

# Middelpuntzoekende kracht

## Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
2	Theorie	1
3	Verkennen opstelling	2
4	Onderzoeksvragen en werkplan	6
5	Metingen	6
6	Rapportage	6

## 1 Inleiding

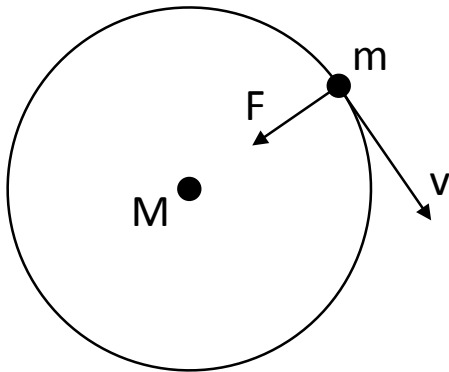
Satellieten die om de aarde bewegen, een achtbaan die over de kop gaat of een auto die door de bocht gaat, hebben allemaal een kracht nodig om niet uit hun baan te vliegen: de middelpuntzoekende kracht. Als het goed is hebben jullie op school de middelpuntzoekende kracht behandeld, waarbij jullie geleerd hebben dat het een resulterende kracht is die voortdurend naar het middelpunt van de cirkelbaan gericht is. Met deze proef gaan jullie de relatie tussen de middelpuntzoekende kracht en de eigenschappen van de cirkelbeweging bepalen. Het doel hiervan is dat jullie beter begrijpen wat deze kracht is en zelf laten zien hoe de middelpuntzoekende kracht afhangt van de beweging. Zie figuur 2 op de volgende pagina voor een foto van de opstelling.

## 2 Theorie

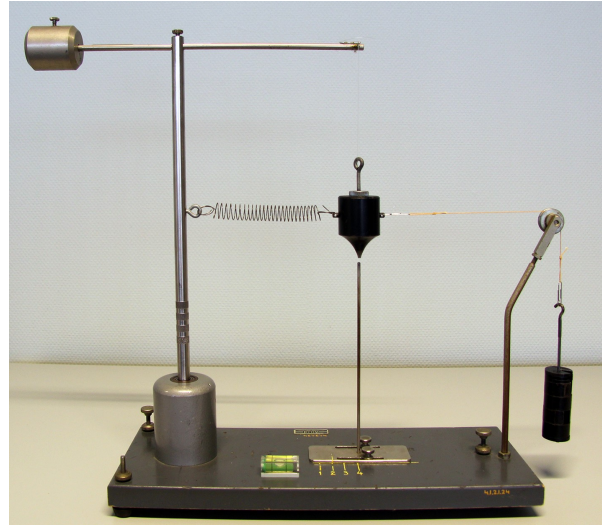
Om je goed voor te bereiden op het experiment wordt eerst de theorie bestudeerd.

### Eenparige cirkelbeweging

De middelpuntzoekende kracht op een voorwerp in een cirkelbaan is nodig om het voorwerp voortdurend ‘de bocht door te krijgen’. Of beter gezegd: om voortdurend de richting van de snelheid van het voorwerp te veranderen. Een richtingsverandering van de snelheid is een snelheidsverandering. Dus is er sprake van een versnelling van het voorwerp en voor een versnelling is een netto-kracht op het voorwerp nodig. Een netto-kracht die we de middelpuntzoekende kracht noemen, (zie figuur 1). Hoe groot die middelpuntzoekende kracht  $F_{mpz}$  moet zijn, hangt af van de massa  $m$  en de baansnelheid  $v$  van het voorwerp, en van de straal  $r$  van de cirkelbaan waarin het voorwerp beweegt.



Figuur 1: De netto-kracht op een voorwerp dat een eenparige cirkelbeweging uitvoert, is voortdurend gericht naar het middelpunt  $M$  van de cirkelbaan: de middelpuntzoekende kracht.



Figuur 2: De meetopstelling.

### Opdracht 1: Centripetaalkracht

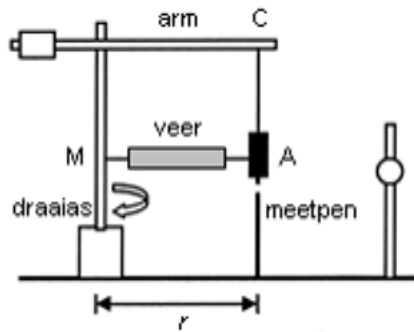
Beantwoord de volgende vragen:

- Welk kwalitatief verband is er tussen de middelpuntzoekende kracht  $F_{mpz}$  en elk van de volgende drie factoren: de massa  $m$  van het voorwerp, de baansnelheid  $v$  en de baanstraal  $r$ ?
- Door welke formule wordt volgens de theorie van de eenparige cirkelbeweging de grootte van de middelpuntzoekende kracht  $F_{mpz}$  gegeven?
- Een satelliet die in een cirkelbaan om de aarde beweegt, wordt in deze baan gehouden door de middelpuntzoekende kracht. Zoals eerder gezegd is de middelpuntzoekende kracht de resulterende kracht. Welke kracht op de satelliet zorgt voor de middelpuntzoekende kracht?

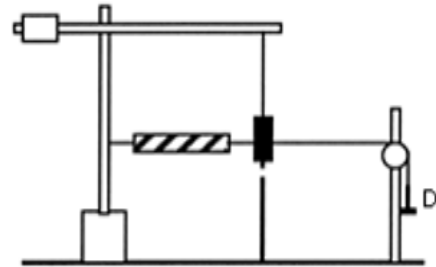
## 3 Verkennen opstelling

Je gaat nu aan de slag met de opstelling waarbij je eerst zal lezen over hoe de opstelling werkt en daarna een aantal proefmetingen zal uitvoeren. Op deze manier begrijp je goed hoe de opstelling werkt. Daarna ga je, op basis van deze kennis, het werkplan opstellen.

### 3.1 De opstelling



Figuur 3: Meetopstelling met roterende draaias bij het meten van de omlooptijd  $T$ .



Figuur 4: Meetopstelling met niet-roterende draaias bij het meten van de centripetaalkracht  $F_c$ .

In figuren 3 en 4 zijn schematisch de twee standen van de opstelling weergegeven. Om het verband tussen de middelpuntzoekende kracht en de massa, snelheid en baanstraal te bepalen, moeten we deze grootheden kunnen meten. Voor het bepalen van de grootte van de middelpuntzoekende kracht, gebruiken we de opstelling zoals gegeven in figuur 4. Vervolgens kunnen we de andere grootheden meten met de opstelling uit figuur 3.

De opstelling bestaat uit een verticale as, waaraan een horizontale arm bevestigd is. De lengte van deze arm is verstelbaar. In het ophangpunt  $C$  van de arm hangt het voorwerp  $A$  aan een koord. Dit voorwerp is via een veer met de draaias verbonden. Omdat we voor verschillende situaties metingen willen doen, is het mogelijk om de lengte van de arm te veranderen. De lengte van de arm wordt bepaald door de meetpen op een bepaalde positie te zetten. Vervolgens wordt het ophangpunt  $C$  precies boven de meetpen geplaatst. Dit wordt gedaan door het schroefje waarmee de arm op de draaias zit een beetje los te draaien en de arm dan te verschuiven. Als de arm de goede lengte heeft, zet je deze weer vast met hetzelfde schroefje.

Door het ronddraaien van de draaias met de arm, beweegt het voorwerp in een cirkelbaan met  $M$  als middelpunt. De veer levert de middelpuntzoekende kracht die hiervoor nodig is. We zullen nu beschrijven hoe de verschillende grootheden gemeten kunnen worden.

#### Metten van de middelpuntzoekende kracht

Bij een roterende draaias in de situatie van figuur 3 is het de veer die de benodigde middelpuntzoekende kracht  $F_{mpz}$  op het voorwerp uitoefent, dus  $F_{mpz} = F_v$ . Deze veerkracht  $F_v$  hangt af van de lengte van de veer – een lengte die gelijk is aan de baanstraal  $r$ . De grootte van de veerkracht  $F_v$  is te meten in de situatie van figuur 4 met een niet-roterende draaias. Om de veerkracht te meten, bepalen we de massa  $D$  die nodig is om het voorwerp  $A$  precies boven de meetpen te krijgen. We gaan nu uitleggen hoe jullie dit moeten doen.

Het voorwerp  $A$  is via een koord en een katrol verbonden met een massahouder  $D$ . Door meer of minder massa op de massahouder  $D$  te plaatsen, zal het voorwerp  $A$  op een ander

punt hangen. De massa op de houder noemen we  $m_D$  en deze is dus variabel. Probeer eens uit wat er gebeurt als je de massa op de massahouder  $D$  aanpast. Het ophangpunt  $C$  van de massa  $A$  moet zich precies boven de meetpen bevinden. Om de grootte van de middelpuntzoekende kracht te bepalen, moet de massa  $m_D$  gevarieerd worden, totdat de punt van het voorwerp  $A$  ook precies boven de meetpen hangt. De veerkracht  $F_v$  is dan gelijk aan de zwaartekracht  $F_{zw}$  op de massa  $m_D$ . Als dit niet gelijk duidelijk is, probeer dan met een krachtenplaatje te verklaren waarom dit het geval is. Zoals eerder beargumenteerd geldt ook dat  $F_{mpz} = F_v$ , waaruit volgt dat  $F_{mpz} = F_{zw}$ . Op deze manier kan dus de grootte van de middelpuntzoekende kracht  $F_{mpz}$  bepaald worden.

### Roterende draaias

We hebben net beschreven hoe de grootte van de middelpuntzoekende kracht gemeten kan worden. Nu zullen we beschrijven hoe de andere grootheden gemeten kunnen worden. Bij het onderzoek is de massa  $m$  van het voorwerp  $A$  niet te variëren.

In de opstelling is de baanstraal  $r$  in te stellen met de meetpen. Deze meetpen is in een aantal posities vast te zetten. Na het instellen (en meten) van een baanstraal  $r$ , wordt het ophangpunt  $C$  loodrecht boven de meetpen gebracht door de horizontale arm te verstellen. De punt van het voorwerp  $A$  zal zich dan niet meer boven de meetpen bevinden. Nu wordt de verticale draaias met de duim en wijsvinger in beweging gebracht. Probeer de opstelling eens te laten draaien zodat je een idee krijgt hoeveel kracht er geleverd moet worden. Het punt  $A$  moet snel genoeg draaien dat dit voorbij de meetpen komt.

Doordat de rotatie van de draaias als gevolg van de (kleine) wrijving langzaam afneemt, zal het voorwerp weer 'naar binnen' bewegen. Daarbij is het 'moment' waarop de punt van het voorwerp boven de meetpen zit hoorbaar, doordat de ronddraaiende punt tegen de meetpen tikt. Omdat de rotatie van de draaias langzaam afneemt, duurt dat 'moment' overigens vrij lang: het tikken is hoorbaar gedurende een aantal omwentelingen van het voorwerp. Deze situatie is weergegeven in figuur 3. Op dat 'moment' is het alleen de veer die een middelpuntzoekende kracht op het voorwerp uitoefent. De baansnelheid  $v$  van het voorwerp is nu te bepalen door meting van de omlooptijd  $T$ . De grootte van de middelpuntzoekende kracht  $F_{mpz}$  op dat 'moment' is te meten door de draaias stil te zetten.

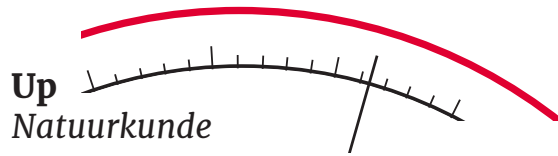
#### Opdracht 2:

In de situatie van figuur 3 is uit een meting van de omlooptijd  $T$  de baansnelheid  $v$  van het roterende voorwerp te bepalen.

- Door welke formule wordt volgens de theorie van de eenparige cirkelbeweging het verband tussen de baansnelheid  $v$  en de omlooptijd  $T$  gegeven?
- Op welke manier is de omlooptijd  $T$  het nauwkeurigst met een stopwatch te meten?

#### Opdracht 3: Veer- en middelpuntzoekende kracht

In de situatie van figuur 3 bevinden het ophangpunt  $C$ , het roterende voorwerp  $A$



en de meetpen zich in één lijn. In deze situatie is het alleen de veerkracht  $F_v$  die de benodigde middelpuntzoekende kracht  $F_{mpz}$  levert.

- a) Leg uit waarom dit niet het geval is als het voorwerp zich meer ‘naar buiten’ of ‘naar binnen’ bevindt als gevolg van een sneller of langzamer roteren van de draaias.
- b) Leg uit waarom het in de rotatie-opstelling van belang is dat alleen de veerkracht  $F_v$  de benodigde middelpuntzoekende kracht  $F_{mpz}$  levert.

### 3.2 Proefmeting

Nu je hebt gelezen over de opstelling is het belangrijk om een aantal proefmetingen te doen. Het begrijpen van een experiment komt namelijk vaak pas tijdens het doen van metingen. Bij opdracht 4 ga je na hoe de meetopstelling moet worden ingesteld. Bij opdracht 5 doe je enkele oriënterende metingen om wat ervaring met het omgaan met de meetopstelling te krijgen. Ook krijg je zo een idee van de meetonzekerheid in de metingen van de baansnelheid en de middelpuntzoekende kracht.

#### Opdracht 4: Meetopstelling

Een belangrijk kenmerk van de meetopstelling is dat het ophangpunt C zich loodrecht boven de meetpen moet bevinden. Na een positieverandering van de meetpen moet de opstelling dus opnieuw worden ingesteld door het verstellen van de horizontale arm.

Bekijk de meetopstelling, en ga na hoe je deze zo eenvoudig mogelijk kunt instellen. M.a.w.: hoe breng je het ophangpunt C loodrecht boven de meetpen?.

#### Opdracht 5: Meting baansnelheid- en middelpuntzoekende kracht

Voor een goede meting van de baansnelheid en de middelpuntzoekende kracht moet de meetopstelling volgens opdracht 4 op een bepaalde manier worden ingesteld. Een niet helemaal juiste instelling leidt tot onnauwkeurigheden in de meetresultaten. Bovendien is er sprake van een meetonzekerheid in de meting van de omlooptijd.

- **Instelling:** Zet de meetpen op één van de mogelijke posities en stel de meetopstelling zo goed mogelijk in. Laat de opstelling een paar keer proefdraaien en ga daarbij na op welke manier de omlooptijd zo nauwkeurig mogelijk te meten is. Meet dan op die manier de omlooptijd een paar keer, zodat je een idee krijgt van de meetonzekerheid. Meet daarna de middelpuntzoekende kracht. Laat de meetpen in dezelfde positie staan, verstel de arm en stel daarna de meetopstelling opnieuw zo goed mogelijk in. Meet weer de omlooptijd en de middelpuntzoekende kracht, en vergelijk het resultaat met de voorgaande metingen. Wat zegt deze vergelijking over de nauwkeurigheid waarmee de meetopstelling kan worden ingesteld?

- **Meetonzekerheid:** Maak op grond van de uitgevoerde metingen een schatting van de meetonzekerheden in een meting van de omlooptijd en de middelpuntzoekende kracht.

**Laat het werkplan controleren voordat je verder gaat.**

## 4 Onderzoeksvragen en werkplan

Na de theoretische voorbereiding en het verkennen van de opstelling kun je nu de onderzoeksvraag en een werkplan op te stellen.

### Opdracht 6: Onderzoeksvragen

Formuleer de onderzoeksvraag die je met deze opstelling wilt beantwoorden. Gebruik hiervoor de kennis die je hebt opgedaan in de voorbereiding. Je moet de onderzoeksvraag kunnen beantwoorden met deze opstelling. Stel voor de onderzoeksvraag een hypothese op. De hypothese is wat je verwacht dat het antwoord zal zijn op de onderzoeksvraag.

### Opdracht 7: Werkplan

Stel nu het werkplan op waarin in ieder geval de volgende punten behandeld worden:

- De onderzoeksvraag en hypothese.
- De grootheden die gevarieerd worden.
- De grootheden die gemeten worden en hoe deze metingen gedaan worden.
- Het aantal metingen.
- Hoe de data weergegeven wordt.

## 5 Metingen

Nadat je de voorbereiding hebt uitgevoerd en het werkplan is goedgekeurd door de docent of assistent, kan je het experiment gaan uitvoeren.

### Opdracht 8: Metingen

Zoek met behulp van de meetopstelling volgens je werkplan een antwoord op de onderzoeksvraag en controleer de opgestelde hypothese.

## 6 Rapportage

Afhankelijk van wat je docent van je verwacht rapporteer je met een schriftelijk verslag of een presentatie over het onderzoek. Zorg ervoor dat in dit verslag of deze presentatie de volgende onderdelen duidelijk naar voren komen:

- De onderzoeksvraag en hypothese.
- Een beschrijving en een uitleg van de werking van de meetopstelling.
- Grafische weergave van de meetresultaten.
- Verwerking en interpretatie van de meetresultaten.
- Het antwoord op de onderzoeksvraag verkregen door de meetresultaten.