LPD 31 De leerlingen beschrijven de cirkelvormige beweging in bewegings- en sportsituaties.

- ✓ Volgende begrippen kan je aan bod brengen:
  - baan- of omtreksnelheid;
  - periode;
  - frequentie;
  - hoeksnelheid;
  - centripetale kracht en centripetale versnelling.

- ✓ Ook bewegingen langs een deel van een cirkel kan je hier aan bod brengen (bv. nemen van bochten) waarbij je de grootte van de snelheid als constant beschouwt.

  De centripetale kracht die nodig is om in de cirkelbeweging te blijven wordt geleverd door de wrijvingskracht van het wegdek op de banden van een wagen die een bocht neemt.

- ✓ Het verschil tussen baan- en hoeksnelheid kan je illustreren via de verschillende tandwielen vooraan en achteraan bij een racefiets. Het verzet van een fiets (bv. 52x13) kan hier ter sprake komen.

- ✓ g-krachten in bv. formule-1 races kunnen aan bod komen.

De eenparig cirkelvormige beweging (ECB): definities

Definitie

Eerder hebben we de ERB behandeld. Een ERB is een beweging met constante snelheid op een rechte baan.

Een ECB = een beweging met constante snelheid op een cirkelvormige baan.£

Voorbeelden: reuzenrad, draaimolen op de kermis, pedalen van een fiets, een draaiend wiel, een keitje rondslingeren aan een touw, de aarde rond de zon, …

Periode

De periode van een ECB = de tijd nodig om een volledige cirkelomtrek af te leggen.

Symbool: *T* Eenheid: [*T*] = s (seconde)

Voorbeelden:
- de secondewijzer van een klok: T = 60 s
- de minuutwijzer van een klok: *T* = 60 min = 3600 s
- de uurwijzer van een klok: *T* = 12 h = 43200 s
- het wiel van een fietser die aan 20 km/h: *T* = 20 km/h
- de beweging van de aarde om haar eigen as: *T* = 24 h
- de beweging van de aarde om de zon: *T* = 365,25 d

Frequentie

De frequentie bij een ECB = het aantal cirkelomtrekken afgelegd per seconder

Symbool: *f* Eenheid: [*f*] = 1/s = Hz (hertz)

Voorbeelden:
- we slingeren een keitje rond aan een touw en meten 60 toeren in 15,0 s
 => *f* = 60/15,0 = 4,00 Hz
- in een elektriciteitscentrale zorgt men er voor dat de stoomturbine 3000 t doet in 1 minuut => *f* = 3000/60 = 50 Hz
- een wielrenner doet 100 omwentelingen in 1 minuut => *f* = 100/60 = 1,67 Hz
- de motor van een auto draait met een toerental van 2000 toeren per minuut
=> *f* = 2000/60 = 33,33 Hz

Verband tussen periode en frequentie

T = 1/f of ***f = 1/T***

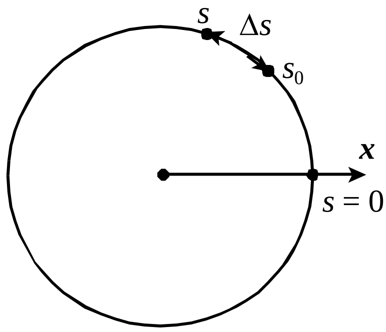
Voorbeelden:

Een ECB met een periode *T* = 4 s
=> er is 4 s nodig voor 1 cirkelomtrek
=> in 1 s leg je een 1/4 van de cirkelomtrek af
=> *f* = 1/4 Hz

Een ECB met een frequentie van 3 Hz
=> in 1 s leg je 3 cirkelomtrekken af
=> 1 cirkelomtrek duurt 1/3 s
=> *T* = 1/3 s

Omtreksnelheid en hoeksnelheid

Omtreksnelheid



De omtreksnelheid is de snelheid *v* die we al kennen van bij de ERB. Het is de afstand gedeeld door de tijd.

Bij een ERB geven we de positie weer met de x-coördinaat. Bij een kromme baan hebben we de gewoonte de positie weer te geven met de **baancoördinaat** *s*.

We definiëren daarom de omtreksnelheid v van een E.C.B als de verandering van de baancoördinaat (afgelegde weg) per tijdseenheid.

Definitie : $v = \dfrac{\Delta s}{\Delta t}$ met [v] = $\dfrac{\text{m}}{\text{s}}$

Hieruit kunnen we een **praktische formule** halen voor de omtreksnelheid *v*, als de straal *r* en de periode *T* (of de frequentie *f*) gegeven zijn.

Als $\Delta t = T \quad \Rightarrow \quad \Delta s$ = de cirkelomtrek = $2\pi \cdot r$

We vullen dit in, in de definitie van de omtreksnelheid :

Uit $v = \dfrac{\Delta s}{\Delta t}$ volgt dat $v = \dfrac{2\pi \cdot r}{T}$ of $v = 2\pi \cdot r \cdot f$

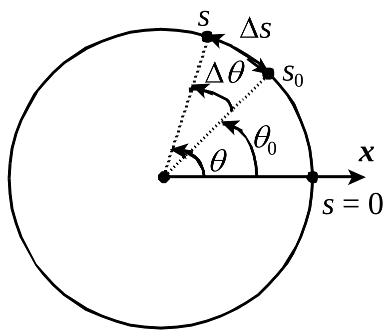
Hoeksnelheid

De twee meisjes in de rups op de kermis hebben een verschillende omtreksnelheid. Het meisje in het wit legt een grotere cirkel af dan het meisje in het zwart. Daarom is haar omtreksnelheid groter.

Beide meisjes leggen echter wel telkens één toer af in dezelfde tijd. Daarom maken we ook gebruik van de hoeksnelheid.

Waar de omtreksnelheid neerkomt op de afstand gedeeld door de tijd, is de hoeksnelheid de hoek die is afgelegd gedeeld door de tijd.

<u>Definitie</u> : $\omega = \dfrac{\Delta\theta}{\Delta t}$ met [ω] = $\dfrac{\text{rad}}{\text{s}}$



Lees : ω = omega

Uit deze definitie kunnen we een <u>praktische formule</u> halen voor de hoeksnelheid ω, als de periode T (of de frequentie f) gegeven is.

Als $\Delta t = T$ $\Rightarrow$ $\Delta\theta = 2\pi$ rad

We vullen dit nu in in de definitie van de hoeksnelheid :

Uit $\omega = \dfrac{\Delta\theta}{\Delta t}$ volgt dat $v = \dfrac{2\pi}{T}$ of $v = 2\pi \cdot f$

<u>Verband tussen omtreksnelheid en hoeksnelheid</u>

Dit verband kan het gemakkelijkst worden afgeleid via de praktische formules van de omtreksnelheid en de hoeksnelheid.

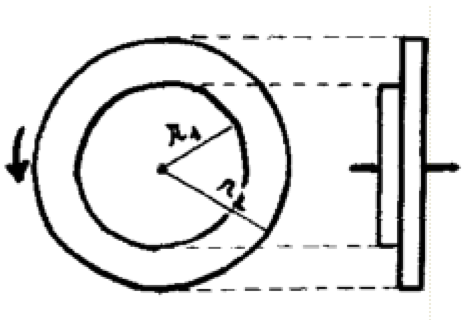
$v = 2\pi \cdot r \cdot f$

$\Rightarrow$ $v = \omega \cdot r$

$\omega = 2\pi \cdot f$

<u>Omtrek- en hoeksnelheid in de praktijk</u>

* Wielen (meestal tandwielen), die vast aan elkaar bevestigd zijn, op eenzelfde as hebben dezelfde hoeksnelheid.



$\omega_1 = \omega_2$

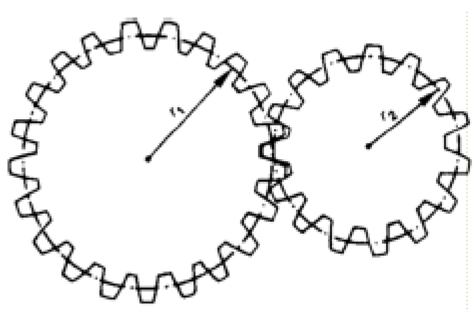
$v_1 < v_2$

Voorbeeld? De tandwielen voor en achteraan een racefiets of een MTB

* Tandwielen die op elkaar inwerken hebben dezelfde omtreksnelheid.

$v_1 = v_2$

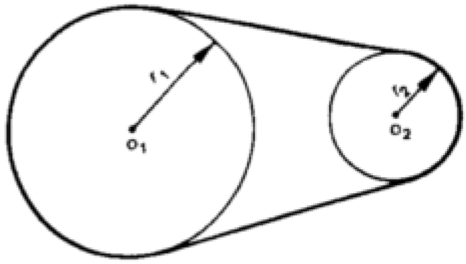
$\omega_1 < \omega_2$



* Wielen (of tandwielen) met elkaar verbonden door een aandrijfriem (of een ketting) hebben dezelfde omtreksnelheid

$v_1 = v_2$

$\omega_1 < \omega_2$

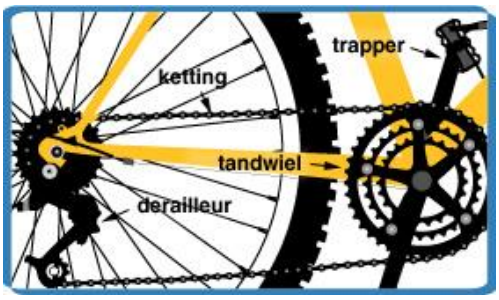


Bv. versnelling van een fiets: 52 x 13. Dit wil zeggen dat met één volledige omwenteling van je pedalen, het achterwiel 4 toeren doet.

Dit is een voorbeeld van een “groot verzet”.
Het verzet is de afstand die je aflegt bij één omwenteling van de pedalen.

Standaardwielen hebben een omtrek van 2,33 m.
Bij een 52 x 13 heb je dus een verzet van 2,33 x 4 = 9,32 m.
Een dergelijk verzet krijgt zelfs een getrainde wielertoerist maar rond op het vlakke en bij windstil weer.

<u>Oefening</u>:



Ik heb een mountainbike met 21 versnellingen.
Zo kan ik op vakantie in de Ardennen de steilste hellingen in het bos oprijden. Om aan die 21 versnellingen te komen heeft mijn mountainbike vooraan 3 tandwielen en achteraan 7 tandwielen.
De 3 grote tandwielen vooraan hebben respectievelijk 42-48-54 tanden. De 7 kleine tandwielen achteraan hebben respectievelijk 13-15-17-19-21-23-25 tanden.

a) Aangekomen in de Ardennen rijd ik eerst vanuit mijn hotel naar het bos. Zolang ik op de weg rijd kies is voor de middelste versnelling. Dat is de 48 x 19.
Bereken met welk verzet ik rijd, als de omtrek van het achterwiel 2,33 m is.
verzet = 2,33 m x (48/19) = 5,89 m

b) Aangekomen bij het bos moet ik een zeer steile helling op. Ik kies voor mijn kleinste verzet. Welke combinatie van tandwielen kies ik daarvoor? 42 x 25

c) Welke combinatie ik ook kies, steeds heeft het kamwiel vooraan (1) meer tanden als het kamwiel achteraan (2). Kruis de juiste combinatie aan (zonder verklaring).
O $v_1 = v_2$ en $\omega_1 < \omega_2$ → juiste combinatie
O $v_1 = v_2$ en $\omega_1 > \omega_2$
O $v_1 > v_2$ en $\omega_1 = \omega_2$
O $v_1 < v_2$ en $\omega_1 = \omega_2$

Oefeningen (verdieping)

http://www.natuurkunde.nl/opdrachten/743/fietsverzet-havo12-2002-i

http://www.natuurkunde.nl/opdrachten/755/fietsverzet-havo1-2002-i

Centripetale kracht

Daar in het leerplan NW voor de DA-finaliteit bij LPD 24 (p. 29-30) er geen sprake is van de versnelling, is hieronder gekozen enkel in te gaan op de centripetale kracht en niet op de centripetale versnelling.

LPD 24 De leerlingen beredeneren het kwalitatief verband tussen de bewegingstoestand en evenwicht van krachten.

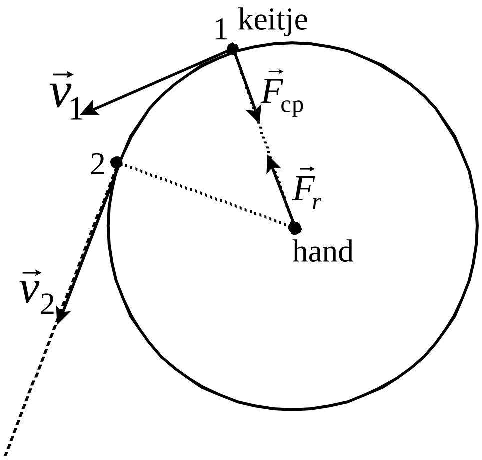
★ Snelheid als vectoriële grootheid

Tekenen van krachten die inwerken op een lichaam als vectoren, krachtensom in één dimensie

Tweede wet van Newton: dynamische effecten van een resulterende kracht: versnellen, vertragen, van richting veranderen

✓ Je kan de invloed van de massa aangeven op de verandering van de snelheid bij een gegeven kracht.

We zwieren een keitje eenparig cirkelvormig wordt rond aan een touwtje. We bekijken een bovenaanzicht en duiden de snelheidsvector aan in twee posities 1 en 2, die niet al te ver uiteen liggen.



– De snelheid $\vec{v}$ verandert voortdurend van richting.
Dit kan maar doordat we voortdurend een kracht met onze hand naar binnen uitoefenen.
Deze kracht noemen we de **centripetale kracht** $\vec{F}_{cp}$ Men spreekt ook soms van de **middelpuntzoekende** kracht. Deze kracht wordt uitgeoefend door de hand via het touwtje op het keitje.
Dit is aangegeven op de figuur in punt 1.

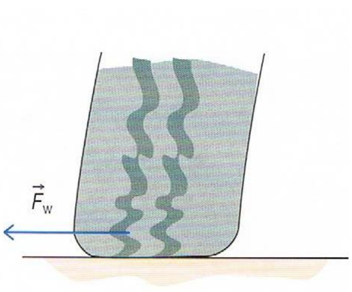
– Op onze hand voelen we nu ook een even grote kracht naar buiten. Deze kracht noemen we de reactiekracht $\vec{F}_r$.
Die reactiekracht wordt uitgeoefend door het keitje via het touw op de hand.

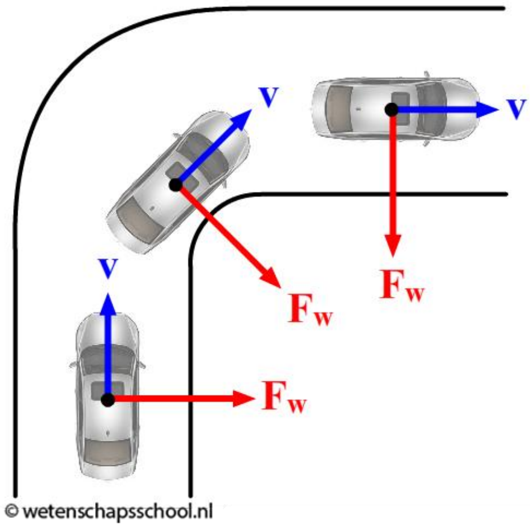
– Breekt nu het touw of laten we het los, dan verkrijgen we een E.R.B., als gevolg van de traagheidswet.
De centripetale kracht op het keitje (en ook zijn reactiekracht op de hand) zijn dan immers weggevallen.
(Dit is aangeduid op de figuur in het punt 2 door een streepjeslijn.)

Opmerking 1 :

De centripetale kracht is geen nieuw soort kracht zoals spierkracht, zwaartekracht, veerkracht, magnetische kracht, ... Het woord centripetaal wijst enkel op de richting en de zin van de kracht die nodig is om een voorwerp in een cirkelbaan te houden.

– In bovenstaand voorbeeld wordt de centripetale kracht bv. uitgeoefend door de spierkracht.
– Bij de omwenteling van de aarde rond de zon wordt de centripetale kracht die nodig is om de aarde in zijn baan rond de zon te houden, geleverd door de zwaartekracht van de zon op de aarde.
– Bij een auto die een bocht neemt wordt de benodigde centripetale kracht om in de bocht te blijven uitgeoefend door de wrijvingskracht F_w van het wegdek op het rubber van de banden.





Opmerking 2 :

In het dagelijks leven spreekt men soms centrifugaal krachten of de middelpuntvliedende kracht. Dit is fout. Er is geen kracht naar buiten. Verdwijnt de centripetale kracht, dan voldoet het voorwerp aan de traagheidswet en beweegt het volgens de raaklijn aan de cirkel op dat moment.

De benodigde centripetale kracht om in de cirkel te blijven wordt geleverd door:
- de spierkracht bij een keitje dat we aan een touw rondslingeren
- de wand van het mandje in een slazwierder
- door de zwaartekracht van de zon bij de omwenteling van de aarde om de zon

Stel dat je de passagier bent in een auto, die een korte snelle bocht naar links maakt. Je wordt met je rechterschouder tegen de deur gedrukt. Dit komt omdat je lichaam verder vooruit wil bewegen als gevolg van de traagheidswet. Er is geen kracht naar buiten. Er is immers een kracht naar binnen van de deur op je rechterschouder die je in de cirkelbaan (de bocht) houdt.

Verdieping bij krachten in de bocht :

We kunnen de grootte van de centripetale kracht berekenen met de formule:

$$F_{cp} = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

Wat kan je uit formule afleiden?

- $F_{cp} \sim m$: hoe zwaarder het voertuig hoe meer centripetale kracht er nodig is om in de bocht te blijven. Een zwaarder voertuig zal dus eerder uit de bocht gaan dan een lichter voertuig.

- $F_{cp} \sim v^2$: hoe groter de snelheid hoe meer centripetale kracht er nodig is om in de bocht te blijven. Daarenboven staat v nog in het kwadraat. Een dubbel zo grote snelheid, betekent dus dat je een 4 keer zo grote centripetale kracht en dus wrijvingskracht nodig hebt om in de bocht te blijven. Matig dus je snelheid bij het nemen van een bocht.

- $F_{cp} \sim 1/r$: hoe korter een bocht is, hoe kleiner de straal r. Daar r in de noemer staat, zal bij een korte bocht meer centripetale kracht en dus meer wrijvingskracht nodig zijn om in de bocht te blijven. Bij het nemen van een korte bocht is de kans dus groter dat je uit de bocht gaat. Dus ook hier snelheid milderen.

g- krachten (verdieping)

Stel een Formule-I-wagen van 850 kg die met een snelheid van 40,0 m/s (= 144 km/h) een bocht met een straal van 45,0 m neemt. We berekenen de nodige centripetale kracht om in de bocht te blijven.

$F_{cp} = m \cdot v^2 / r = 850 \cdot 20{,}0^2 \ / \ 45{,}0 = 30222 \text{ N} = 30{,}2 \text{ kN}$

We vergelijken deze centripetale kracht met de zwaartekracht:

$F_z = m \cdot g = 850 \cdot 9{,}81 = 8328 \text{ N} = 8{,}33 \text{ kN}$

door F_{cp} te delen door F_z: 30,2 kN / 8,33 kN = 3,63

Daarom zeggen we dat die wagen in die bocht een **g-kracht** ondervindt van **3,63.**

Een g-kracht is dus geen nieuw soort kracht, maar betekent dat we krachten die optreden bij bochten (en ook bij versnellingen) gaan vergelijken met de zwaartekracht.
Formule I-piloten moeten daarom in goede fysieke conditie zijn en o.a. oefeningen

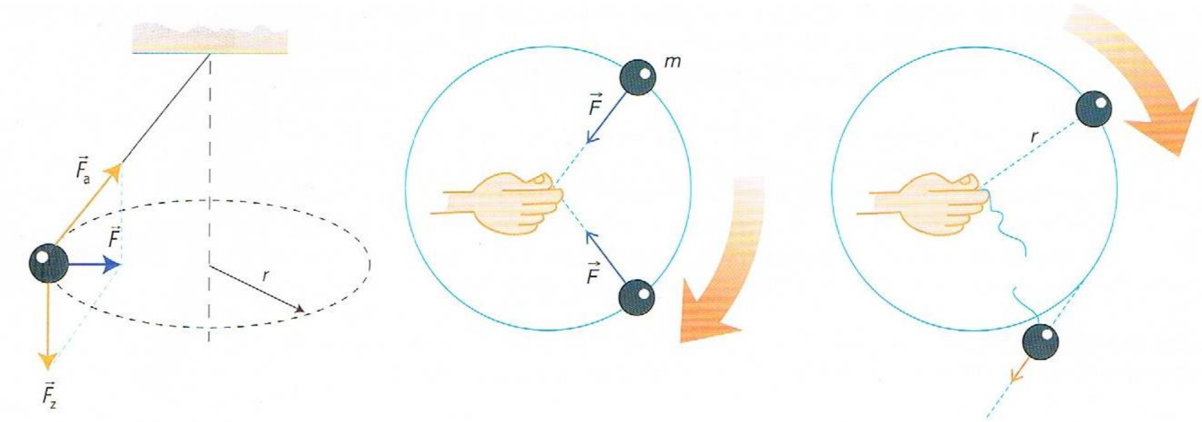
doen om de nekspieren te versterken om te kunnen weerstand aan de grote g-krachten die hun lichaam ondervindt.

Natuurkunde.nl - Hoeveel G kan de nek van Max Verstappen aan?

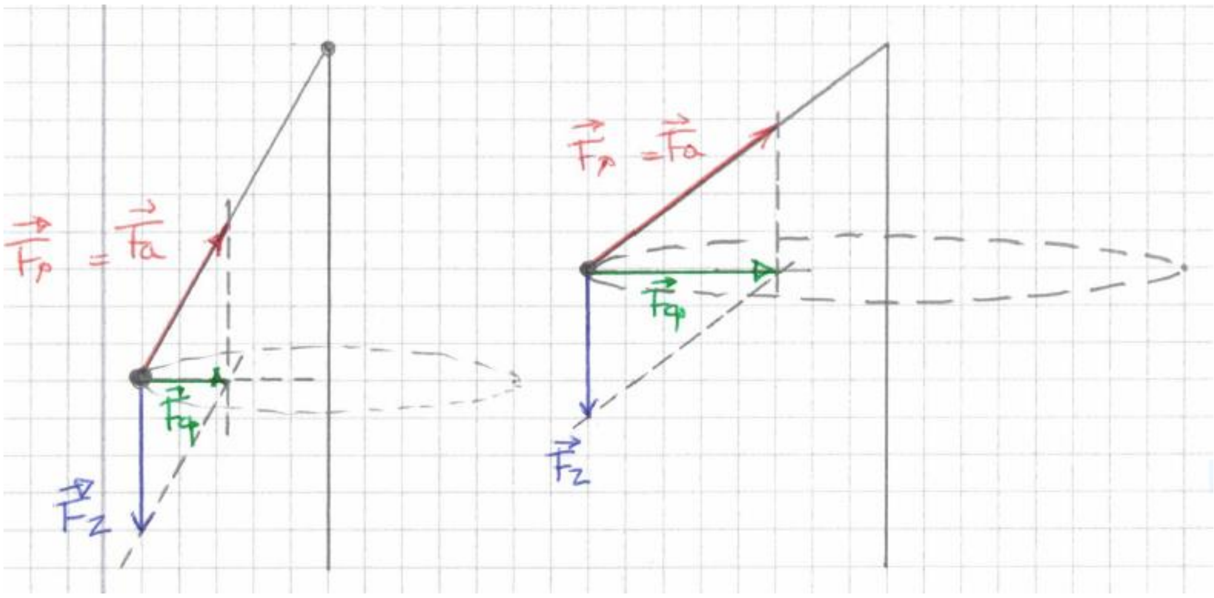
De g-krachten die de piloten ondervinden kunnen tot 5·g gaan. Bij 9·g kan je bewusteloos geraken doordat je bloed wegtrekt uit je hersenen en 14·g is dodelijk. g-krachten treden ook op bij versnellen en vertragen (remmen), zoals je ziet links op deze video.

Hamerslingeren (verdieping)

De benodigde centripetale kracht wordt hier geleverd door de resultante van de kracht van de atleet F_a (je kan dit ook de spankracht F_s noemen) en de zwaartekracht F_z.
Hoe sneller de kogel beweegt hoe meer kracht de atleet moet uitoefenen.
Als de atleet loslaat, dan vliegt de kogel weg, rakend aan de cirkel (1ste wet van Newton).



Hoe sneller je de kogel rondslingert, hoe hoger hij komt en hoe groter de benodigde centripetale kracht moet zijn. Je ziet dit in onderstaande constructies. Bij de rechterfiguur is de snelheid groter dan bij de linker figuur.



$\vec{F_p} = \vec{F_a}$
$\vec{F_q}$
$\vec{F_Z}$
$\vec{F_p} = \vec{F_a}$
$\vec{F_q}$
$\vec{F_Z}$

Toepassingen ECB in SPORT en BEWEGING

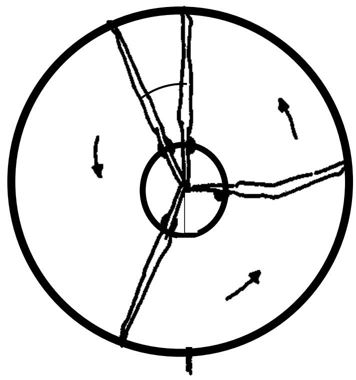
1. Vraagstukken

a. Een hamer aan een ketting wordt door een atleet 4,0 maal rondgedraaid in 2,4 s. De beschreven cirkel heeft een straal van 1,7 m.
Bereken de hoek- en de baansnelheid van de hamer, zijn periode en frequentie en de afgelegde weg.

b. Een fietser met een massa van 60,2 kg neemt een bocht met een straal van 40,3 m. De grootte van zijn snelheid bedraagt 25,0 km/h.
   a. Hoe groot is de centripetale kracht die op hem inwerkt?
   b. Welke kracht zorgt voor deze middelpuntzoekende kracht?

c. Als voorbereiding op de afsprong bouwt Nina snelheid op tijdens 5 opeenvolgende reuzendraaien. Ze doet dit in 3,0 s. Haar voeten draaien in een straal van 2,40 m rond de rekstok, het puntje van haar neus in een straal van 55 cm.

   Bereken de (gemiddelde) periode, frequentie, hoeksnelheid, baansnelheid en de afgelegde weg, telkens van zowel haar voeten als haar neus.



Figuur 1: reuzendraai

d. Een roeier (categorie: skiff) van 1,90m voert een slagbeweging uit. Hij trekt de roeiriem door het water in 0,50 s. De riem maakt in de trekfase een cirkelvormige beweging van 2,2 rad groot. De riem is 1,85 m lang, waarvan 0,40 m zich binnen en 1,45 m zich buiten het draaipunt van de riem bevindt. Het blad van de riem is 0,45 m lang.

a. Maak een tekening van de gegevens.
b. Bereken de periode, frequentie, hoek- en de baansnelheid van de basis en van de top van het riemblad.

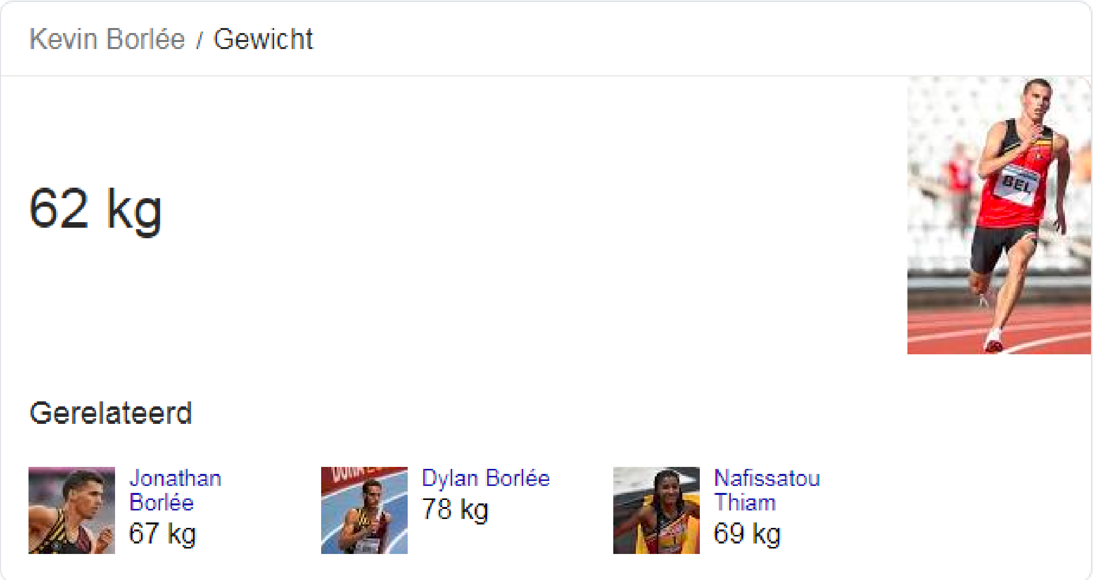
e. Tijdens de eindspurt gaat Alexander Kristoff tegen 70,0 km/u over de finishlijn.
De diameter van zijn wiel bedraagt 68 cm. Bereken:
   a. Zijn baansnelheid in m/s
   b. De hoeksnelheid van een punt op het voorwiel.
   c. De periode van het voorwiel.
   d. De frequentie van het voorwiel.

f. Om astronauten te doen wennen aan de grote versnellingen en krachten waar ze tijdens hun ruimtevlucht aan onderworpen worden, krijgen ze training in een centrifuge. Dat is een rotor die bestaat uit een ronddraaiende arm waaraan een cabine bevestigd is.

   a. Welke versnelling ondergaat een astronaut in zo een centrifuge met een straal van 6,0 m als die 24 toeren per minuut draait?
   b. Hoe groot is de middelpuntzoekende kracht die tegen de astronaut drukt als zijn massa 72 kg is?
   c. Indien het lichaam van de ruimtevaarder een versnelling tot "$10 \cdot g$" kan verdragen (met $g = 9{,}81\ m/s^2$ = valversnelling), wat is dan de toegelaten maximale snelheid, en het maximale toegelaten toerental? Een hogere versnelling kan leiden tot bewustzijnsverlies.

g. Kevin Borlée (m = 62,0 kg) spurt 3 maal een bocht aan dezelfde snelheid (v = 10,0 m/s). De 1ste maal loopt hij in baan 1 (de binnenbaan, r_1 = 40,0 m), de 2de maal in baan 5 (r_5 = 44,0 m) en de laatste maal in baan 9 (de buitenbaan, r_9 = 48,0 m).

   a. Bereken voor elk van de drie gevallen de grootte van de centripetale kracht die de atleet gedurende de hele bocht moet leveren.
   b. Atletiek: is spurten in de binnenbaan nadelig ten opzichte van een meer laterale baan? Waarom wel/niet?



h. Een renner rijdt op een kamwiel van 55 tanden en een rondsel van 11 tanden. De diameter van zijn wiel bedraagt 68 cm. Hij trapt aan een frequentie van 2,0 Hz. Bereken:
   a. zijn verzet (meer info: zie verder)
   b. de frequentie, de periode en de hoeksnelheid van zijn voorste en van zijn achterste tandwiel
   c. de baansnelheid van de fiets
   d. hoeveel meter hij aflegt op 8,0 seconden

g. Tijdens een bokswedstrijd verkoopt Mike Tyson zijn tegenstander een ferme klap. Daarbij strekt hij zijn elleboog met een hoeksnelheid van 20 rad/s. Het lichaamsdeel voorarm-vuist heeft een lengte van 35 cm. Bereken
   a. de baansnelheid van de vuist in m/s,
   b. de baansnelheid van de vuist in km/u,
   c. de afgelegde weg bij een elleboogstrekking van 90 graden,
   d. de periode van de vuist,
   e. de frequentie van de vuist.

Tandwielen, wielrennen en cirkelvormige beweging

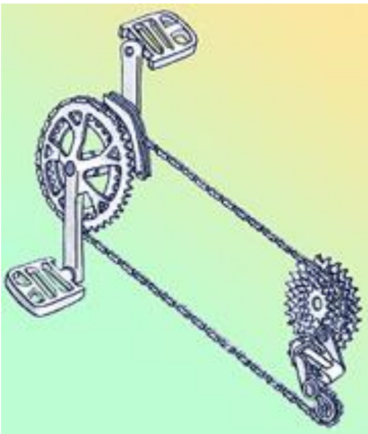
De derailleur van een fiets

Anatomie van het versnellingsapparaat.

Een klassieke, mechanische fiets wordt aangedreven via een systeem van tandwielen die verbonden zijn met een ketting. De tandwielen vooraan noemt men '**kamwielen'**, die achteraan '**rondsels'**. De kamwielen zijn groter en bevatten meer tanden dan de rondsels. De ketting wordt verplaatst van tandrad via een versnellingsapparaat. Wanneer de pedalen één omwenteling maken, doet het kamwiel dat ook.

De overbrengingsverhouding.

De combinatie van het aantal tanden vooraan en achteraan bepaalt hoe vaak het achterwiel ronddraait per pedaalomwenteling. Men noemt dit de overbrengingsverhouding of het 'verzet' van een fiets. Je berekent de overbrengingsverhouding als volgt:



$$verzet = \frac{aantal \tan den\ kamwiel}{aantal \tan den\ rondsel}$$

Heeft het rondsel 10 tanden en het kamrad 40, dan bedraagt het verzet 40/10 of 4/1 wat wordt geschreven als 4:1. Dat is een groot verzet, waarbij het rondsel, en dus ook het achterwiel !, 4 keer zo snel draait als je kamwiel, maar met slechts een kwart van de trapkracht.

Op vlak terrein of bergafwaarts kies je meestal een groot verzet: een groot kamwiel en een klein rondsel. Zo kan je aan een lage trapfrequentie een grote snelheid halen. Bij beklimmingen schakel je over naar een kleiner kamwiel en een groot rondsel (= een klein verzet).

Vragen naar de basiskennis over de fiets en haar aandrijving.

Een fietser rijdt op een kamwiel van 50 tanden en een rondsel van 15 tanden. Omcirkel in onderstaande zinnen al wat juist is.

- Als het achterwiel één omwenteling maakt, maakt het voorwiel minder dan één / exact één / meer dan één omwenteling.

- Als de pedalen één omwenteling maken,
  - maakt het kamwiel minder dan één / precies één / meer dan één omwenteling.
  - maakt het rondsel minder dan één / precies één / meer dan één omwenteling.

- Als het rondsel één omwenteling maakt,
  - maakt het voorwiel minder dan één / precies één / meer dan één omwenteling.
  - maakt het achterwiel minder dan één / precies één / meer dan één omwenteling.

- De hoeksnelheid van het kettingdragende kamwiel, is kleiner / even groot / groter dan die van het kettingdragende rondsel.

- De baansnelheid van het kettingdragende kamwiel is kleiner / even groot / groter als die van het kettingdragende rondsel.

- Als de tandwielverhouding of het ‘verzet’ 4:1 is, betekent dat concreet dat
  - per pedaaltrap het kamwiel en het rondsel evenveel omwentelingen maken
  - per pedaaltrap het kamwiel 4x meer toeren draait dan het rondsel
  - per pedaaltrap het rondsel 4x meer toeren draait dan het kamwiel
  - soms het kamwiel en soms het rondsel 4x meer toeren draait dan het andere tandwiel

Opdracht.

1. Bekijk jouw fiets.
   a. Hoeveel tandwielen zitten op de trapas?
   b. Hoeveel tandwielen zitten op de achteras?
   c. Hoeveel versnellingen heeft jou fiets dus?
2. Stel dat je op jouw fiets op het grootste verzet zet.
   a. Hoeveel tanden heeft het betreffende rondsel en het betreffende kamwiel?
   b. Hoe groot is dat verzet?
   c. Hoeveel keren draait het achterwiel rond als je de pedalen één maal rond trapt?

d. Hoe groot is de kracht op het achterwiel in vergelijking tot de trapkracht?

3. Stel dat je op jou fiets het kleinste verzet op zet.
   a. Hoeveel tanden heeft het betreffende rondsel en het betreffende kamwiel?
   b. Hoe groot is dat verzet?
   c. Hoeveel draait het achterwiel rond als je de pedalen één maal rond trapt?
   d. Hoe groot is de kracht op het achterwiel in vergelijking tot de trapkracht?

TEST JE KENNIS

- Definieer volgende begrippen (al dan niet in eigen woorden).
  Noteer waar mogelijk het symbool en de eenheid.
    - translatie,
    - rotatie,
    - gemengde beweging,
    - periode,
    - frequentie,
    - baansnelheid,
    - hoeksnelheid,
    - centripetale versnelling,
    - centripetale kracht,
    - eenparig cirkelvormige beweging.

- Je kent de relatie tussen baansnelheid en hoeksnelheid en kan die toepassen.
    - Welke formule geeft de relatie weer tussen baan- en hoeksnelheid?
    - Leg deze formule uit in woorden.
    - Leg deze formule uit aan de hand van een concreet voorbeeld uit de sport.
    - Een turner maakt een salto. Hij draait teveel door en dreigt op zijn gezicht te vallen. Wat moet hij doen om toch correct te landen? Leg vanuit de juiste formule uit waarom hij dit moet doen.
    - Wanneer de baansnelheid constant is, dan is de hoeksnelheid ……………………………. met de straal van de cirkelvormige beweging. Wanneer de straal constant is, dan is de ………………… ……………… evenredig met de ………………… van de cirkelvormige beweging. Wanneer de hoeksnelheid constant is, dan is de ………………… ……………… evenredig met de ………………… van de cirkelvormige beweging.

- Je ziet in dat bij een E.C.B. een versnelling hoort met richting volgens de straal en met zin naar het middelpunt toe.
    - Is het mogelijk om een cirkelvormige beweging te maken zonder dat er een centripetale versnelling is? Waarom wel/niet?
    - Een tennisbal aan een touw wordt rondgeslingerd in een E.C.B.
        - Teken de inwerkende krachten.
        - Moet de centripetale versnelling altijd naar het middelpunt van de cirkel gericht zijn? Waarom wel/niet. Toon aan de hand van je tekening van de krachtvectoren.

- Je kent de relatie tussen de baansnelheid en de centripetale versnelling.
    - Het startschot van een wedstrijd 200m spurt wordt gegeven. Na 20 meter bevindt de atleet in baan 1 zich op gelijke hoogte van de spurter in baan 3. Vervolgens lopen ze 40 meter zij aan zij. Na 60 meter loopt de spurter in baan 3 uit op die in baan 1. Vergelijk de baansnelheid en de centripetale

    versnelling van beide atleten in de 3 beschreven fasen van de spurt.
  - Twee voorwerpen draaien volgens een E.C.B. Voorwerp A draait aan een kleinere baansnelheid, voorwerp B aan een grotere. Wat weet je dan over de centripetale versnelling van beide voorwerpen (1) als de beide stralen identiek zijn, (2) als de straal van voorwerp 1 veel kleiner is dan die van voorwerp 2, en (3)) als de straal van voorwerp 1 veel groter is dan die van voorwerp 2?
  - Teken de bijbehorende a_{CP} op onderstaande tekening.
    Teken de bijbehorende v op onderstaande tekening.

- Je ziet in dat een middelpuntzoekende kracht vereist is om een E.C.B. in stand te houden.
  - Eens een voorwerp zich in een cirkelvormige baan bevindt, valt de centripetale kracht weg. Klopt deze stelling? Waarom wel/niet?
  - Atletiek – 200m spurt. Welke baan vanuit het oogpunt van de fysica het gunstigst en het minst gunstig? Leg uit.
  - Een fietser trapt de pedalen van de fiets rond. Wordt hier een F_{CP} geleverd? Indien wel, wie of wat levert die kracht? Indien niet, waarom niet?

- Je hebt basiskennis van tandwielen en kan rekenoefeningen oplossen.
  - Zie multiple choice-vragen in de cursus.
  - Zie rekenvragen in de cursus.

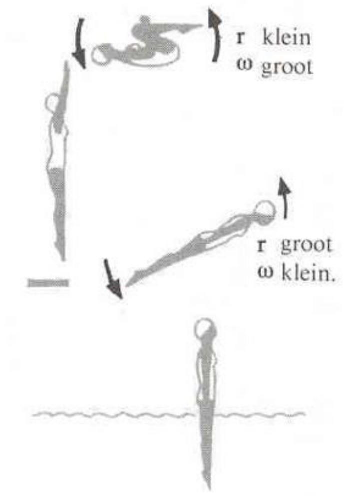
- Rekenvraagstukken over T, f, ω, v, a_{CP} en F_{CP} (zie cursus). Je werkt volgens het sjabloon gegeven, gevraagd, oplossing en antwoord. Je hanteert de SI-eenheden en de regels inzake afronding en beduidende cijfers.

- Je kan gegevens en meetresultaten grafisch voorstellen (bv. op een x-y-assenstelsel).
  - Tijdens de zesdaagse van Gent rijdt een fietser vier ronden op de piste. Hij vertrekt op t = 0 s. Hij overschrijdt de eindlijn op volgende tijdstippen: na 30 s, na 58 s, na 1min 25s en na 2min 0s. Hoe evolueren de periode, de frequentie, de hoeksnelheid, de baansnelheid en de centripetale versnelling over deze tijdsspanne? Plot je resultaten in een grafiek met een passend assenstelsel. Licht de evolutie van elke variabele over elk tijdstip toe.
  - Een schaatser voert een pirouette uit. Na 5 rotaties brengt hij de armen, gelijkmatig gespreid over 3 omwentelingen, tegen het lichaam. Tien rotaties later komt hij abrupt tot stilstand. Geef voor elk van de beschreven periodes de periode, de frequentie, hoeksnelheid, baansnelheid van de vingertoppen en de centripetale kracht weer in een grafiek.

Toepassing 1: schoonspringen - salto's draaien

Probleem:

Een schoonspringer springt van de 10-metertoren in het water. Hij maakt daarbij een aantal voorwaartse salto's. Hij draait onvoldoende door en dreigt niet mooi verticaal in het water te landen. Dat kan behoorlijk pijn doen en leidt tot puntenaftrek door de jury. Hoe kan hij corrigeren zodat hij toch mooi recht in het water landt?



Te gebruiken formule: $v = \omega . r$

Oplossing:

(1) **De baansnelheid v tijdens de zweeffase**

* <u>Bij de afstoot</u> oefent de springplank een reactiekracht uit op (de voeten van) de springer. Hierdoor zal zijn lichaam stijgen (translatie) en draaien (rotatie).

* <u>Tijdens de zweeffase</u> wordt de atleet door de zwaartekracht verticaal naar beneden getrokken. De zwaartekracht beïnvloedt de duur van de zweeffase maar heeft geen effect op de rotatie van het lichaam rond zijn as (onafhankeljkheidsprincipe). Tijdens de zweeffase zijn er dus geen uitwendige krachten die de rotatie van het lichaam rond zijn as beïnvloeden. De baansnelheid van de rotatiebeweging verandert dus niet ($v_{rotatie}$ = constant).

(2) **De straal r**

Tijdens de zweeffase is de springer wel in staat om zijn lichaam te buigen of te strekken door gebruik te maken van spierkracht (dit zijn door inwendige krachten). Hoe meer het lichaam gebogen wordt, des te kleiner wordt zijn straal (r ↓). Hoe meer de springer zich uitstrekt, des te groter wordt zijn straal (r ↑).

(3) **De hoeksnelheid ω**

Je weet dat v constant is.
Je weet dat $v = \omega . r$.

Dus:

* als r daalt, dan moet ω toenemen (anders is v niet constant). Gevolg: de hoeksnelheid verhoogt.

* als r toeneemt, dan moet ω dalen. Gevolg: de hoeksnelheid verlaagt.

Antwoord:

Door tijdens de vluchtfase zij lichaam meer te buigen (= de straal van zijn lichaam te verkleinen) zal de springer aaneen grotere hoeksnelheid draaien om zo toch onder de gewenste hoek het water in te landen.

Wanneer de baansnelheid <u>v constant</u> is, dan is de hoeksnelheid omgekeerd evenredig met de straal van de cirkelvormige beweging.

<u>Toepassing 2: tennis - materiaalkeuze</u>

Probleem

Een tennisser wil de bal met een grote snelheid opslaan via een bovenhandse opslag. Kiest hij dan best een (kortere) juniorracket of een racket met normale lengte (seniorracket)? Stel dat de massa, de stijfheid, en andere prestatiebepalende kenmerken van beide rackets gelijk zijn.

Gegeven: $r_{junior} < r_{senior}$

Gevraagd:

Is de balsnelheid groter, gelijk of kleiner wanneer hij opslaat met een juniorracket ?

Oplossing:

(1) Welke formule is van toepassing?
$v = \omega . r$

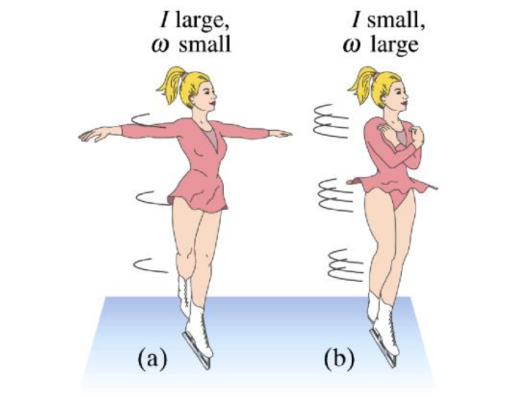
(2) Wat weet ik over r?
$r_{senior} > r_{junior}$

(3) Wat weet ik over ω?
Gezien beide rackets dezelfde massa hebben, kan de tennisser de beide rackets met eenzelfde hoeksnelheid tegen de bal zwaaien (d.w.z. $\omega_{junior} = \omega_{senior}$). De baansnelheid van de seniorracket is dus hoger dan die van de juniorracket. De bal zal dus harder opgeslagen worden met de seniorracket.

Antwoord:

De tennisser kan de bal harder opslaan met een seniorracket dan met een juniorracket.

Toepassing 3: ijsschaatsen - pirouette draaien



Probleem

Een schaatser duwt zich af op het ijs om een pirouette te draaien in gewone rechtopstaande positie. Hij doet dit met zijwaarts gestrekte armen. Na tien omwentelingen brengt hij de armen snel gebogen voor het lichaam. Wat gebeurt er op dat ogenblik met de hoek- en de baansnelheid van alle lichaamsdelen die niet op de draai-as liggen?

Je weet dat

(1) de schaatser tijdens de afstoot een kracht uitoefent op het ijs. De reactiekracht doet zijn lichaam draaien. Tijdens het draaien wordt niet ‘bijgeduwd’;

(2) door de permanente wrijving van de schaats op het ijs de draaisnelheid van de schaatser systematisch lichtjes zal afnemen. We nemen aan dat deze afname is verwaarloosbaar is. Tijdens het draaien blijft de baansnelheid van elk punt op het lichaam dus constant, m.a.w.: v = constant.

(3) $V = \omega\ r$

Gevolg:

Als v constant blijft en r kleiner wordt bij het buigen van de armen, dan moet ω stijgen, want $V=\omega.\ r$. De schaatser draait dus aan een hogere hoeksnelheid (en dus ook frequentie) rond.

Conclusie:

Als de schaatser de armen bij het lichaam brengt, stijgen de hoeksnelheid en de draaifrequentie.

Toepassing 4: Bocht 200 m spurt

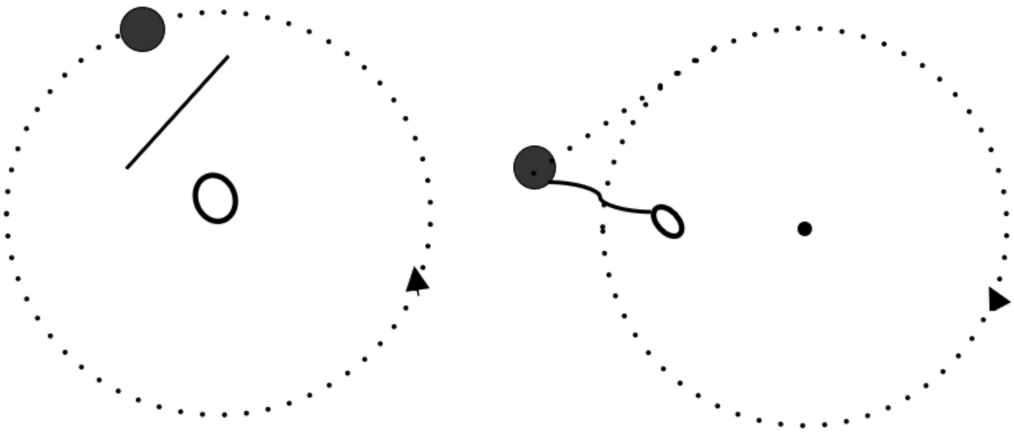
OS 2004 - 200 m: Kim Gevaert: "Mooiste moment van mijn carrière" (Belga)

ATHENE 26/08 (BELGA) = Op de Olympische Spelen in Athene is onze 26-jarige landgenote Kim Gevaert woensdag zesde geworden op de 200 meter sprint. Ze finishte in 22.84, 36 honderdsten trager dan het Belgisch record (22.48), dat ze dinsdag in de halve finales liep. De titel was voor de Jamaicaanse Veronica Campbell. Met 22.05 haalde de 22-jarige Campbell het voor de Amerikaanse Allyson Felix en de Bahamaanse Debbie Ferguson (22.30). "Dit is het mooiste moment uit mijn carrière", verklaarde een gelukkige Gevaert na haar race. "Het is fantastisch om zo'n finale te lopen! Jammer dat het voorbij is." **De Brabantse sprintster moest in de ongunstige baan 1 lopen. De inspanningen om de scherpere bocht te nemen kosten energie.** "Natuurlijk is het niet prettig om in baan 1 te lopen. Maar ik hield me voor dat veel meisjes in mijn plaats zouden willen zijn en dat ik al tevreden kon zijn dat ik in de finale stond." (DCM)

Atletiek: is spurten in de binnenbaan nadelig ten opzichte van een meer laterale baan? Waarom wel/niet?

Hamerslingeren (atletiek)

Het rondzwaaien van de hamer gebeurt door middel van een stevige handgreep en een staaldraad. Laat men de handgreep los, dan vliegt de hamer volgens de raaklijn aan de cirkel weg.



Inzichts- en toepassingsvragen

1. De relatie tussen baansnelheid en hoeksnelheid
   a. Omcirkel welke uitspraak van toepassing is: de relatie tussen hoek- en baansnelheid is
      niet / recht / omgekeerd evenredig.
   b. Noteer de formule die jou informatie verschaft over dit verband.
   c. Leg uit hoe je uit die formule dat verband afleidt.

2. De relatie tussen straal en hoeksnelheid
   a. Omcirkel welke uitspraak van toepassing is: de relatie tussen de straal en de hoeksnelheid is niet / recht / omgekeerd evenredig.
   b. Noteer de formule die jou informatie verschaft over dit verband.
   c. Leg uit hoe je uit die formule dat verband afleidt.

3. Een schaatser draait pirouettes draait op het ijs.
   a. Welke krachten werken in op zijn lichaam?
   b. Werkt er een resulterende kracht in met betrekking tot zijn rotatie?
   c. Wat kan je hieruit afleiden met betrekking tot de hoeksnelheid van zijn rotatie?
   d. Wat kan je hieruit afleiden met betrekking tot de baansnelheid van zijn rotatie?

4. Een discuswerper staat in de beginhouding. Hij draait de discus anderhalve ronde rond zijn lengte-as waarna de discus zijn hand verlaat. We noemen dit de werpactie. De discus verlaat vervolgens de hand van de atleet en vliegt wel 30 meter ver (= de vluchtfase). Voert de discus tijdens deze werpactie een ECB uit? Waarom wel of niet? En tijdens de vluchtfase?

5. Wielrennen: de optimale trapbeweging

   Je wil zo snel mogelijk fietsen. Hoe ziet de optimale trapbeweging eruit?, of met andere woorden: in welke richting moet ik op elk moment van de trapcyclus kracht leveren op de pedalen?

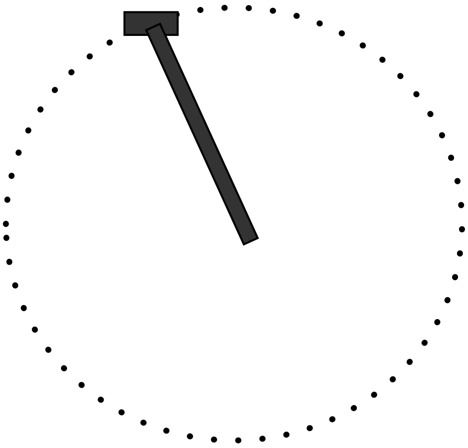
6. Wielrennen: materiaalkennis inzake pedalen

Een wielrenner wil een nieuwe fiets kopen. In de winkel ziet hij 3 soorten van pedalen: de gewone, vlakke pedaal, een pedaal met voetriemen een klikpedaal. Rangschik deze drie types van meest naar minst geschikt i.f.v. wedstrijdrennen. Waarom die volgorde?

a) De basispedaal

b) Een pedaal met voethaken

c) Een klikpedaal



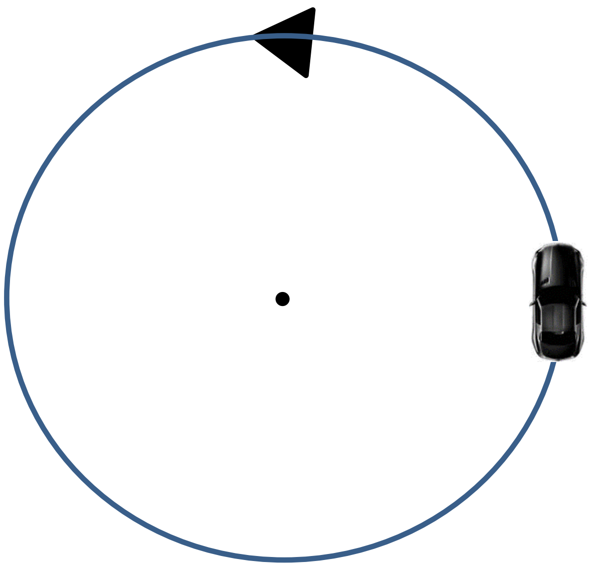
Centripetale kracht en 'uit de bocht vliegen'

Om een bocht te maken (bv. een lange afgeronde bocht van een verkeerswisselaar), moet de bestuurder de hele tijd aan zijn stuur draaien. Stopt hij daarmee, dan maakt de wagen vanaf dat punt een ERB en vliegt hij uit de bocht.

a- Hoe noemt men de kracht die de bestuurder levert door aan zijn stuur te draaien?

b- Wie of wat levert die kracht?

c- Teken op onderstaande auto de kracht die geleverd worden om de wagen in de bocht te houden.



Om een bocht te maken, is dus permanent een centripetale kracht. Als de geleverde F_{CP} kleiner is dan de hoeveelheid F_{CP} die nodig is, vliegt het voorwerp (de wagen, moto, …) uit de bocht. De grootte van F_{CP} hangt af van 3 factoren: de massa van het voorwerp dat ronddraait, de snelheid waarmee dat voorwerp ronddraait en de straal van de beschreven cirkel.

Vragen vooraf. Omcirkel het juiste antwoord.

1. Twee identieke wagens nemen een scherpe bocht, de ene aan hoge en de andere aan lage snelheid. Welk van beide wagens vliegt eerder uit de bocht?

2. Een zware en lichte wagen nemen een scherpe bocht aan dezelfde snelheid. Welk van beide wagens vliegt eerder uit de bocht?

3. Twee identieke wagens nemen aan eenzelfde snelheid een bocht. De ene neemt een scherpe en de andere een minder scherpe bocht. Welk van beide wagens vliegt eerder uit de bocht?

Besluiten i.v.m. evenredigheid uit deze vragen.

- De centripetale kracht is ………………………. evenredig met de massa van het voorwerp dat de bocht beschrijft.
- De centripetale kracht is ………………………. evenredig met de snelheid van het voorwerp dat de bocht beschrijft.
- De centripetale kracht is ………………………. evenredig met de straal van de bocht die het voorwerp beschrijft.

Dit leidt tot volgende formule: F_{CP} =