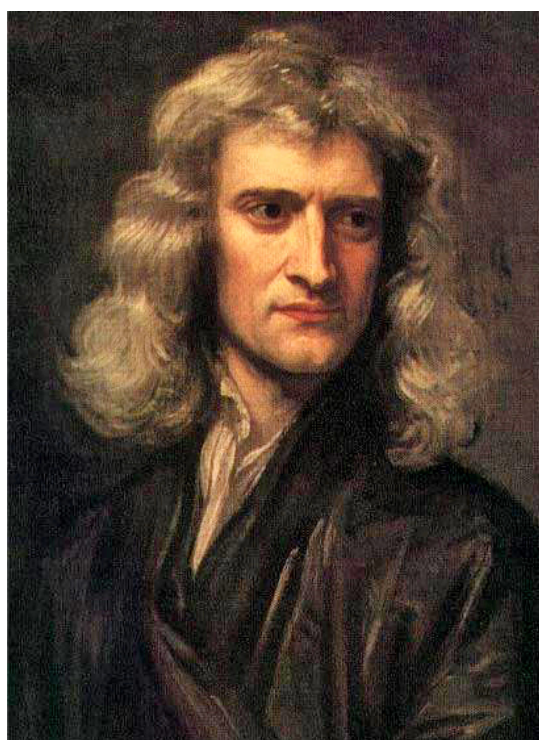
UU przystępują do wykonania zadań

Przedstawienie wyników pracy UU i ich ocena

N. z pomocą rzutnika multimedialnego pokazuje UU portrety Huygensa i Newtona

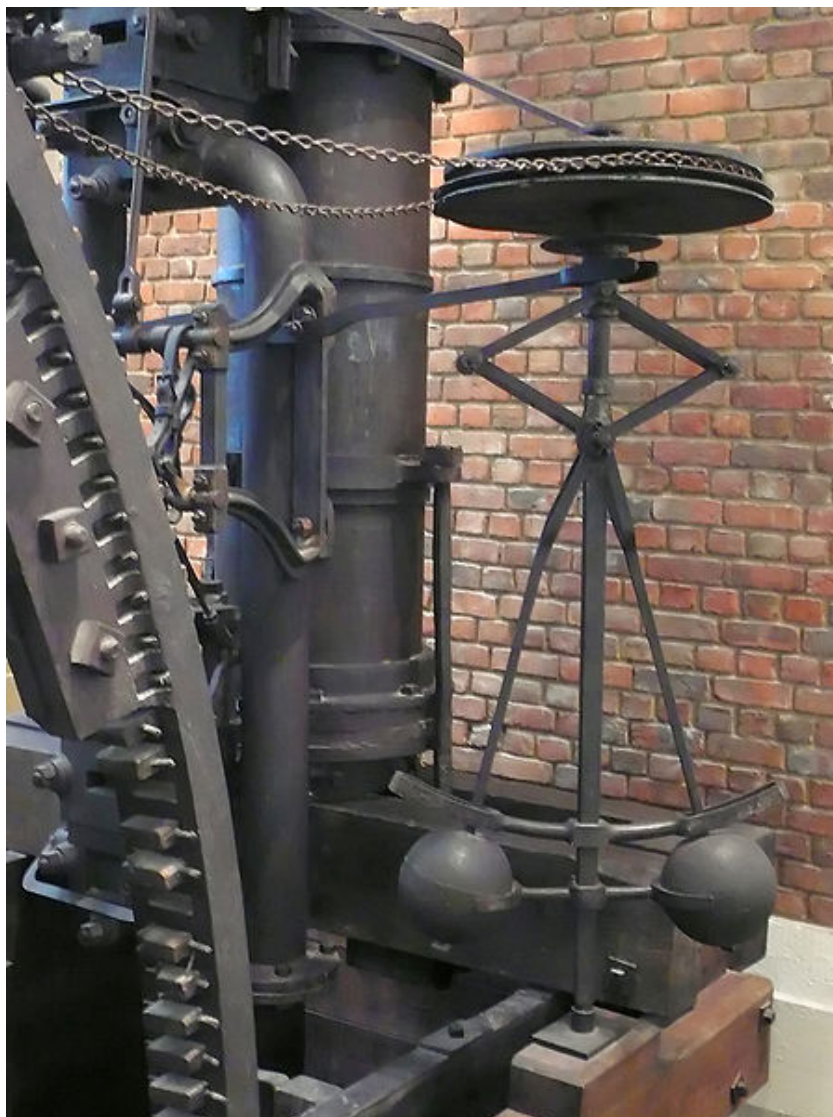


CHRISTIAAN HUYGENS, O sile odśrodkowej (*De vi centrifuga*, w *Dzielach wszystkich: Oeuvres complètes*, Vol. XVI, pp. 255-301)
Christiaan Huygens wprowadził termin “siła odśrodkowa” w roku 1659 w pracy *De Vi Centrifuga*, a także pisał o tym ruchu w roku 1673 swoim dziele o wahadłach *Horologium Oscillatorium*.



Isaac Newton wprowadził termin siła dośrodkowa w roku 1684 w swojej rozprawie na temat grawitacji *De Motu Corporum*.

Regulatory oparte na wykorzystaniu siły odśrodkowej

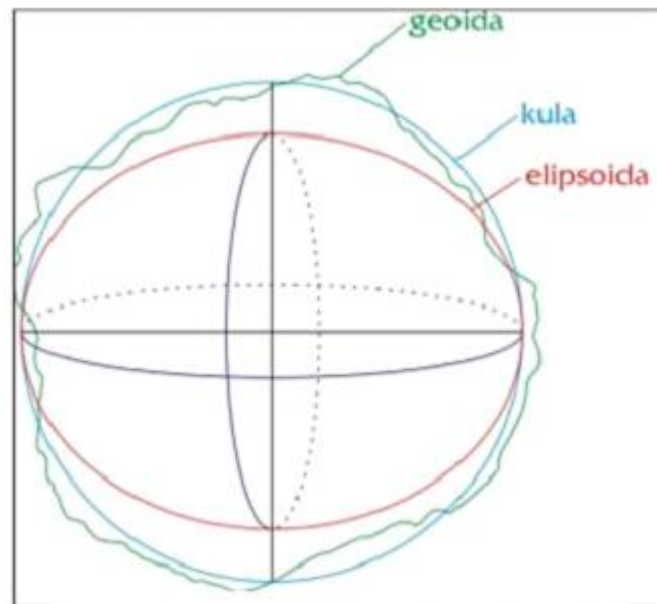


Boulton & Watt engine of 1788

Regulator Watta w parowej maszynie Boultona-Watta w Muzeum Nauki (Science Museum) w Londynie

Inne przykłady występowania i wykorzystania siły odśrodkowej

Geoida



Obrót Ziemi wokół własnej osi powoduje spłaszczenie naszej planety. Różnice pomiędzy powierzchniami różnych odwzorowań. Ocenia się, że promień Ziemi zmienia się od 6353 km (w kierunku bieguna) do 6384km w płaszczyźnie Równika. Pierwszym przybliżeniem geoidy jest elipsoida.



Iskry z tokarki. Iskry powstałe przy obróbce przedmiotu na tokarce wybiegają stycznie do koła ciernego tokarki.

Kolejka górską (roller coaster)



Alton Towers, Alton, Wielka Brytania.



11 sierpnia 2014 ponad 20 osób utknęło na szczycie kolejki górskiej (rollercoaster) w parku rozrywki (Sixs Flags) w miejscowości Largo, w stanie Maryland, 30 km od Waszyngtonu. Wagoniki zatrzymały się ok. 15 metrów nad ziemią z powodu awarii. Strażacy bezpiecznie ściągnęli pasażerów na ziemię. Do czasu wyjaśnienia przyczyny zatrzymania się kolejki rollercoaster został zamknięty.

Rzut młotem



Mistrzostwa Świata w lekkoatletyce - Moskwa 2013

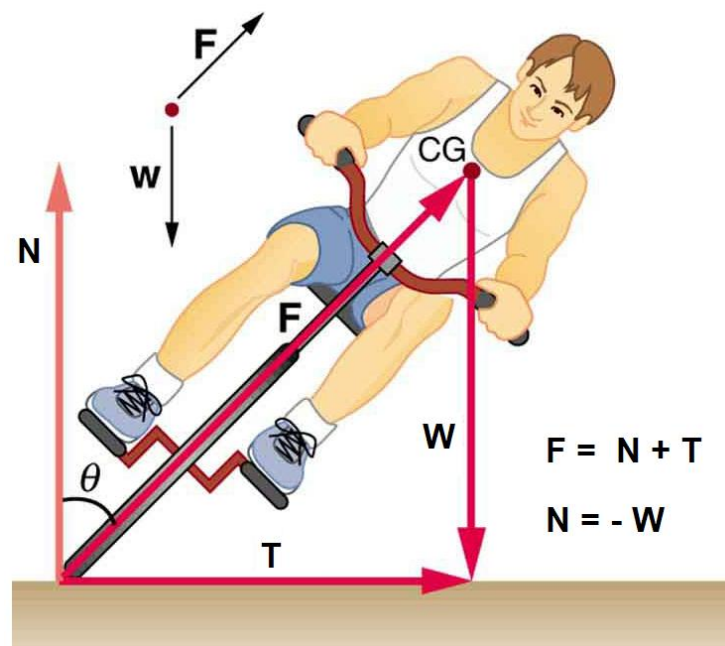
12 sie 13 19:56 **Paweł Fajdek mistrzem świata w rzucie młotem**

We wspaniałym stylu złoty medal w rzucie młotem zdobył w Moskwie Paweł Fajdek, który wygrał niesamowitym wynikiem 81,97 metra.

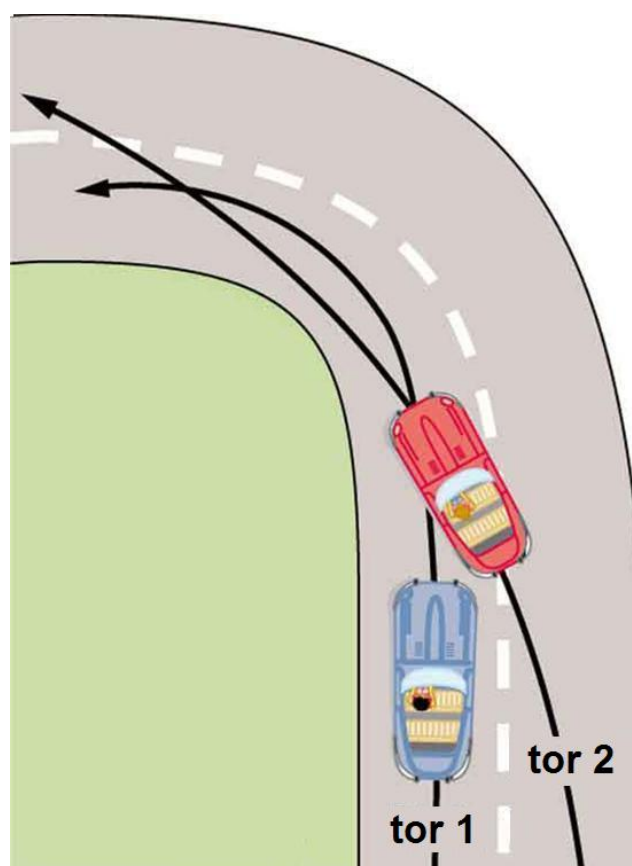
Anita Włodarczyk mistrzynią świata w rzucie młotem

Anita Włodarczyk 31 sierpnia 2014 roku na mityngu w Berlinie rzuciła młotem 79,58 m, czym ustanowiła nowy rekord świata.





Rowerzysta pokonuje zakręt. Rolę siły dośrodkowej pełni siła tarcia.



Przy wyprzedzaniu na zakręcie samochód na torze 2 ścina tor i porusza się po okręgu o większym promieniu, dzięki czemu zmniejsza siłę dośrodkową potrzebną do utrzymania się na torze

Proca, znana już od dawnej starożytności



Starożytne greckie pociski ołowiane do procy z Aten.

Po jednej stronie wygrawerowany sarkastyczny napis "ΔΕΞΑΙ" (Dexai) co oznacza „złap” (British Museum).

Nieraz, celem sporządzenia pocisku owijano blaszką ołowiową tzw. strzałkę piorunową. Kamień piorunowy, strzałka piorunowa - w etymologii ludowej błędna nazwa skamieniałego rostrum belemnita. Jeszcze w XIX wieku wierzono, że jest zastygniętym w skale piorunem. Prawdziwe naturalne szkło, powstałe w wyniku uderzenia pioruna w piasek, nazywa się fulgurytem.

Bitwa pod Kannami:

Siły Hannibala były dużo skromniejsze niż rzymskie i liczyły 40 000 ciężkiej piechoty, 6000 lekkiej i 8000 jazdy. Trzon piechoty stanowiło 8000 Libijczyków, ponadto było tam 8000 Iberów, 16 000 Galów (8000 pozostało w obozie), **8000 Balearskich procarzy** i nieznana ilość piechoty z italskich plemion galijskich. Jazda składała się głównie Numidyjczyków i Iberów.

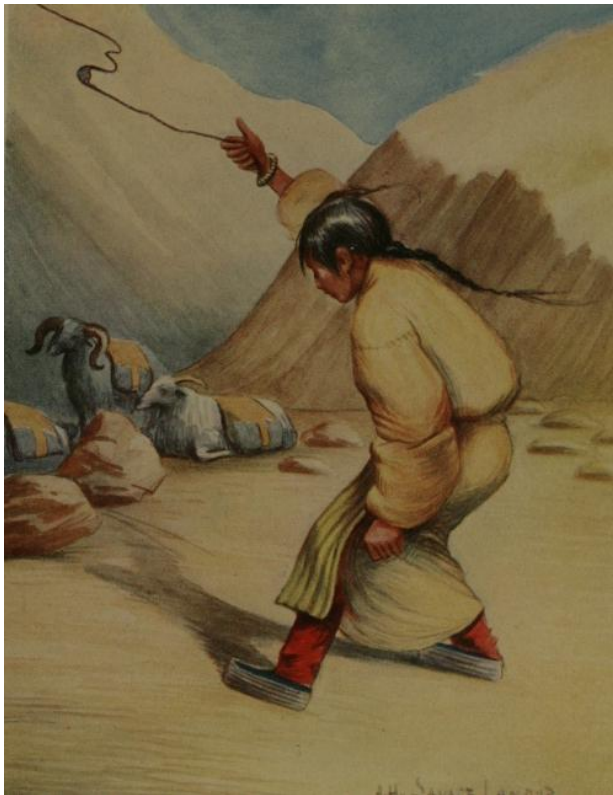
O wykorzystaniu procy piszą, m.in.:

1. Lukrecjusz, *O naturze rzeczy*,
2. Wergiliusz, Eneida, księga IX,
3. Liwiusz wspomina, że najślawniejsi procarze pochodzą z Wysp Balearskich.
4. Żołnierze cesarza Justyniana używali procy w walce z Hunnami. Zasięg procy był większy od zasięgu łuku.
5. W hiszpańskiej wojnie domowej (1936-1939), bywało, że walczący używali procy, aby przerzucać granaty na sąsiednie ulice.
6. Według książki Guinnessa największy zasięg procy wynosi 477,10 m, przy użyciu procy o długości 127 cm i ciężarze pocisku 62g. Wynik ten otrzymał David Engvall at Baldwin Lake, California, USA w dniu 13 września 1992 roku.





Procarz z Wysp Balearskich, słynnych z myśliwych tego typu. Zapasowa proca jako opaska na głowie. W worku – kamienie. Rysunek: Johnny Shumate.



Dziewczynka tybetańska broni procą stada kóz; autor: Arnold Henry Savage Landor, "Tibet and Nepal", 1905.



Procarze na kolumnie Trajana

Zasada procy może znaleźć zastosowanie na szeroką skalę w przyszłości; istnieją propozycję, częściowo już realizowane (porównaj poniżej wiadomość o polskich inżynierach) wprowadzenia **linek deorbitujących**, których zasada działania byłaby analogiczna do zasady działania procy.

Linka deorbitująca

Linka deorbitująca (ang. tether propulsion) to potencjalna technologia transportu kosmicznego w wielu projektach.

Linki deorbitujące są to długie kable używane do napędu, wymiany pędu, stabilizacji i kontroli, a także ustawiania części składowych dużych satelitów kosmicznych. Prócz linek deorbitujących, które służą do przesyłania energii elektrycznej, istnieją linki deorbitujące wirujące, które służą do przekazu pędu.

Linki deorbitujące powinny być wykonane z mocnych i lekkich materiałów. Używa się krystalicznych plastyków, takich jak polietylen, aramid, włókna węglowe. Nadzieje wiazane są z wykorzystaniem nanorurek węglowych, których wytrzymałość przewidywana wynosi 140 – 177 GPa, a wytrzymałość realizowana obecnie wynosi 50 – 60 GPa.



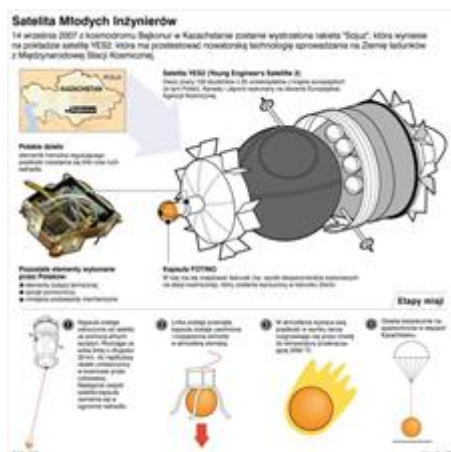
Linka deorbitująca (ang. tether-satellite) - NASA

Oto wycinek wiadomości o polskim wkładzie w tę dziedzinę techniki:

<http://www.naukawpolsce.pap.pl/aktualnosci/news,66075,satelita-z-polskim-podzespolem>

Satelita z polskim podzespołem

14.09.2007 **KOSMOS, LUDZIE NAUKI**



W piątek z kosmodromu Bajkonur w Kazachstanie wystartuje rakietą, która wyniesie w kosmos międzynarodowego satelitę YES2 - Young Engineering Sattelite 2. Jeden z jego podzespołów opracowało dwóch studentów Politechniki Warszawskiej - Rafał Graczyk i Grzegorz Misiołek.

"YES2 to demonstracja zaawansowanej technologii deorbitacji z użyciem linki. Jest to innowacyjny sposób transportu z orbity na Ziemię (dokładnie z Międzynarodowej Stacji Kosmicznej - ISS) - tłumaczy Marcin Stolarski, doktorant z Instytutu Radioelektroniki Politechniki Warszawskiej. - Przykładem

zastosowania może być potrzeba nagłego zbadania krwi astronautów będących na orbicie. Próbkę takiej krwi można przesłać przy wykorzystaniu technologii Kosmiczny List (Space Mail)".

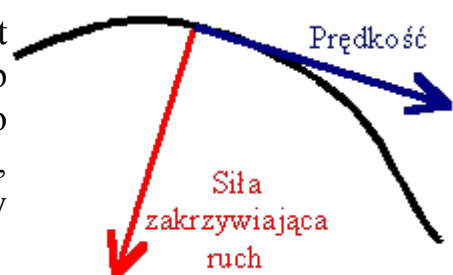
Linka deorbitująca to technologia potencjalnie umożliwiająca transport w wielu projektach kosmicznych. Projekt YES2 pokaże, czy ten mechanizm deorbitacji jest możliwy. Eksperyment deorbitacji nie będzie wykonany z pokładu stacji kosmicznej, ale z rosyjskiego statku Foton-M3.

Jednak misja YES2 to nie tylko demonstracja linki deorbitującej. To **pierwsze zastosowanie linki** do deorbitacji małej kapsuły powrotnej nazwanej Fotino, której zaawansowana technologia tworzona jest przez studentów z wielu uniwersytetów, między innymi studentów z Politechniki Warszawskiej oraz pracowników młodych polskich firm związanych z przemysłem kosmicznym tj. MICRO SPACE oraz Space Technologies R&D. Istnieje możliwość udostępnienia bezpośredniej transmisji ze startu w postaci strumienia wideo poprzez łącza internetowe lub z satelity oraz filmu z animacją prezentującą misję.

Podsumowanie i utrwalenie wiadomości: poznaliśmy nowy rodzaj przyspieszenia: zmiana kierunku prędkości, a nie jej wielkości. Siła dośrodkowa jest przenoszona przez więzy.

Ciało na które nie działa żadna siła pozostaje w spoczynku, lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym. Jeżeli siła działa w kierunku ruchu, to nie będzie ona zakrzywiać toru - ruch będzie cały czas prostoliniowy (opóźniony, lub przyspieszony).

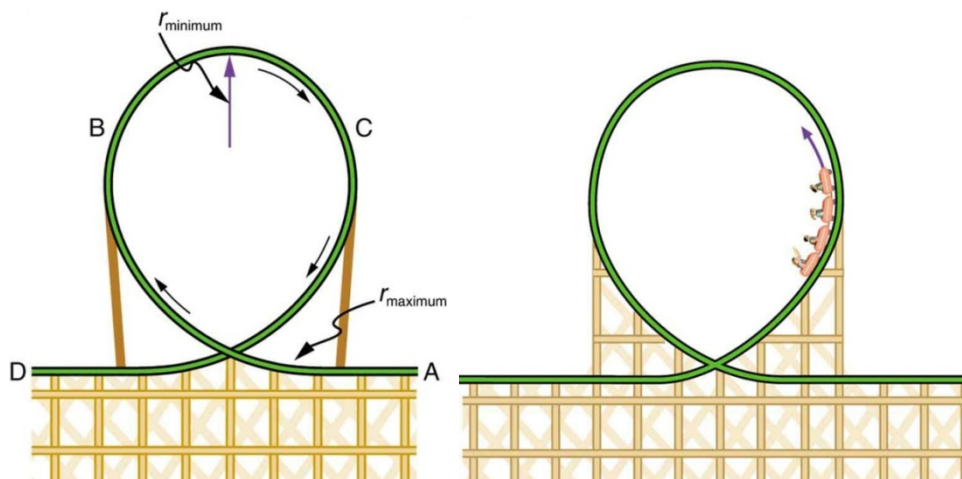
W ogólnym przypadku jednak, gdy siła jest skierowana pod kątem do kierunku ruchu (lub inaczej mówiąc ma jakąś składową prostopadłą do prędkości) to tor ruchu będzie się zakrzywiał, porównaj rysunek obok. W takiej sytuacji mamy do czynienia z **przyspieszeniem dośrodkowym**.



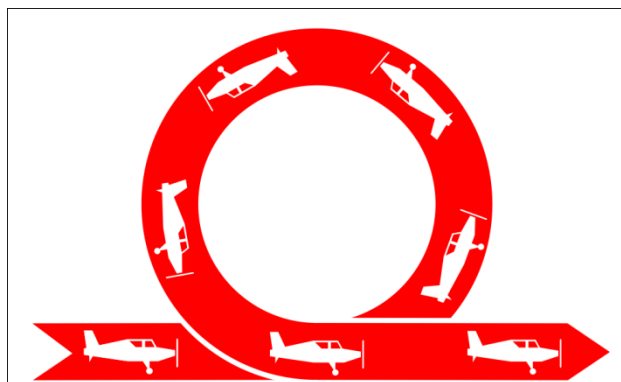
Przy ruchu wzdłuż promienia po wirującej tarczy, prócz siły dośrodkowej występuje również tak zwana **siła Coriolisa**, związana z zależnością prędkości liniowej od promienia, $v = \omega r$. Odkrywcą tego efektu był Gaspard-Gustave Coriolis.

Analiza tekstu

Krzysztof Ernst w książce "Einstein na huśtawce", zwraca uwagę na to, że w pętli o stałym promieniu R w najniższym punkcie działa odśrodkowa $5mg$, co zsumowane z siłą ciężkości daje całkowite przyspieszenie $6g$ (pilot odrzutowca przy przeciążeniu $7g$ traci chwilowo przytomność). Dlatego promień krzywizny dolnej części pętli śmierci jest nieco mniejszy i kształtem przypomina grecką literę "alfa", pr. Rys.10.



Pętla w kształcie obróconej greckiej litery alfa α . Promień krzywizny jest najmniejszy na szczycie pętli, tam też siła odśrodkowa jest największa. Uwaga: nie jest to ruch jednostajny.



Rys 10 Pętla lotnicza

Praca domowa.

N zaleca uczniom by obejrzeli i skomentowali film o występowaniu sił dośrodkowych:

<https://www.youtube.com/watch?v=z3BSkMj1wLc>

Notki dla nauczyciela:

Literatura:

Tadeusz Dryński, *Doświadczenia pokazowe z fizyki*, PWN, Warszawa 1964.

Paul B. Scheurer, G. Debrock (editors), *Newton's Scientific and Philosophical Legacy*, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht 1987.

Krzysztof Ernst, *Einstein na huśtawce, czyli fizyka zabaw, gier i zabawek*, Prószyński i Ska, Warszawa 2002.

Krzysztof Ernst, *Fizyka sportu*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2010.

Zeno, założyciel stoicyzmu wyjaśniał spójność kosmosu istnieniem siły dośrodkowej.

Terminu tego używał również Cyncero.

Vis centripetlis – centripetal force – siła dośrodkowa, od łac.: *peto* – dążyć

Vis centrifuga – centrifugal force – siła odśrodkowa, od łac.: *fugo* – uciekam

W powyższym scenariuszu podajemy wiele zdjęć doświadczeń fizycznych, a także własności i zastosowań praktycznych zjawiska przyspieszenia dośrodkowego. Część tych ilustracji podana jest tylko dla przypomnienia, ponieważ przedstawiane przez nie doświadczenia będą wykonywane praktycznie, jako pokaz lub ćwiczenia grupowe. Pozostałe obrazy, jak na przykład portrety uczonych służą do rozszerzenia horyzontów umysłowych uczniów.