

# Scenariusz lekcji

**Czas trwania:** dwie jednostki lekcyjne cz. I i cz. II ( $2 \times 45$  min)

Przedmiot nauczania: **Fizyka**

**Dział** programowy: Ruch punktu materialnego

**Temat:** *Ruch jednostajny po okręgu: cz. I – kinematyka*

*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 fizyki do wyjaśniania procesów i zjawisk w przyrodzie; w odniesieniu do tej lekcji oznacza to umiejętność wykorzystania wiadomości z geometrii dotyczących: własności okręgu, podobieństwa trójkątów, radialnej miary kąta, dodawania wektorów. Wymagana znajomość określenia prędkości i przyspieszenia.

II. Analiza strony internetowej: Wizualizacja sił bezwładności: Coriolisa i odśrodkowej (Visualization of the Coriolis and centrifugal forces)

<https://www.youtube.com/watch?v=49JwbrXcPjc>

III. Przetwarzanie informacji zapisanych w postaci tabel i wykresów;

IV. Budowa modeli matematycznych opisu zjawisk

V. Wykonywanie prostych doświadczeń i ich analiza

### - operacyjne:

a) zapamiętanie: Uczeń (U) zna określenie ruchu jednostajnego po okręgu, wie, co to jest okres obiegu, częstość kołowa i częstotliwość; zna związek tych wielkości z siłą dośrodkową;

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

c) stosowanie wiadomości w sytuacjach typowych (ruch pasażerów i pojazdów na zakręcie);

d) stosowanie wiadomości w sytuacjach problemowych (przyspieszenie wskutek ruchu wirowego Ziemi i jego wpływ na obserwowane przyspieszenie ziemskie).

- **wychowawcze** (umiejętność poszukiwanie informacji, zaangażowanie w zdobywanie wiedzy, uniwersalność praw przyrody, promocja zasad bezpieczeństwa, bezpieczeństwo jazdy na zakrętach).

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

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

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

### **Szczegółowy przebieg lekcji**

#### **A. Faza wstępna:**

Sprawy porządkowe

Przypomnienie potrzebnych pojęć i wiadomości z geometrii, takich jak: pojęcie wektora, w tym dodawanie wektorów, twierdzenie o równości kątów o ramionach wzajemnie prostopadłych; i z mechaniki takich jak: pojęcie toru, prędkości w ruchu jednostajnym prostoliniowym, własności rzutu poziomego i okresowego.

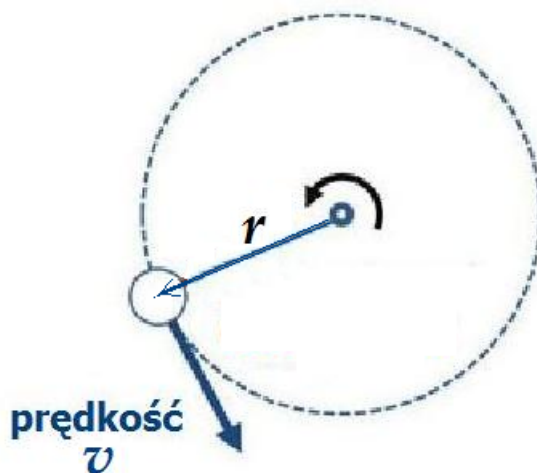
Podanie tematu i omówienie celów lekcji: **Ruch jednostajny po okręgu – kinematyka**

#### **B. Faza realizacji:**

Nauczyciel (N) przypomina, że ruch krzywoliniowy – jako rodzaj ruchu jest już znany UU z lekcji o rzucie poziomym. Rzut poziomy zachodzi po paraboli. Obecnie zajmiemy się ruchem krzywoliniowym jednostajnym zachodzącym po okręgu. Występuje w nim przyspieszenie i siła mimo stałej szybkości ruchu (wartości bezwzględnej prędkości).

## **Kinematyka ruchu jednostajnego po okręgu**

Pokaz wstępny: U przedstawia doświadczalnie ruch po okręgu ciężarka umocowanego na lince.



Rys. 1 Kinematyka ruchu po okręgu o promieniu  $r$  ze stałą szybkością  $v$ .

UU: Koło o promieniu  $r$  ma obwód  $2\pi r$ . Po okręgu ruchem jednostajnym porusza się niewielki (punktowy) przedmiot. Jeśli okres pełnego obiegu jest  $T$ , szybkość przedmiotu w ruchu po kole wynosi

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \omega r$$

Tutaj  $\omega$  oznacza prędkość kątową obiegu

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

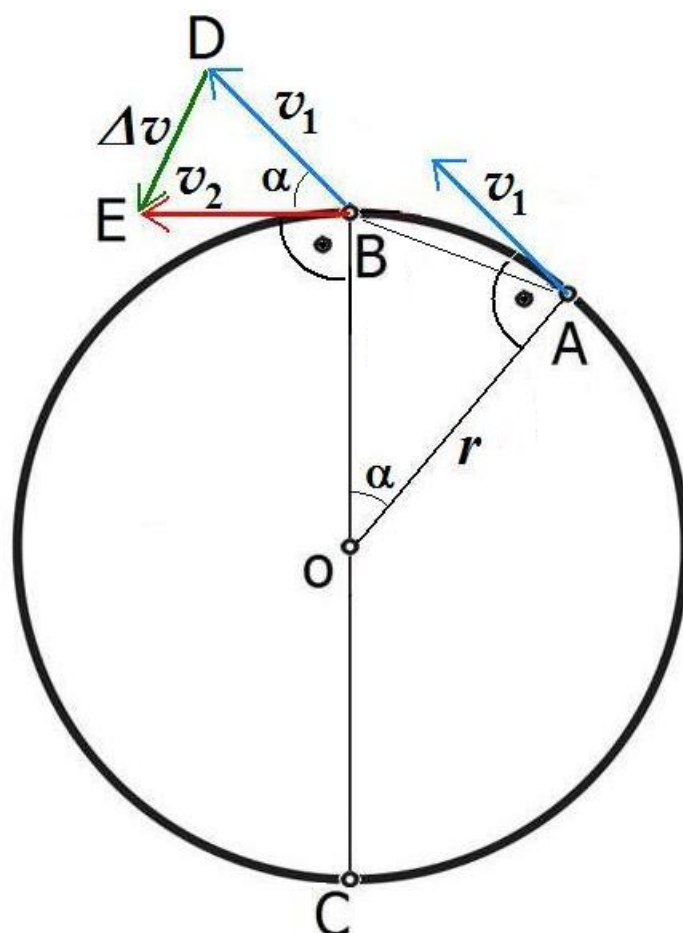
### Przyspieszenie dośrodkowe w ruchu jednostajnym po okręgu

N: Poszukujemy związku między prędkością punktu materialnego po okręgu, a przyspieszeniem koniecznym do utrzymania ruchu po okręgu.

Pamiętamy o tym, że prędkość jest wielkością wektorową, która może się zmieniać zarówno wskutek zmiany **wartości** jak i wskutek zmiany **kierunku**.

Przyspieszenie  $a$  w ruchu jednostajnym po okręgu powstaje wskutek zmiany **kierunku** prędkości ruchu.

### Wyprowadzenie wzoru na przyspieszenie dośrodkowe



Rys. 2. Kulka (punkt materialny) w ruchu po okręgu z prędkością o stałej wartości  $v$ . W początkowej chwili obserwacji kulka znajduje się w punkcie A. Po czasie  $t$  przesuwa się do punktu B. Promień wodzący  $r$  zatacza w tym czasie kąt  $\alpha$ . Cięciwa AB i łuk  $\widehat{AB}$  przy małych kątach  $\alpha$  mają praktycznie tę samą długość  $s$ . Wektor BD jest równoległy do wektora  $v$  z chwili 0 i tworzy z wektorem prędkości w chwili  $t$  kąt  $\alpha$ .

W ciągu czasu  $t$  punkt zakreśla ruchem jednostajnym łuk AB. Kąt  $\alpha$  AOB jaki tworzy promień OA z promieniem OB wynosi  $\alpha$ . Zatem prędkość kątowa

$$\omega = \frac{\alpha}{t}$$

Dwa trójkąty OAB i BDE są do siebie podobne, porównaj rys.2. Są to mianowicie, trójkąty równoramienne, zaś kąty między równymi ramionami są takie same, co wynika ze znanego z geometrii twierdzenia o równości kątów o ramionach wzajemnie prostopadłych. Z podobieństwa trójkątów OAB i BDE wynika proporcja

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{AB}{r}$$

Dla małych kątów  $\alpha$  cięciwa AB ma długość w bardzo dobrym przybliżeniu taką samą jak długość  $s$  łuku  $\widehat{AB}$ , będący drogą punktu materialnego przebytej w czasie  $t$ , to znaczy

$$AB \sim \widehat{AB} = s$$

Po podzieleniu obu stron ostatniego równania przez  $t$  i skorzystaniu z określenia przyspieszenia  $a$  jako przyrostu prędkości na jednostkę czasu i określenia prędkości  $v$  przyrostu przebytej drogi na jednostkę czasu, to znaczy

$$a = \frac{\Delta v}{t}$$

oraz

$$v = \frac{s}{t}$$

Otrzymujemy

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

Stąd

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

lub, ponieważ  $v = \omega r$ ,

$$a = \omega^2 r$$

## Podział UU na grupy

### N rozdaje karty pracy

#### **Karta pracy** grupy uczniów nr 1

Podaj określenie pojęcia „kąt” i „radian”. Podaj, ile stopni ma radian i ile radianów ma kąt pełny.

#### **Karta pracy** grupy uczniów nr 2

Oblicz prędkość kątową Ziemi w jej ruchu wirowym.

#### **Karta pracy** grupy uczniów nr 3

Oblicz przyspieszenie kątowe na powierzchni Ziemi w jej ruchu wirowym. Czy przyspieszenie to jest stałe?

**UU przystępują do wykonania zadań**

**Przedstawienie wyników pracy UU i ich ocena**

### **C. Podsumowanie i utrwalenie wiadomości:**

N - poznaliśmy nowy rodzaj ruchu – ruchu jednostajnego po okręgu oraz związanych z nim: prędkości i przyspieszenia. Ważne jest to, że przyczyną przyspieszenia jest zmiana kierunku prędkości, a nie jej wielkości. Poznaliśmy wzory matematyczne, które wiążą prędkość liniową z prędkością kątową, i wzór na przyspieszenie dośrodkowe.

### **Praca domowa.**

N zaleca UU, by obejrzeni i skomentowali filmy o występowaniu przyspieszeń i sił odśrodkowych:

Wizualizacja sił bezwładności: Coriolisa i odśrodkowej (Visualization of the Coriolis and centrifugal forces)

<https://www.youtube.com/watch?v=49JwbrXcPjc>

### **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, *Fizyka sportu*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2010.

Zeno, założyciel stoicyzmu wyjaśniał spójność kosmosu istnieniem siły dośrodkowej.

Terminu tego używał również Cyzero.

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

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

W powyższym scenariuszu podano 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.

Celowo zamieszczono nawiązano do innych przedmiotów, historii nauki i filozofii (nauczanie holistyczne).

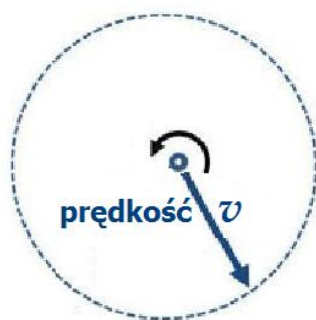
**Uwagi o realizacji lekcji:** poniżej podane są jeszcze *dwa sposoby* wprowadzenia przyspieszenia dośrodkowego. Na lekcji podajemy tylko *jeden* sposób. Inne sposoby wprowadzenia przyspieszenia dośrodkowego omawiamy na zajęciach w ramach kółka fizycznego lub podczas powtarzania materiału.

### **Inne sposoby wyprowadzenia wzoru na przyspieszenie dośrodkowe:**

#### **Sposób drugi wyprowadzenia wzoru na przyspieszenie dośrodkowe**

Do tego samego wyniku można dojść znacznie szybciej, jednak w sposób nieco abstrakcyjny. W czasie ruchu po okręgu prędkość zmienia w sposób ciągły swój kierunek, przechodzi wszystkie możliwe kierunki i po okresie  $T$  wraca do położenia pierwotnego.

Jeśli odłożymy początki wektorów prędkości z różnych chwil we wspólnym punkcie, zobaczymy, że w ciągu okresu  $T$  wektor prędkości zakreśla okrąg o promieniu  $v$ . Wektor prędkości dokonuje (w przestrzeni prędkości) pełny obrót podczas okresu  $T$ . Taki sam okres  $T$  potrzebny jest przedmiotowi na pełny obrót w przestrzeni położeń., por. rys. 3.

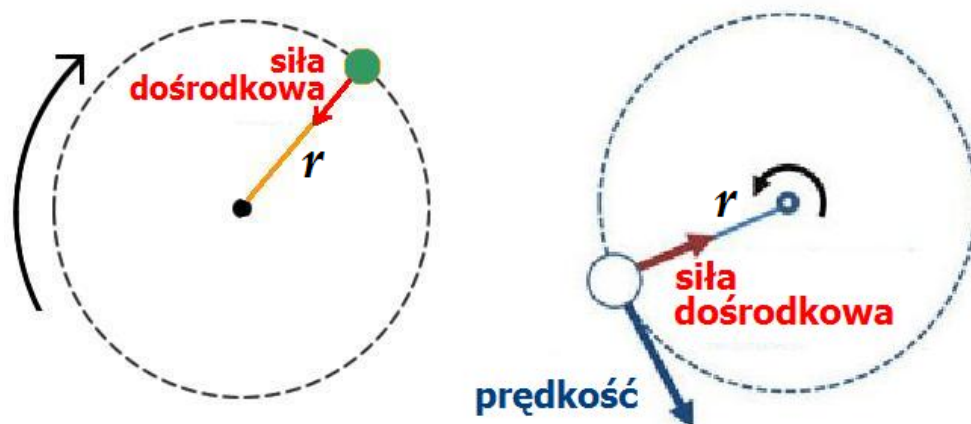


Rys. 3 Zmiana wektora prędkości (tzn. jego kierunku) w ciągu okresu  $T$  w przestrzeni prędkości.

W przestrzeni prędkości w ciągu okresu  $T$  koniec wektora  $\mathbf{v}$  zakreśla łuk (pełny okrąg) o długości  $2\pi v$ . W związku z tym przyspieszenie wynosi

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

Przyspieszenie  $a$  skierowane jest wzdłuż promienia  $R$ , do środka koła, dzięki istnieniu tak zwanych „wiązów”, na przykład nitki, sznura lub pręta.



Rys. 4 Dynamika w ruchu po okręgu o promieniu  $r$

### Sposób trzeci na wyprowadzenie wzoru na przyspieszenie dośrodkowe

Z rys. 5 widać, że podczas ruchu po okręgu ciało uczestniczy w dwu ruchach.

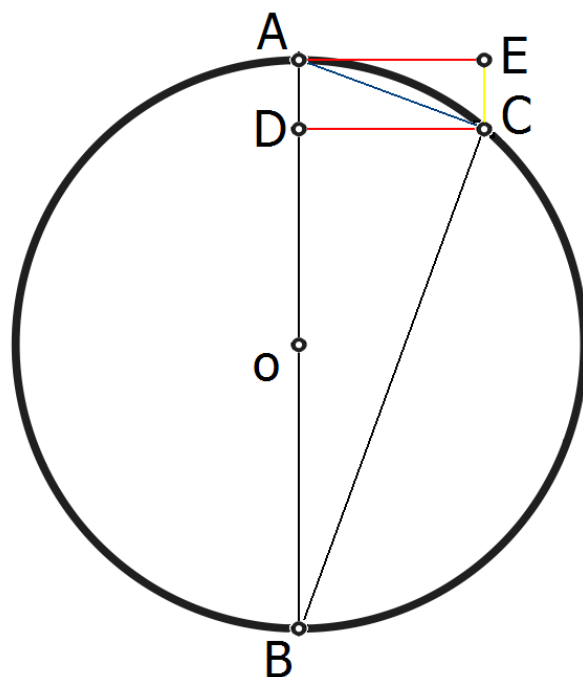
Ruch w kierunku AE jest ruchem jednostajnym,  $AE = v_0 t$

Ruch w kierunku AD jest ruchem jednostajnie przyspieszonym – siła wzdłuż promienia skierowuje ciało do środka okręgu,  $AD = \frac{1}{2} a t^2$

Dla małych czasów  $t$  cięciwa  $AC$  i łuk  $AC$  są w bardzo dobrym przybliżeniu sobie równe.

Tak więc możemy napisać, że cięciwa  $AC = v t$





Rys. 5 Podczas ruchu po okręgu ciało uczestniczy w dwu ruchach

Lecz trójkąt ADC jest podobny do trójkąta ABC, ze względu na kąty o ramionach wzajemnie prostopadłych. Mamy

$$\frac{AD}{AC} = \frac{AC}{AB}$$

Lecz jeśli promień okręgu wynosi  $r$ , to  $AB = 2r$

Zatem

$$\frac{\frac{1}{2} a t^2}{v t} = \frac{v t}{2 r}$$

Stąd

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