



# Geïntegreerde Proef

## De Yo-Yo

Jarno Willems  
Jelle Michiels  
Wout Desmedt  
Studierichting TSO  
Techniek-Wetenschappen  
Tweede leerjaar • derde graad  
Schooljaar 2021 – 2022

## Inhoudsopgave

Inhoudsopgave .....	2
Voorwoord .....	4
Literatuurstudie .....	6
1. Geschiedenis van de yo-yo .....	7
2. Twee soorten yo-yo's .....	9
3. Factoren die de yo-yo beïnvloeden.....	10
3.1. Onderdelen .....	10
3.2. Het touw .....	10
3.3. De manier van vasthouden.....	11
3.4. Verschillende vormen .....	11
3.5. De werking van de yo-yo .....	12
4. Theorie achter een yo-yo .....	13
4.1. Algemeen.....	13
4.2. Het traagheidsmoment.....	13
4.3. Spinning bij een yo-yo.....	17
Praktische Proeven.....	18
5. Veiligheid .....	19
6. Onderzoek 1: De samenstelling.....	19
1. Onderzoeksvragen .....	19
2. Hypotheses .....	19
3. Opstelling en benodigdheden .....	20
4. Werkwijze .....	21
5. Waarnemingen.....	21
6. Bespreking en berekeningen .....	22
7. Besluit.....	23
8. Reflectie.....	24
7. Onderzoek 2: De kogellager of 'ball bearing' .....	25
1. Onderzoeksvragen .....	25
2. Hypotheses .....	25
3. Opstelling en benodigdheden .....	25
4. Werkwijze .....	25
5. Waarnemingen Tabellen: .....	26
6. Bespreking en berekeningen .....	26
7. Besluit.....	26
8. Reflectie.....	27

8. Onderzoek 3: De lengte .....	28
1. Onderzoeksvragen .....	28
2. Hypotheses .....	28
3. Opstelling en benodigdheden .....	29
4. Werkwijze .....	29
5. Waarnemingen.....	30
6. Bespreking en berekeningen .....	34
7. Besluit.....	37
8. Reflectie.....	37
9. Onderzoek 4: De massa .....	38
1. Onderzoeksvragen .....	38
2. Hypotheses .....	38
3. Opstelling en benodigdheden .....	38
4. Werkwijze .....	39
5. Waarnemingen.....	40
6. Bespreking en berekeningen .....	42
7. Besluit.....	43
8. Reflectie.....	43
10. Onderzoek 5: De kracht .....	44
1. Onderzoeksvragen .....	44
2. Hypotheses .....	44
3. Opstelling en benodigdheden .....	44
4. Werkwijze .....	45
5. Waarnemingen.....	45
6. Bespreking en berekeningen .....	48
7. Besluit.....	48
8. Reflectie.....	48
11. Conclusie .....	49
Bibliografie.....	50
Figuurlijst .....	51

## **Voorwoord**

Dit eindwerk kwam tot stand in het kader van onze geïntegreerde proef. Het vormt de afsluiter van onze studierichting Techniek Wetenschappen aan de middelbare school Sint-Franciscus Evergem.

Wij hebben het onderwerp yo-yo's gekozen omdat wij al een aantal jaar gefascineerd zijn door de competities en wedstrijden rond yo-yo tricks. Ook de complexiteit van het 'simpele' speelgoed interesseerde ons enorm. Toen we vorig jaar de vraag kregen welk onderwerp we zouden nemen, kwamen wij door een eerdere opdracht die we kregen in de les Engels rond de yo-yo al snel tot de conclusie dat we hier meer over te weten wilden komen en daar was de geïntegreerde opdracht een perfecte kans voor.

Het hoofddoel van deze geïntegreerde proef is het onderzoeken wat de verschillende factoren zijn, die de yo-yo beïnvloeden op verschillende aspecten en zo tot een besluit komen over welke yo-yo de beste is. Zo hebben we bijvoorbeeld de lengte van het touw eens aangepast en gekeken welke invloed dit had op de snelheid van de yo-yo en het traagheidsmoment. We hebben hiervoor de yo-yo aan een statief gehangen, laten vallen en de beweging gefilmd met een super slow-motion camera. In de literatuur geven we uitleg over de geschiedenis van de yo-yo alsook de verschillende onderdelen die een yo-yo bevat om te functioneren. Aan de hand van de literatuur gaan we ook de praktische proeven opstellen en uitvoeren. Na het uitvoeren van de praktische proeven is het dan mogelijk om de theorie te gebruiken om de metingen met een kritische blik te bekijken en na te gaan of het overeenkomt met enkele hypothesen en de geziene theorieën.

Het was een leerrijk traject met af en toe een moeilijkheid zoals het vinden van een opstelling waarbij zo weinig mogelijk factoren invloed zullen hebben op de proef. Deze moeilijkheden zorgden ervoor dat we actief gestimuleerd werden tot het vinden van de meest efficiënte oplossing. Mede dankzij de hulp van de mentoren en het teamwork brachten we de proeven toch tot een goed einde.

In het bijzonder zouden wij alvast onze dank richten aan onze mentor mevrouw Sophie Beele (leerkracht wiskunde en fysica) voor de aangename begeleiding tijdens onze GIP en de hulp waar het nodig was. Ook dank aan het bedrijf Circus Expert voor het leveren van materiële ondersteuning voor dit eindwerk waardoor we betere vergelijkingen konden maken tussen de yo-yo's.

Vervolgens gaat onze dank ook uit naar de andere leerkrachten wetenschap van Sint-Franciscus Evergem voor de nodige hulp en de terbeschikkingstelling van het nodige materiaal in het fysica laboratorium. Ook gaat onze dank uit naar alle familie en vrienden die betrokken waren bij dit proces. Met al deze hulp kwam dit eindwerk tot een mooi einde.

Jarno Willems, Jelle Michiels en Wout Desmedt  
Evergem, 22 mei 2022

# **Literatuurstudie**

## 1. Geschiedenis van de yo-yo

Wetenschappers geloven dat de yo-yo afstamt vanuit China, maar het eerste historische bewijs was dit van een jongetje, afgebeeld aan de zijkant, die aan het spelen was met een yo-yo. De archeologen dateren dit stuk vaas in het tijdperk van de Grieken.



**Figuur 1: Historisch bewijs jongen met yo-yo**

Ze ontdekten ook dat ze twee soorten yo-yo's hadden. Eén soort, gemaakt uit terracotta-schijven aan elkaar met een touwtje in het midden, werd gebruikt voor offeringen aan hun goden als het kind in kwestie volwassen werd.

De andere soort, met schijven uit hout en andere materialen, werd dan weer gebruikt om ermee te spelen.

Ook werd in de 16<sup>de</sup> eeuw een techniek gebruikt met stenen aan een touw tijdens het jagen.

De jagers verstopten zich in bomen en lieten de stenen neerkomen op hun prooi. Door een trek aan het touw kwam dit weer omhoog. Hierdoor denken historici dat dit de voorganger was op het yo-yo principe. Dit is echter nooit bewezen.

Hierna was het volgende bewijs een miniatuurbox die beschilderd was met een tekening van een jong meisje dat met een yo-yo speelt afkomstig uit India (tussen 1765-1785). De yo-yo kreeg populariteit en reisde de volgende jaren door naar Europa, meer specifiek naar Frankrijk. In 1789 werd in Frankrijk een schilderij gemaakt van koning Louis XVII die een yo-yo gebruikt.



**Figuur 2: koning Louis XVII**

De verspreiding van de yo-yo gebeurde als gevolg van de Franse Revolutie. De belangrijkste personen in Frankrijk moesten vluchten voor de opkomende macht van het volk. Zo verspreidden ze zich naar bijvoorbeeld Duitsland en andere delen van Frankrijk en ze namen hun yo-yo gemaakt van glas en ivoor mee. Door deze vluchten kreeg de yo-yo de naam 'incroyable' of 'l'emigrette'.

De yo-yo had in vroegere tijden twee functies: voor de rijken was dit een siervoorwerp maar voor het arme volk werd dit gezien als een voorwerp om de stress te verminderen.

In de komende jaren na de Franse Revolutie zijn er nog verschillende schilderijen en gebeurtenissen die te maken hebben met de yo-yo. Eén van de speciale gebeurtenissen is bij het gevecht in Waterloo. Er zijn verschillende geruchten dat Napoleon en zijn leger hun rust namen door te yo-yo-en.

De yo-yo kwam echter niet alleen veel voor op het Europese vasteland, maar ook in Engeland door bijvoorbeeld de Franse edelen die vluchtten. In Engeland namen ze niet gewoon de naam

over van de Fransen maar noemden het de ‘bandalore’. De prins van Wales zorgde voor de grote bekendheid van het voorwerp door zijn verkooptactieken. Het werd een item dat alle edelen moesten hebben waardoor de populariteit enorm steeg in Engeland.

De eerste keer dat de yo-yo toekwam in de Verenigde Staten was in 1866, namelijk door 2 mannen uit Ohio die een patent kregen op een verbeterde yo-yo, namelijk één die de velg van de yo-yo verzwaarde. Hierna werden nog vele patenten uitgereikt en werd de yo-yo alsmaar geavanceerder.

De eerste yo-yo zoals wij die nu kennen werd uitgevonden door Pedro Flores, een Filipijn die verhuisde naar de VS om daar zijn eigen yo-yo bedrijf op te richten. De Filipijnen waren toen al heel goed geworden in het maken van yo-yo’s alsook in het gebruik ervan.

Hij was de eerste persoon die, in plaats van het touwtje op de as in het midden te bevestigen, het touw rond de as draaide op een manier die er voor zorgde dat de yo-yo wel degelijk rond kan draaien en dus als het ware onderaan het touw een eigen spin heeft.

Dit was een grote doorbraak voor de evolutie van de yo-yo doordat dit ervoor zorgde dat de yo-yo nu, in tegenstelling tot het alleen op en neer kunnen gaan, ook verscheidene trucs had. Het bedrijf dat werd opgericht door Pedro Flores, alsook zijn ideeën over de yo-yo, werden in 1928 opgekocht door een bekende in de yo-yo wereld, namelijk Donald F. Duncan Sr. Donald was een zeer slimme verkoper en promootte zijn yo-yo’s door mensen over het hele land demonstraties te geven van wat de yo-yo allemaal kan en hierbij organiseerde hij ook toernooien. Hij zag hoe de yo-yo groeide en nam een patent op het woord ‘yo-yo’. Dit was een enorm probleem voor zijn rivalen want die moesten hierdoor onaantrekkelijke woorden gebruiken. In 1946 was het tijd voor Duncan Company om te verhuizen. Dit was een zeer goede keuze want Wisconsin staat sindsdien bekend als “The YoYo Capital”. De yo-yo, alsook Duncan’s bedrijf, bleef groeien maar dit werd ook een last voor hen. De vraag steeg maar ze konden niet op tijd genoeg materialen verzamelen om de miljoenen yo-yo’s te maken. Ook werd het woord ‘yo-yo’ zo vaak gebruikt dat de staat besloot om het patent in te trekken. Dit leidde tot financiële problemen binnen het bedrijf en leidde in 1965 uiteindelijk tot het bankroet gaan van de Duncan Company. Echter is de naam Duncan’s yo-yo’s niet verloren gegaan, we zien deze naam de dag van vandaag nog altijd opduiken bij de aankoop van yo-yo’s. Een bedrijf genaamd Flambeau Plastics Company heeft de naam Duncan’s opgekocht. Tot op de dag van vandaag blijven yo-yo’s verbeteren en evolueren.



## 2. Twee soorten yo-yo's

Yo-yo's verschillen op vele manieren van elkaar, maar het belangrijkste is het verschil tussen een unresponsive en een responsive yo-yo.

Bij een unresponsive, zoals de naam zegt, zal de yo-yo niet reageren op het tukje (het niet meer strak staan van het touw waardoor de yo-yo zichzelf terug zal oprollen) en zal er hierdoor een speciale truc vereist zijn om hem terug op te draaien, dit heet een 'bind'. Deze soort heeft zowel voor- als nadelen. Men kan er meer ingewikkelde trucs mee uitvoeren, maar de gewone trucs zoals de yo-yo naar voren gooien en vanzelf door een kleine tuk terug te laten komen, zullen niet meer gaan. Hiervoor zal men de andere soort nodig hebben.

Een responsive yo-yo (zoals de meeste mensen kennen en gebruikt hebben als kind) zal wel reageren op een tuk en zal door het niet meer strak staan van het touw zichzelf terug gaan oprollen. Dit kan echter onhandig zijn bij het uitvoeren van grote trucs waarbij het touw vaak zijn strakheid verliest. Doordat hij responsive is, zal hij veel snelheid verliezen en zo de truc doen falen.

### 3. Factoren die de yo-yo beïnvloeden

#### 3.1. Onderdelen

Yo-yo's beschikken over bepaalde onderdelen die sowieso aanwezig moeten zijn opdat de yo-yo zou werken. Dit houdt bijvoorbeeld in: 2 schijven, een cilindertje in het midden en een touw.

Hier kunnen enkele extra opties aan worden toegevoegd, zoals de kogellager of uit het Engels 'the ball bearing' die het rondspinnen van de yo-yo beïnvloeden. Door het toevoegen van deze onderdelen zal de yo-yo langer kunnen spinnen wat het dus gemakkelijker zal maken om bepaalde trucs uit te voeren.

#### 3.2. Het touw

Ook het touw speelt een belangrijke rol in het goed draaien van een yo-yo. Het touw wordt best om de zoveel tijd vervangen (meestal om de paar dagen of weken, voor professionals die de yo-yo dag in dag uit gebruiken, is dit best al om de twee à drie uur). Dit komt omdat na een bepaalde tijd door intensief gebruik van de yo-yo een fenomeen genaamd 'string tension' zal optreden. De letterlijke vertaling hiervan is 'touwspanning' maar dit is niet wat ermee bedoeld wordt. Er wordt bedoeld dat het touw van de yo-yo, bij elke gooi, een beetje meer draait tot op een punt dat het niet meer bruikbaar wordt voor trucs, omdat de yo-yo door het gedraaide touw onderaan rondjes begint te draaien en niet meer spint zoals het moet. Bij rechtshandigen zal het touw verstrakken terwijl bij linkshandigen het juist losser zal worden. Dit komt door de manier waarop de yo-yo gesmeten zal worden.

'String tension' kan op de volgende manier opgemerkt worden. Als men gedurende een lange tijd de yo-yo gebruikt zal na een bepaalde tijd iets opvallen. Hij begint namelijk beneden tijdens het spinnen uit te wijken. Dit is een indicator dat men het touw moet losmaken van de vinger en dat het ontrold moet worden (Dit is het laten teruggaan naar een stabiele toestand waar er geen 'string tension' meer plaatsvindt).



**Figuur 3: Afbeelding van een yo-yo**

### 3.3. De manier van vasthouden

De manier van vasthouden is ook belangrijk. De gewone leek die niet veel te maken heeft met yo-yo's houdt de yo-yo onder de handpalm en laat deze los. Hierdoor is er soms de situatie waarbij de yo-yo van de vinger valt of heel rap uitgespind is. De correcte manier van vasthouden wordt hieronder beschreven.

Eerst moet er een knoopje gemaakt worden, dat zorgt dat er een lus rond de vinger zit zodat de yo-yo niet van de vinger kan vallen. Dit is belangrijk omdat men bij sommige trucs de yo-yo rond de vingers moet laten vliegen en als de yo-yo niet vastzit, zou deze doorheen de kamer vliegen. Ook moet men de yo-yo in de palm leggen en de hand met de achterkant naar de

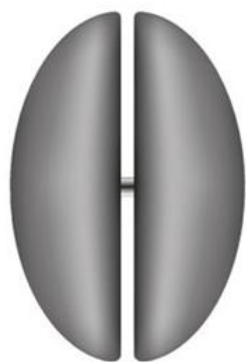


**Figuur 4: Correct vasthouden van een yo-yo**

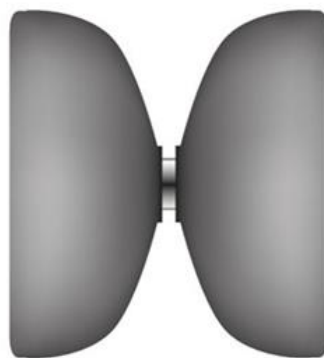
grond mikken om meer kracht te kunnen steken in de spin en zo de yo-yo sneller te doen spinnen voor bepaalde trucs. Om de yo-yo in beweging te krijgen laat men de pols naar achter plooiën terwijl men terzelfdertijd de arm mee naar beneden beweegt.

### 3.4. Verschillende vormen

In de yo-yo wereld zijn er drie soorten vormen aanwezig. Deze hebben allen hun eigen specifieke voor- en nadelen die hieronder besproken worden.



**imperial**



**butterfly**



**modified**

**Figuur 5: Verschillende vormen**

1. Imperial: Dit is een yo-yo met afgeronde zijkanten die het gemakkelijker maakt om een loop uit te voeren.
2. Butterfly: Dit is de populairste en meest gebruikte yo-yo, deze maakt 'string tricks' (dit zijn trucs waarbij de yo-yo meerdere malen op het koord rust of waarbij deze veel contact maken) gemakkelijker en wordt daarom door de meeste professionals gebruikt.
3. Modified: Zoals op bovenstaande foto te zien is de modified yo-yo ook afgerond, maar aan de boven- en onderkant, in tegenstelling tot de imperial die aan de binnenkant ook afgerond is. Dit zorgt ervoor dat er minder wrijving is met het touw en er dus meer trucs mogelijk zijn.

### **3.5. De werking van de yo-yo**

Een yo-yo ondergaat een draaiing, wat overeenkomt met een bepaalde energie (de potentiële energie bovenaan wordt tijdens de val omgezet naar kinetische energie). Deze energie gaat er niet zomaar uit. Hierdoor zal hij onderaan het touw blijven draaien en eventueel terug omhoogkomen. Het terug omhoogkomen vereist energie (neem bv. een trap oplopen), die energie zal deels afkomstig zijn van de draaiing (en aan de andere kant is het ook afkomstig van de beweging die gemaakt wordt door de vinger omhoog in de lucht te doen zodat de yo-yo nog sneller omhoog zal komen). Hierdoor zal de yo-yo steeds minder snel gaan draaien tot op zijn hoogste punt. Op dat moment is het touwtje andersom opgewonden. Dit is een indicator van het doorspinnen op z'n onderste punt en niet terugveren. Alhoewel hij niet terugveert, heeft veerenergie toch een impact, want door de veerenergie zal er minder energie van het draaien moeten ingezet worden en zal de yo-yo dus hoger terug oprollen. Dit wil dus zeggen dat zonder de bijdrage van veerenergie een yo-yo minder hoog zou oprollen. Echter mag het touw niet te elastisch zijn omdat dit de yo-yo onbruikbaar zou maken.

## 4. Theorie achter een yo-yo

### 4.1. Algemeen

Welk type yo-yo er ook gebruikt wordt, ze zullen allemaal werken rond het principe van potentiële energie omzetten in kinetische energie. De yo-yo die in de hand ligt met het touw rond de as gerold, bezit potentiële energie. Als men de yo-yo loslaat zal men de potentiële energie omzetten in kinetische energie. Dit betekent dat als de yo-yo naar boven en beneden gaat men een constante omzetting van deze 2 energieën krijgt. Het interessantste is dat de kinetische energie opgesplitst wordt in de kinetische energie van de lineaire beweging (als de yo-yo omhoog en naar beneden gaat) en de kinetische energie van de draaiing (als de yo-yo roteert).

### 4.2. Het traagheidsmoment

Een yo-yo is een voorwerp dat een rotatie rond een draai-as of rotatiepunt ondergaat. Dit betekent dat het massacentrum van de yo-yo niet noodzakelijkerwijze van positie verandert, zoals bijvoorbeeld een draaiende tol.



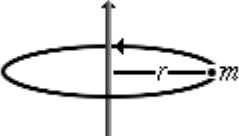
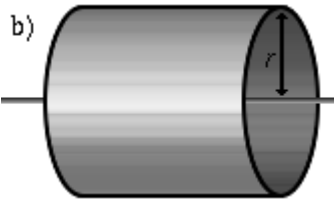
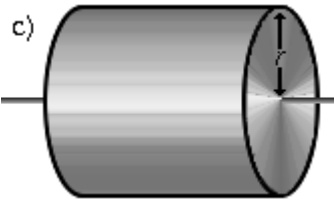
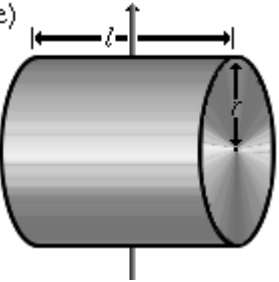
**Figuur 6: Draaiende tol**

De term traagheidsmoment is een maat voor het verzet tegen een verandering in de draaisnelheid/hoeksnelheid van een lichaam met een zekere massa. Als men een bepaalde massa heeft en men wil het traagheidsmoment kennen ten opzichte van het rotatiepunt, dan

wordt het traagheidsmoment berekend aan de hand van volgende formule:  $I = \sum_i m_i \cdot r_i^2$

Deze formule is telkens de puntmassa maal de afstand tot het rotatiepunt van die puntmassa in het kwadraat. Afhankelijk van de vorm van het voorwerp, krijgt men een verschillende berekening van het traagheidsmoment.

- Concrete voorbeelden:

Figuur	Beschrijving	Traagheidsmoment
a) 	Een puntmassa op afstand $r$ van de draaias.	$I = m \cdot r^2$
b) 	Een cilindermantel die om zijn (cilinder)as draait.	$I = m \cdot r^2$
c) 	Een massieve cilinder (staaf, schijf) die om zijn as draait.	$I = \frac{1}{2} m \cdot r^2$
e) 	Een massieve cilinder die roteert om de symmetrieas die de cilinderas in het midden loodrecht doorsnijdt.	$I = \frac{1}{2} m \cdot r^2 + \frac{1}{12} m \cdot l^2$

De rotatie-energie bij een yo-yo is hetzelfde als de kinetische energie van een object dat rond een as draait en wordt gegeven door volgende formule:  $E_{\text{kin, rotatie}} = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2$

Hierbij is :

- Hoeksnelheid ( $\omega$ ) = Dit begrip wordt gebruikt om het cirkelvormige pad te beschrijven dat een voorwerp aflegt in een bepaalde tijd. Dit is vaak de snelheid van verandering.
- $E_{\text{kin, rotatie}}$  = Bewegingsenergie, in dit geval ofwel de energie tijdens het vallen (in neerwaarts richting) van de yo-yo of de energie die de yo-yo gebruikt om te roteren.

Naast de 2 soorten kinetische energie, bezitten yo-yo's ook 2 soorten momentum (een fysiek object bezit een momentum als het zowel een massa als een snelheid heeft).

De 2 soorten momentum zijn:

1. Lineair momentum: Op en neer beweging van de yo-yo
2. Impulsmoment: Rondraaiende beweging van de yo-yo

Net zoals impuls een maat is voor de hoeveelheid lineaire beweging, is het impulsmoment een maat voor de hoeveelheid draaibeweging. Anders gezegd is dit de mate waarin het object de rotatie rond een bepaalde as voort zal zetten, zonder dat er een externe kracht op wordt uitgeoefend.

Als een voorwerp roteert rond een bepaald rotatiepunt, dan kan het impulsmoment in vectoren gedefinieerd worden als:

$$L = \vec{r} \times \vec{p}$$

$$\rightarrow \vec{p} = m \cdot \vec{v} \quad \text{met } \vec{p} = \text{impuls, } m = \text{massa, } \vec{v} = \text{snelheid}$$

$$\rightarrow L = \vec{r} \times (m \cdot \vec{v}) \quad \text{met } \vec{r} = \text{straal, } m = \text{massa, } \vec{v} = \text{snelheid}$$

$$\rightarrow L = r \cdot (m \cdot v) \cdot \sin\delta \quad \text{met } r = \text{straal, } m = \text{massa, } v = \text{snelheid}$$

en  $\delta$  = hoek tussen  $r$  en  $(m \cdot v)$

→ Er wordt gewerkt met een rotatie rond één as, dus wordt de formule behandeld als een scalaire grootheid die positief is bij een rotatie tegen de klok in en negatief is bij een rotatie met de klok mee.

Ook nu geldt dat het impulsmoment gelijk is aan het traagheidsmoment maal de hoeksnelheid.

Dit wordt neergeschreven als volgende formule:

$$L = I \cdot \omega \quad \text{met } \omega = \text{hoeksnelheid, } L = \text{impulsmoment}$$

en  $I = \text{het traagheidsmoment}$

De wet van behoud van het impulsmoment zegt dat het impulsmoment van een voorwerp, dat om een vaste as draait, constant is als er geen krachten op het voorwerp werken. Dit betekent dus dat  $I_1 \cdot \omega_1 = I_2 \cdot \omega_2$

• Bv.: Een schaatser draait een pirouette en begint met uitgestrekte armen.

Het traagheidsmoment is op dat moment groter dan wanneer hij later de armen naast het lichaam brengt. Doordat het impulsmoment behouden blijft is  $\omega_2 = \frac{I_1}{I_2} \cdot \omega_1$ .

Aangezien  $I_1$  groter was dan  $I_2$ , zal de schaatser automatisch sneller gaan draaien.

Men kan nu met behulp van al deze theorie de formule voor het traagheidsmoment bij een yo-yo uitwerken volgens de volgende stappen:

$$\rightarrow E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$$

$$\rightarrow E_{\text{kin, transversaal}} = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

$$\rightarrow E_{\text{kin, rotatie}} = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2$$

Afleiding:

$$E_{\text{pot}} = E_{\text{kin, transversaal}} + E_{\text{kin, rotatie}} + E_{\text{pot,1}}$$

$$m \cdot g \cdot h = \frac{m \cdot v^2}{2} + \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2 + m_1 \cdot g \cdot h_1$$

Bij de start bovenaan is er enkel gravitationele potentiële energie die behouden blijft gedurende de hele beweging. Onderweg zal de totale energie dus gelijk zijn aan de som van de gravitationele potentiële energie op die bepaalde hoogte en de totale kinetische energie (zowel van de lineaire snelheid als van de rotatie).

Deze wet van behoud van energie geldt dus ook voor de energie bij de rotatie beneden aan de yo-yo.

Onderaan kunnen wij de gravitationele potentiële energie en de transversale kinetische energie gelijkstellen aan nul aangezien we alleen kijken naar de situatie beneden waar de yo-yo geen lineaire snelheid meer heeft en enkel roteert.



Uit de twee situaties (bij de start enkel gravitationele potentiële energie en beneden enkel rotatie-energie) kunnen we het traagheidsmoment van de yo-yo bepalen:

$$I = \frac{2 \cdot (m \cdot g \cdot h)}{\omega^2}$$

### 4.3. Spinning bij een yo-yo

De 10 balletjes die samen met de ringen 'ball bearing' genoemd worden, zorgen dat er minder wrijving is tussen de lagen, waardoor de cilinder, als het touw zich erom wikkelt, toch op zijn maximale snelheid kan draaien.

Ook kan aan elke helft extra gewicht toegevoegd worden om de spintijd langer te maken. De velg/rand (het stuk aan de binnenkant) van de yo-yo moet tot op een 3000<sup>ste</sup> van een ounce (= 28.34952 gram) wegen om de yo-yo goed te laten spinnen.



**Figuur 7: Afbeelding ball bearing**

# **Praktische Proeven**

## **5. Veiligheid**

Op het eerste zicht zijn er bij het onderzoeken van de factoren die de yo-yo beïnvloeden niet zoveel risico's. Het ergste wat er kan gebeuren in heel bijzondere gevallen, is dat de yo-yo tijdens het uitvoeren van een proef zodanig hard valt waardoor hij breekt en dus als gevolg onbruikbaar wordt. Het is zeker nodig om over meer dan één yo-yo te beschikken.

Het is noodzakelijk dat de yo-yo goed vasthangt aan het statief zodat de yo-yo niet door het labo kan vliegen.

## **6. Onderzoek 1: De samenstelling**

### 1. Onderzoeksvragen

- Hoofdonderzoek: Wat is de invloed van de soort samenstelling (materiaal) van de yo-yo?
- Onderzoeksvragen:
  - 1) Wat is de invloed van de soort samenstelling op de periode?
  - 2) Wat is de invloed van de soort samenstelling op de totale spintijd?
  - 3) Wat is de invloed van de soort samenstelling op de baansnelheid tijdens de draai beweging in zijn laagste toestand?
  - 4) Wat is de invloed van de soort samenstelling op de hoeksnelheid in zijn laagste toestand?
  - 5) Wat is de invloed van de soort samenstelling op de versnelling tijdens de draai beweging?
  - 6) Wat is de invloed van de soort samenstelling op de centripetale kracht?

### 2. Hypotheses

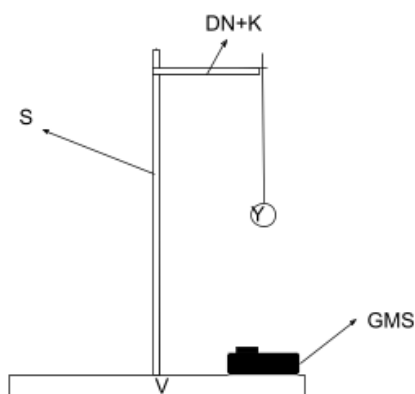
- 1) De periode van de metalen yo-yo zal kleiner zijn in vergelijking met die van de plasticen yo-yo.
- 2) De spintijd bij de metalen yo-yo zal groter zijn in vergelijking met die van de plasticen yo-yo.
- 3) De baansnelheid van de metalen yo-yo zal groter zijn in vergelijking met die van de plasticen yo-yo.

- 4) De hoeksnelheid van de metalen yo-yo zal groter zijn in vergelijking met die van de plasticen yo-yo.
- 5) De versnelling tijdens de draaibeweging van de metalen yo-yo zal groter zijn in vergelijking met die van de plasticen yo-yo.
- 6) De centripetale kracht van de metalen yo-yo zal groter zijn in vergelijking met die van de plasticen yo-yo.

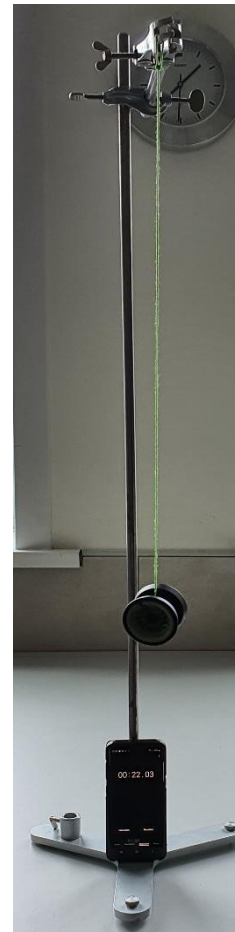
### 3. Opstelling en benodigdheden

Yo-yo (Verschillende soorten stoffen/materialen) (Y)	statiefvoet (V)
GSM met super slow-motion functie	dubbele noot + klem (DN+K)
alcoholstift (markering)	laptop (spreadsheets + LoggerLite)
statief (S)	Go-Motion sensor (GMS)
Balans (NK: 0,1 g)	GSM met stopwatch

Opstelling + materiaal:



20 **Figuur 9: Verschillende gebruikte yo-yo's**



**Figuur 8: Opstelling onderzoek 1**

#### 4. Werkwijze

1. Start met de opstelling te maken zoals weergegeven op bovenstaande illustratie.
2. Zet een camera uitgerust met de super slow-motion functie op de meest efficiënte plaats zodat hij de volledige yo-yo en de chronometer ziet.
3. Markeer een bepaald punt op de yo-yo met een stip om zo gemakkelijk te achterhalen wanneer de yo-yo één volledige cirkelbeweging heeft gemaakt.
4. Start het programma Logger-Lite en zet de tijd die de motion sensor gaat meten op 10 seconden.
5. Rol de yo-yo zorgvuldig (knopen vermijden) op en hang hem aan het statief (wacht met loslaten!).
6. Start de chronometer samen met het programma en laat de yo-yo los zonder extra kracht toe te voegen. Zorg dat de yo-yo in een rechte lijn naar beneden valt om onnauwkeurigheden te vermijden.
7. Start de camera wanneer de yo-yo bijna het laagste punt van zijn valbeweging heeft bereikt. (De camera zal voor 0,8 seconden filmen)
8. Bekijk vervolgens de opgenomen beelden en lees voor de eerste 10 periodes de tijd af.
9. Noteer je waarnemingen in een Spreadsheets bestand.
10. Herhaal de bovenstaande stappen 10 maal per soort materiaal.
11. Bepaal nu ook de frequentie, baansnelheid, hoeksnelheid en versnelling van de yo-yo.

#### 5. Waarnemingen

Formules:

$$\begin{aligned} T &= \frac{1}{f} & a &= \omega^2 r \\ v &= \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi f r & F_{cp} &= m \cdot a_{cp} \\ \omega &= \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f & I &= \frac{2 \cdot m \cdot g \cdot h}{\omega^2} \end{aligned}$$

Metaal (m=65,8 g):	10.T (s)	T (s)	f (Hertz)	t <sub>spintijd</sub> (s)	v (m/s)	ω (rad/s)	a (m/s <sup>2</sup> )	F <sub>cp</sub> (N)	I (kg·m <sup>2</sup> )
1	0,51	0,051	20	21,48	2,3	1,2E+02	2,8E+02	18	0,000072
2	0,46	0,046	22	20,71	2,5	1,4E+02	3,5E+02	23	0,000059
3	0,52	0,052	19	20,92	2,2	1,2E+02	2,7E+02	18	0,000075

<b>Metaal (m=65,8 g):</b>	<b>10.T (s)</b>	<b>T (s)</b>	<b>f (Hertz)</b>	<b>t<sub>spintijd</sub> (s)</b>	<b>v (m/s)</b>	<b>ω (rad/s)</b>	<b>a (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>cp</sub> (N)</b>	<b>I (kg·m<sup>2</sup>)</b>
4	0,41	0,041	24	33,00	2,8	1,5E+02	4,3E+02	29	0,000047
5	0,39	0,039	26	40,68	3,0	1,6E+02	4,8E+02	32	0,000042
6	0,53	0,053	19	53,05	2,2	1,2E+02	2,6E+02	17	0,000078
7	0,53	0,053	19	62,71	2,2	1,2E+02	2,6E+02	17	0,000078
8	0,39	0,039	26	74,52	3,0	1,6E+02	4,8E+02	32	0,000042
9	0,39	0,039	26	63,48	3,0	1,6E+02	4,8E+02	32	0,000042
10	0,63	0,063	16	50,91	1,8	1,0E+02	1,8E+02	12	0,00011
<b>Gemiddelde:</b>	<b>0,0476</b>	<b>21,5</b>	<b>44,146</b>	<b>2,50</b>	<b>1,35E+02</b>	<b>348</b>	<b>22,9</b>	<b>0,0000644</b>	

<b>Plastiek (m=70,2 g):</b>	<b>10T (s)</b>	<b>T (s)</b>	<b>f (Hertz)</b>	<b>t<sub>spintijd</sub> (s)</b>	<b>v (m/s)</b>	<b>ω (rad/s)</b>	<b>a (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>cp</sub> (N)</b>	<b>I (kg·m<sup>2</sup>)</b>
1	0,65	0,065	15	17,93	1,8	97	1,7E+02	12	0,00012
2	0,52	0,052	19	29,27	2,2	1,2E+02	2,7E+02	19	0,000080
3	0,39	0,039	26	22,14	3,0	1,6E+02	4,8E+02	34	0,000045
4	0,52	0,052	19	20,11	2,2	1,2E+02	2,7E+02	19	0,000080
5	0,39	0,039	26	36,77	3,0	1,6E+02	4,8E+02	34	0,000045
6	0,39	0,039	26	24,90	3,0	1,6E+02	4,8E+02	34	0,000045
7	0,66	0,066	15	19,78	1,8	9,5E+01	1,7E+02	12	0,00013
8	0,52	0,052	19	28,43	2,2	1,2E+02	2,7E+02	19	0,000080
9	0,39	0,039	26	30,98	3,0	1,6E+02	4,8E+02	34	0,000045
10	0,66	0,066	15	25,36	1,8	95	1,7E+02	12	0,00013
<b>Gemiddelde:</b>	<b>0,0509</b>	<b>20,6</b>	<b>25,567</b>	<b>2,39</b>	<b>129,4</b>	<b>324</b>	<b>22,7</b>	<b>0,000080</b>	

straal (m):	0,019
Lengte touw (cm):	84,7

## 6. Bespreking en berekeningen

• Formules:

$$T = \frac{1}{f} \qquad a = \omega^2 r$$

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi f r \qquad F_{cp} = m \cdot a_{cp}$$

$$\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

• Berekeningen:

Bv. 1<sup>ste</sup> rij uit de tabel van de metalen yo-yo:

$$f = \frac{1}{0,051} = 20 \text{ Hz}$$

$$v = \frac{(2 \cdot 0,0185 \cdot \pi)}{0,051} = 2,3 \text{ m/s}$$

$$\omega = \frac{(2 \cdot 0,0185)}{0,051} = 1,2 \cdot 10^2 \text{ rad/s}$$

$$a = (1,2 \cdot 10^2)^2 \cdot 0,0185 = 2,8 \cdot 10^2 \text{ m/s}^2$$

$$F_{cp} = 0,0658 \cdot 2,8 \cdot 10^2 = 18 \text{ N}$$

$$I = \frac{(2 \cdot 0,0658 \cdot 9,81 \cdot 0,847)}{(1,2 \cdot 10^2)^2} = 0,000072 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

• Bespreking:

Als men de tabellen tussen beide verbanden van elk materiaal gaat analyseren valt er te concluderen dat er bij metalen yo-yo's in het algemeen betere resultaten te verkrijgen zijn. Dit wil dus zeggen dat de metalen yo-yo beter is op elk aspect dat bestudeerd werd tijdens de proef.

## 7. Besluit

- 1) De periode van de metalen yo-yo is kleiner in vergelijking met die van de plasticen yo-yo.
- 2) De spintijd bij de metalen yo-yo is groter in vergelijking met die van de plasticen yo-yo.
- 3) De baansnelheid van de metalen yo-yo is groter in vergelijking met die van de plasticen yo-yo.
- 4) De hoeksnelheid van de metalen yo-yo is groter in vergelijking met die van de plasticen yo-yo.
- 5) De versnelling tijdens de draaibeweging van de metalen yo-yo is groter in vergelijking met die van de plasticen yo-yo.
- 6) De centripetale kracht van de metalen yo-yo is groter in vergelijking met die van de plasticen yo-yo.

## 8. Reflectie

De proef verliep goed en efficiënt door de goeie samenwerking en de verdeling van alle taken. Er vonden geen grote complicaties plaats. De proeven zelf uitvoeren was niet ingewikkeld door het goede voorbereidingswerk. Het enige wat soms fout liep was dat de cameraman soms te vroeg startte met filmen waardoor we de proef opnieuw moesten uitvoeren en hierdoor een beetje tijd verloren, wat uiteindelijk geen probleem vormde aangezien er voldoende tijd was.



## 7. Onderzoek 2: De kogellager of ‘ball bearing’

### 1. Onderzoeksvragen

Heeft de aanwezigheid van een kogellager (‘ball bearing’) invloed op de spintijd?

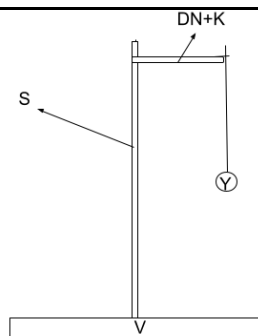
### 2. Hypotheses

Als er een kogellager aanwezig is zal de spintijd groter zijn dan bij een yo-yo zonder kogellager.

### 3. Opstelling en benodigdheden

yo-yo's met verschillende bearings (Y)	GSM Chronometer (NK: 0,01 s)
Statief (S)	Statiefvoet (V)
Dubbele noot + Statiefklem (DN+K)	Balans (NK.: 0,1g)

Opstelling:



**Figuur 10: Proefopstelling onderzoek 2**

**Figuur 11: Kogellager van metalen yo-yo**



### 4. Werkwijze

1. Maak de opstelling zoals weergegeven op de figuur.
2. Neem een yo-yo zonder ball bearing en hang deze aan de statiefklem.
3. Laat deze naar beneden rollen en meet de tijd tot de yo-yo stopt met spinnen.
4. Noteer de waarnemingen in een tabel.
5. Herhaal deze werkwijze opnieuw met een yo-yo die wel een ball bearing bezit.
6. Vergelijk de gevonden resultaten en bespreek deze.

## 5. Waarnemingen

Tabellen:

Met bearing:	t(s)
1	10,68
2	12,38
3	14,75
4	9,94
5	9,79
gemiddelde:	11,51

Zonder bearing:	t(s)
1	8,05
2	7,02
3	5,00
4	6,85
5	7,36
gemiddelde:	6,856

m (yo-yo) (g)	57,9
m (yo-yo) (kg)	0,0579

m (yo-yo) (g)	56,3
m (yo-yo) (kg)	0,0563

l(yo-yo) (m)	1,024
--------------	-------

## 6. Bespreking en berekeningen

• Berekeningen:

Niet van toepassing

• Bespreking:

Indien de andere beïnvloedende factoren constant kunnen gehouden worden zal de yo-yo met een kogellager langer spinnen dan een yo-yo zonder een kogellager.

Extra: Er is niet echt een logische verklaring te vinden achter hoe lang een yo-yo precies spint, want als men deze metingen vergelijkt met vorige dan is er geen duidelijk verband zichtbaar.

## 7. Besluit

Indien een kogellager aanwezig is, zal er een langere spintijd gemeten worden.

## 8. Reflectie

Indien er geen kogellager aanwezig is in de yo-yo zal deze bij het neerlaten terug omhoog springen waardoor dit soms onnauwkeurigheden veroorzaakt.

Het practicum is goed verlopen. Er waren geen grote moeilijkheden tijdens het uitvoeren van de proef, echter is de toevoeging van een kogellager wel ook een toevoeging van massa waardoor de resultaten zullen afwijken van de theorie, door de toevoeging van deze massa is er sowieso al meer energie waardoor de yo-yo dus langer zal spinnen.

## **8. Onderzoek 3: De lengte**

### **1. Onderzoeksvragen**

- Hoofdonderzoek: Wat is de invloed van de lengte van het touw van de yo-yo?
- Onderzoeksvragen:
  - 1) Wat is het verband tussen de lengte van het touw en de frequentie?
  - 2) Wat is het verband tussen de lengte van het touw en de spintijd?
  - 3) Wat is het verband tussen de lengte van het touw en de baansnelheid in zijn laagste toestand?
  - 4) Wat is het verband tussen de lengte van het touw en de hoeksnelheid van een yo-yo tijdens de draaibeweging in zijn laagste toestand?
  - 5) Wat is het verband tussen de lengte van het touw en de versnelling van een yo-yo tijdens de draaibeweging in zijn laagste punt?
  - 6) Wat is het verband tussen de lengte van het touw en het traagheidsmoment van de yo-yo?

### **2. Hypotheses**

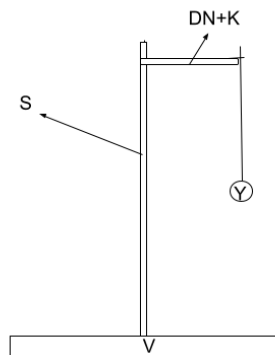
- 1) Er bestaat een recht evenredig verband tussen de lengte van het touw en de frequentie.
- 2) Er bestaat een omgekeerd evenredig verband tussen de lengte van het touw en de spintijd.
- 3) Er bestaat een recht evenredig verband tussen de lengte van het touw en de baansnelheid tijdens de draaibeweging in zijn laagste toestand.
- 4) Er bestaat een recht evenredig verband tussen de lengte van het touw en de hoeksnelheid in zijn laagste toestand.
- 5) Er bestaat een recht evenredig verband tussen de lengte van het touw en de versnelling tijdens de draaibeweging in zijn laagste punt.
- 6) Er bestaat een omgekeerd evenredig verband tussen de lengte van het touw en het traagheidsmoment van de yo-yo.

### 3. Opstelling en benodigdheden

yo-yo (Y)	GSM Chronometer (NK: 0,01 s)
Statief (S)	Statiefvoet (V)
Dubbele noot + Statiefklem (DN+K)	Verschillende lengtes touw
GSM (super-slow motion)	Go-Motion sensor + Logger lite
Laptop (Spreadsheet)	

**Figuur 12: Proefopstelling onderzoek 3**

Opstelling:



### 4. Werkwijze

1. Start met de opstelling te maken zoals weergegeven op bovenstaande illustratie.
2. Zet een camera uitgerust met de super slow-motion functie op de meest efficiënte plaats. (TIP: zorg dat hij de volledige yo-yo en de chronometer ziet)
3. Markeer een bepaald punt op de yo-yo met een stip om zo gemakkelijk te achterhalen wanneer de yo-yo één volledige cirkelbeweging heeft gemaakt.
4. Start het programma Logger-Lite op en zet de tijd van de motion sensor op 10 seconden.
5. Rol de yo-yo zorgvuldig (knopen vermijden) op en hang hem aan de statief (wacht met loslaten!).
6. Start de chronometer en laat de yo-yo los zonder extra kracht toe te voegen, zorg dat de yo-yo in een rechte lijn naar beneden valt om onnauwkeurigheden te vermijden.
7. Bekijk vervolgens de opgenomen beelden.
8. Noteer je waarnemingen in een Spreadsheets bestand.
9. Herhaal dit proces nog minstens 9 keer, maar verander de lengte van het touw iedere keer.

## 5. Waarnemingen

Tabellen:

1. Frequentie						
	l (cm)	l (m)	10T (s)	T (s)	f (Hertz)	$\frac{f}{l} \left(\frac{Hz}{m}\right)$
1	95,6	0,956	0,46	0,046	22	23
2	91,2	0,912	0,53	0,053	19	21
3	85,1	0,851	0,45	0,045	22	26
4	79,7	0,797	0,52	0,052	19	24
5	73,6	0,736	0,59	0,059	17	23
6	69,4	0,694	0,52	0,052	19	28
7	63,3	0,633	0,65	0,065	15	24
8	54,6	0,546	0,85	0,085	12	22
9	50,8	0,508	0,85	0,085	12	23
10	40,7	0,407	0,92	0,092	11	27
					Gemiddelde:	24,0

2. Spintijd			
	l (cm)	l (m)	t (s)
1	95,6	0,956	34,32
2	91,2	0,912	32,86
3	85,1	0,851	28,76
4	79,7	0,797	30,89
5	73,6	0,736	18,00
6	69,4	0,694	21,64
7	63,3	0,633	36,30
8	54,6	0,546	18,49
9	50,8	0,508	30,85
10	40,7	0,407	33,41

3. Baansnelheid						
	l (cm)	l (m)	T(s)	v (m/s)	v (km/h)	$\frac{v}{l} \left(\frac{1}{s}\right)$
1	95,6	0,956	0,046	2,5	9,1	2,6
2	91,2	0,912	0,053	2,2	7,9	2,4

	l (cm)	l (m)	T(s)	v (m/s)	v (km/h)	$\frac{v}{l}$ (1/s)
3	85,1	0,851	0,045	2,6	9,3	3,0
4	79,7	0,797	0,052	2,2	8,0	2,8
5	73,6	0,736	0,059	2,0	7,1	2,7
6	69,4	0,694	0,052	2,2	8,0	3,2
7	63,3	0,633	0,065	1,8	6,4	2,8
8	54,6	0,546	0,085	1,4	4,9	2,5
9	50,8	0,508	0,085	1,4	4,9	2,7
10	40,7	0,407	0,079	1,5	5,3	3,6
					Gemiddelde:	2,84

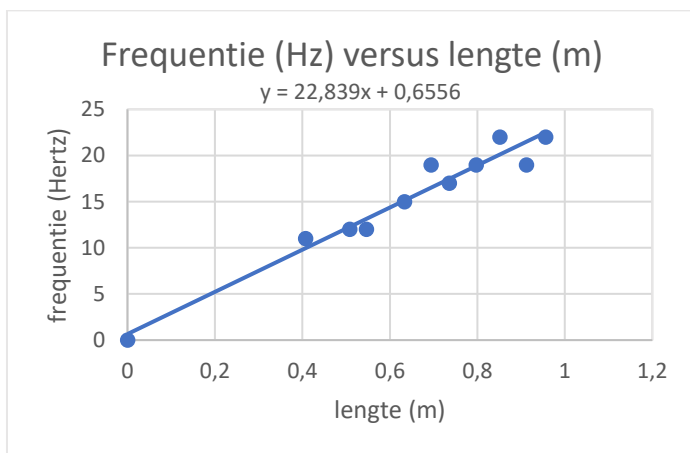
4. Hoeksnelheid						
	l (cm)	l (m)	T(s)	$\omega$ (rad/s)	$\frac{\omega}{l}$ (rad/(s·m))	
1	95,6	0,956	0,046	1,4E+02	1,4E+02	
2	91,2	0,912	0,053	1,2E+02	1,3E+02	
3	85,1	0,851	0,045	1,4E+02	1,6E+02	
4	79,7	0,797	0,052	1,2E+02	1,5E+02	
5	73,6	0,736	0,059	1,1E+02	1,4E+02	
6	69,4	0,694	0,052	1,2E+02	1,7E+02	
7	63,3	0,633	0,065	97	1,5E+02	
8	54,6	0,546	0,085	74	1,4E+02	
9	50,8	0,508	0,085	74	1,5E+02	
10	40,7	0,407	0,079	80	2,0E+02	
				Gemiddelde:	1,54E+02	

5. Versnelling						
	l (cm)	l (m)	T(s)	a (m/s <sup>2</sup> )	$\frac{a}{l^2}$ (1/s <sup>2</sup> ·m)	
1	95,6	0,956	0,046	3,5E+02	3,8E+02	
2	91,2	0,912	0,053	2,6E+02	3,1E+02	
3	85,1	0,851	0,045	3,6E+02	5,0E+02	
4	79,7	0,797	0,052	2,7E+02	4,3E+02	
5	73,6	0,736	0,059	2,1E+02	3,9E+02	
6	69,4	0,694	0,052	2,7E+02	5,6E+02	
7	63,3	0,633	0,065	1,7E+02	4,3E+02	

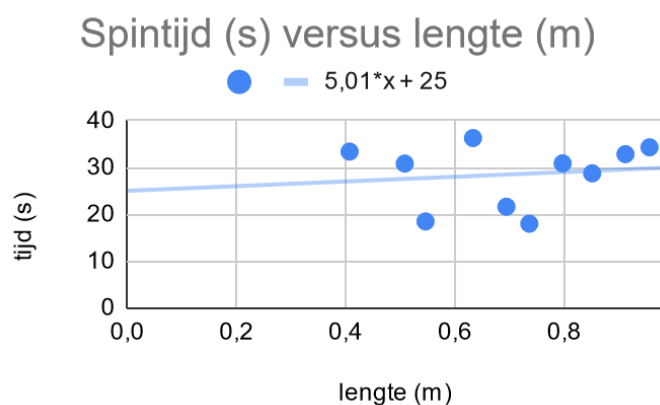
	l (cm)	l (m)	T(s)	a (m/s <sup>2</sup> )	$\frac{a}{l^2}$ (1/s <sup>2</sup> ·m)
8	54,6	0,546	0,085	1,0E+02	3,4E+02
9	50,8	0,508	0,085	1,0E+02	3,9E+02
10	40,7	0,407	0,079	1,2E+02	7,1E+02
				Gemiddelde:	4,43E+02

6.Traagheidsmoment	l (cm)	l (m)	T(s)	$\omega$ (rad/s)	I (kg.m <sup>2</sup> )	I (kg.m <sup>2</sup> )*l (m)
1	95,6	0,956	0,046	1,4E+02	5,8E-05	5,6E-05
2	91,2	0,912	0,053	1,2E+02	7,4E-05	6,7E-05
3	85,1	0,851	0,045	1,4E+02	5,0E-05	4,2E-05
4	79,7	0,797	0,052	1,2E+02	6,2E-05	4,9E-05
5	73,6	0,736	0,059	1,1E+02	7,4E-05	5,4E-05
6	69,4	0,694	0,052	1,2E+02	5,4E-05	3,7E-05
7	63,3	0,633	0,065	97	7,7E-05	4,9E-05
8	54,6	0,546	0,085	74	1,1E-04	6,2E-05
9	50,8	0,508	0,085	74	1,1E-04	5,4E-05
10	40,7	0,407	0,079	80	7,3E-05	3,0E-05
					Gemiddelde:	5,0E-05

Grafieken:

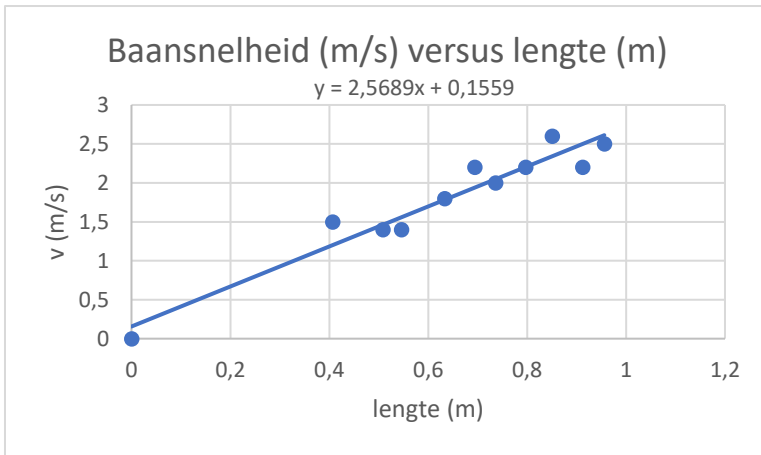


Correlatiecoëfficiënt = 0,927

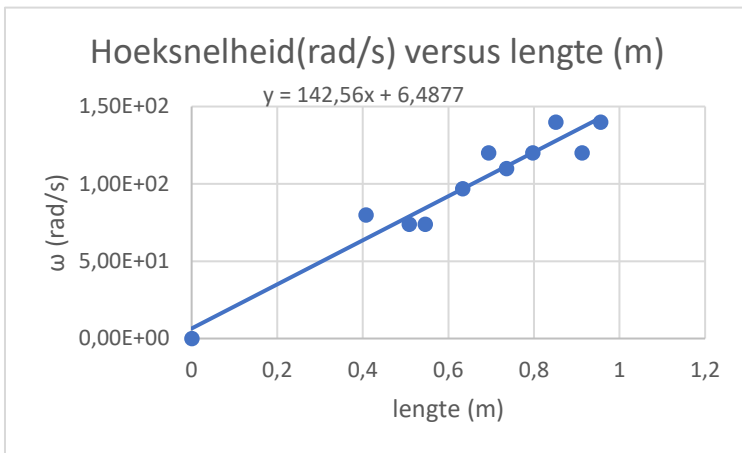


Correlatiecoëfficiënt = 0,135



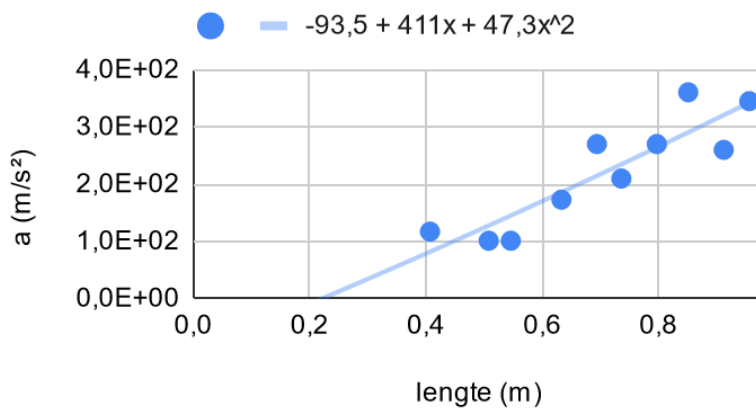


Correlatiecoëfficiënt = 0,903

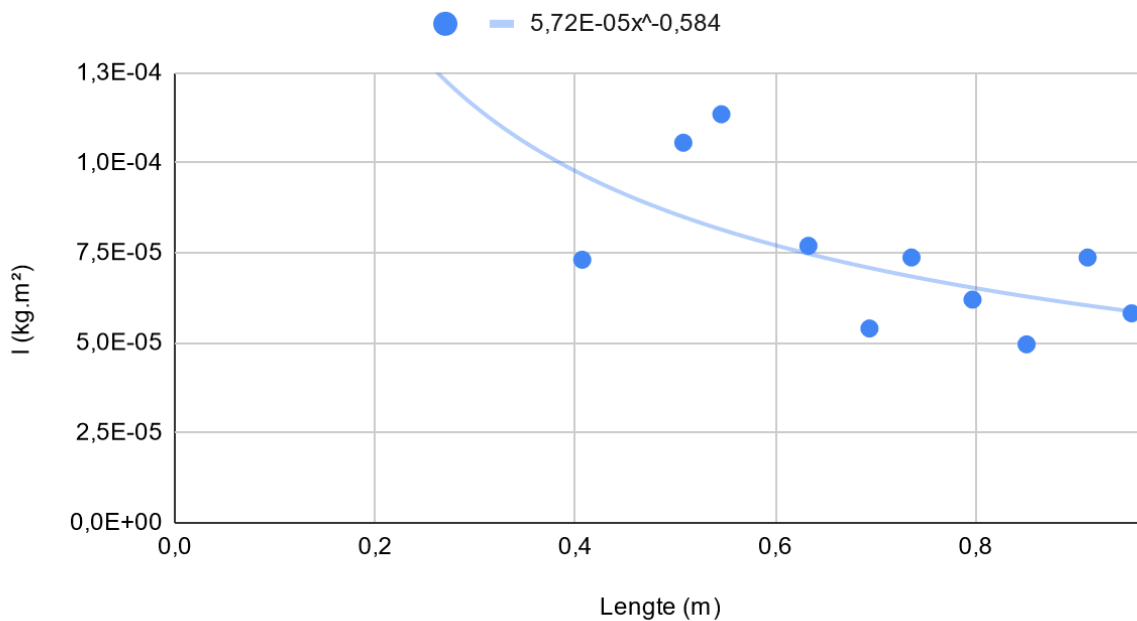


Correlatiecoëfficiënt = 0,903

### Versnelling (m/s<sup>2</sup>) versus lengte (m)



## Traagheidsmoment (kg.m<sup>2</sup>) versus Lengte (m)



### 6. Bespreking en berekeningen

• Formules:

$$T = \frac{1}{f} \quad a = \omega^2 r$$

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi f r \quad I = \frac{2 \cdot m \cdot g \cdot h}{\omega^2}$$

$$\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

#### 1) Lengte versus frequentie

• Berekeningen:

$$T = \frac{0,46}{10} = 0,046 \text{ s} \rightarrow f = \frac{1}{0,046} = 22 \text{ Hz}$$

$$\text{Constante: } \frac{f}{l} = \frac{22}{0,956} = 24,0 \text{ Hz/m}$$

• Bespreking:

In de tabel valt er te zien dat wanneer de lengte van het touw daalt, de frequentie ook daalt en dat de lengte gedeeld door de frequentie een constante aangeeft. Dit duidt op een recht evenredig verband. Ook zien we in de grafiek dat er min of meer een rechte door de oorsprong bestaat tussen de frequentie en de lengte. Dit duidt ook op een recht evenredig verband tussen de lengte van het touw en de frequentie. De correlatiecoëfficiënt is hier ook sterk positief lineair.

## 2) Lengte versus de totale spintijd

- Berekeningen:

Niet van toepassing

- Bespreking:

Bij verschillende lengtes blijft de spintijd constant afdoende van een paar onnauwkeurigheden. Op de grafiek zien we een rechte die evenwijdig is met de horizontale as, wat erop wijst dat er een constant verband is tussen de lengte (m) en de tijd (s). De totale spintijd is dus onafhankelijk van de lengte van het touw.

In de laatste kolom in de tabel zien we dat  $t$  (s) constant blijft wat erop wijst dat de lengte van het touw de spintijd niet beïnvloedt. De correlatiecoëfficiënt is hier ook zodanig zwak dat men kan zeggen dat er geen correlatie aanwezig is. Hierdoor is het duidelijk dat de lengte de spintijd niet zal beïnvloeden.

## 3) Lengte versus baansnelheid

- Berekeningen:

$$v = \frac{(2 \cdot \pi) \cdot 0,0185}{0,046} = 2,5 \text{ m/s}$$

$$\text{Constante: } \frac{v}{l} = \frac{2,5}{0,956} = 2,6 \text{ s}^{-1}$$

- Bespreking:

Op de grafiek zien we een rechte door de oorsprong wat erop wijst dat er een recht evenredig verband is tussen de snelheid (m/s) en lengte (m). In de laatste kolom in de tabel zien we dat  $v$  (m/s)/lengte (m) constant is wat erop wijst dat er een recht evenredig verband is tussen de snelheid (m/s) en de lengte (m). De correlatiecoëfficiënt is hier ook sterk positief lineair.

## 4) Lengte versus hoeksnelheid

- Berekeningen:

$$\omega \text{ (rad/s)} = \frac{(2 \cdot \pi)}{0,046} = 137 \text{ rad/s}$$

$$\text{Constante: } \frac{\omega}{l} = \frac{137}{0,956} = 143 \text{ rad/s} \cdot \text{m}$$

- Bespreking:

Op de grafiek zien we een rechte door de oorsprong wat erop wijst dat er een recht evenredig verband is tussen de hoeksnelheid  $\omega$  (rad/s) en de lengte  $l$  (m). In de laatste kolom in de tabel zien we dat  $\omega$  (rad/s)/ $l$ (m) constant is wat erop wijst dat er een recht

evenredig verband is tussen  $\omega$  (rad/s) en  $l$  (m). De correlatiecoëfficiënt is hier ook sterk positief linear.

#### 5) Lengte versus versnelling

• Berekeningen:

$$a = 137^2 \cdot 0,0185 = 345 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Constante: } \frac{a}{l^2} = \frac{345}{0,956^2} = 3,8 \cdot 10^2 \text{ (s}^2 \cdot \text{m)}^{-1}$$

• Bespreking:

In de laatste kolom in de tabel zien we dat  $a \text{ (m/s}^2\text{)}/l^2 \text{ (m}^2\text{)}$  constant is wat erop wijst dat er een kwadratisch verband is tussen  $a \text{ (m/s}^2\text{)}$  en  $l \text{ (m)}$ . Op de grafiek zien we een parabool, wat wijst op een kwadratisch verband tussen  $a \text{ (m/s}^2\text{)}$  en  $l \text{ (m)}$ .

#### 6) Lengte versus traagheidsmoment

• Berekeningen:

$$\text{Traagheidsmoment: } I = \frac{2 \cdot m \cdot g \cdot h}{\omega^2}$$

$$I = \frac{2 \cdot 0,0579 \cdot 9,81 \cdot 0,956}{(1,4 \cdot 10^2)^2} = 5,8 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

• Bespreking:

Als men een constante massa neemt en de gravitatie hetzelfde is gedurende heel de proef kan men deze verwaarlozen voor het verband tussen het traagheidsmoment en de lengte te vinden aan de hand van de formule,  $I \sim \frac{h}{\omega^2}$ . Als men de hoeksnelheid vervangt door de formule om het te bekomen en men de hoogte veranderd door de lengte (want in deze proef is de hoogte = de lengte van het touw) dan bekomt men volgende formule:  $I \sim \frac{l}{(2 \cdot \pi \cdot f)^2} \sim \frac{l}{f^2}$ . Uit bespreking 1 van dit onderzoek is het ook duidelijk dat er een recht evenredig verband bestaat tussen de lengte van het touw en de frequentie, hierdoor kan men de formule omvormen naar volgende formule en zo een duidelijk verband vinden:  $I \sim \frac{l}{l^2} \sim \frac{1}{l}$ . Hieruit wordt er dus geconcludeerd dat er een omgekeerd evenredig verband bestaat tussen de lengte van het touw en het traagheidsmoment van een yo-yo. Dit is ook deels te zien in de grafiek omdat men een deel van een tak van een hyperbool kan zien, wat ook op een omgekeerd evenredig verband wijst.

## 7. Besluit

- 1) Er bestaat een recht evenredig verband tussen de frequentie van de yo-yo en de lengte van het touw.
- 2) De spintijd van een yo-yo is onafhankelijk van de lengte van het touw van de yo-yo.
- 3) Er bestaat een recht evenredig verband tussen de snelheid van de yo-yo tijdens de draaibeweging en de lengte van het touw.
- 4) Er bestaat een recht evenredig verband tussen de hoeksnelheid van een yo-yo en de lengte van het touw.
- 5) Er bestaat een kwadratisch verband tussen de versnelling van de yo-yo tijdens de draaibeweging en de lengte van het touw.
- 6) Er bestaat een omgekeerd evenredig verband tussen de lengte van het touw en het traagheidsmoment van de yo-yo.

## 8. Reflectie

Over het algemeen verliepen de proeven vrij goed en efficiënt doordat de taken goed verdeeld waren en we goed als een team kunnen werken. Bij de proef waarbij de spintijd wordt onderzocht, viel op dat bij kortere lengtes de metingen heel moeilijk waren. Hierdoor zullen de metingen bij korte lengtes onnauwkeurigheden bevatten.

Ook zorgt het touw voor wrijving waardoor er ook kleine onnauwkeurigheden ontstaan, maar dit is onvermijdelijk. Door de paar onnauwkeurigheden was het soms wel moeilijk om tot een duidelijke constante te komen.

## 9. Onderzoek 4: De massa

### 1. Onderzoeksvragen

- Hoofdonderzoek: Wat is de invloed van de massa van de yo-yo?
- Onderzoeksvragen:
  - 1) Wat is het verband tussen de massa van een yo-yo en het traagheidsmoment van de yo-yo?

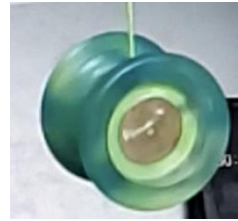
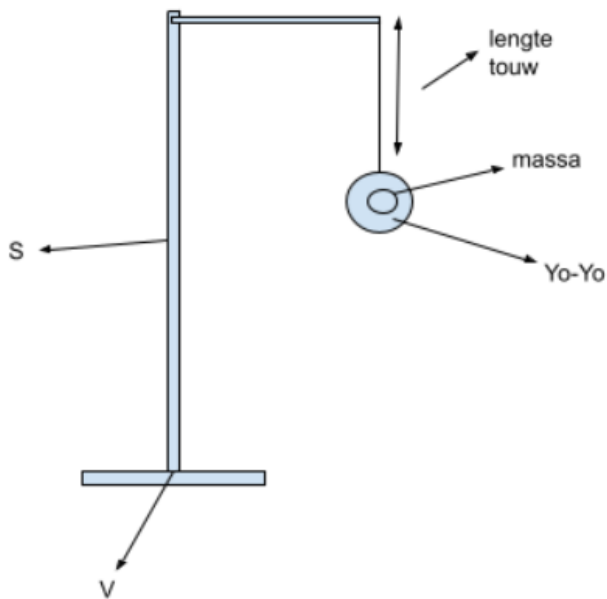
### 2. Hypotheses

- 1) Er bestaat een recht evenredig verband tussen de massa van een yo-yo en het traagheidsmoment van de yo-yo.

### 3. Opstelling en benodigdheden

Yo-yo (Y)	GSM Chronometer (NK: 0,01 s)
Statief (S)	Statiefvoet (V)
Dubbele noot + Statiefklem	Verschillende touwlengtes
GSM (slow motion)	Laptop (Spreadsheets) + oplader
Balans (NK.: 0,1g)	Go-Motion sensor + Logger Lite
Meetlat (NK.: 0,1cm)	Verschillende massa's
Plakband	

Opstelling:



Figuur 14: Massa in het midden



Figuur 13: Massa aan de rand



#### 4. Werkwijze

1. Start met de opstelling te maken zoals weergegeven op bovenstaande illustratie.
2. Zet een camera uitgerust met de super slow-motion functie op de meest efficiënte plaats zodat hij de volledige yo-yo en de chronometer ziet.
3. Markeer een bepaald punt op de yo-yo met een stip om zo gemakkelijk te achterhalen wanneer de yo-yo één volledige cirkelbeweging heeft gemaakt.
4. Hang een massa aan de zijkant van de yo-yo vast met behulp van plakband.
5. Start het programma Logger-Lite op en zet de tijd van de motion sensor op 10 seconden.
6. Rol de yo-yo zorgvuldig (knopen vermijden) op en hang hem aan de statief (wacht met loslaten!).
7. Start de chronometer samen met het programma en laat de yo-yo los zonder extra kracht toe te voegen, zorg dat de yo-yo in een rechte lijn naar beneden valt om onnauwkeurigheden te vermijden.
8. Start de camera wanneer de yo-yo bijna het onderste punt van zijn valbeweging heeft bereikt. (De camera zal voor 0,8 seconden filmen) (Te zien in Logger-Lite bij de 1ste piek → Hier pas filmen).
9. Bekijk vervolgens de opgenomen beelden en lees voor de eerste 10 periodes de tijd af.

10. Meet de lengte van het touw dat gebruikt werd en hou dit constant voor de andere massa's.
11. Noteer je waarnemingen in een Spreadsheets bestand.
12. Herhaal de proef vanaf stap vier opnieuw maar voeg nu een extra massa toe. Doe dit nog drie keer zodanig dat er in totaal per lengte van een touw vijf verschillende massa's gebruikt zijn.
13. Herhaal de proef nu nog eens opnieuw maar verander de lengte van het touw. Doe dit vijf keer zodanig dat er voor vijf verschillende lengtes touw vijf verschillende massa's gebruikt zijn (→ in totaal 25 metingen).
14. Bepaal nu ook de frequentie, de spintijd, de snelheid, de hoeksnelheid, de versnelling, en het traagheidsmoment.

## 5. Waarnemingen

Tabellen:

<b>Massa 1 in midden: 0,0748 kg</b>	<b>Lengte (m)</b>	<b>10T (s)</b>	<b>T (s)</b>	<b>f (Hertz)</b>	<b>t (s)</b>	<b>v (m/s)</b>	<b><math>\omega</math> (rad/s)</b>	<b>a (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>I (kg.m<sup>2</sup>)</b>
1	1,119	0,26	0,026	38	21,64	4,5	2,4E+02	1,1E+03	0,000028
2	0,927	0,33	0,033	30	26,36	3,5	1,9E+02	6,7E+02	0,000038
3	0,832	0,59	0,059	17	24,39	2,0	1,1E+02	2,1E+02	0,00011
4	0,743	0,52	0,052	19	16,66	2,2	1,2E+02	2,7E+02	0,000075
5	0,568	0,53	0,053	19	18,15	2,2	1,2E+02	2,6E+02	0,000059
<b>Massa 2 in midden: 0,0794 kg</b>	<b>Lengte (m)</b>	<b>10T (s)</b>	<b>T (s)</b>	<b>f (Hertz)</b>	<b>t (s)</b>	<b>v (m/s)</b>	<b><math>\omega</math> (rad/s)</b>	<b>a (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>I (kg.m<sup>2</sup>)</b>
1	1,119	0,33	0,033	30	10,75	3,5	1,9E+02	6,7E+02	0,000048
2	0,927	0,40	0,040	25	18,91	2,9	1,6E+02	4,6E+02	0,000059
3	0,832	0,39	0,039	26	12,82	3,0	1,6E+02	4,8E+02	0,000050
4	0,743	0,40	0,040	25	40,71	2,9	1,6E+02	4,6E+02	0,000047
5	0,568	0,39	0,039	26	10,88	3,0	1,6E+02	4,8E+02	0,000034
<b>Massa 3 in midden: 0,0834 kg</b>	<b>Lengte (m)</b>	<b>10T (s)</b>	<b>T (s)</b>	<b>f (Hertz)</b>	<b>t (s)</b>	<b>v (m/s)</b>	<b><math>\omega</math> (rad/s)</b>	<b>a (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>I (kg.m<sup>2</sup>)</b>
1	1,119	0,19	0,019	53	18,20	6,1	3,3E+02	2,0E+03	0,000017
2	0,927	0,39	0,039	26	20,89	3,0	1,6E+02	4,8E+02	0,000058
3	0,832	0,27	0,027	37	11,75	4,3	2,3E+02	1,0E+03	0,000025
4	0,743	0,46	0,046	22	13,92	2,5	1,4E+02	3,5E+02	0,000065



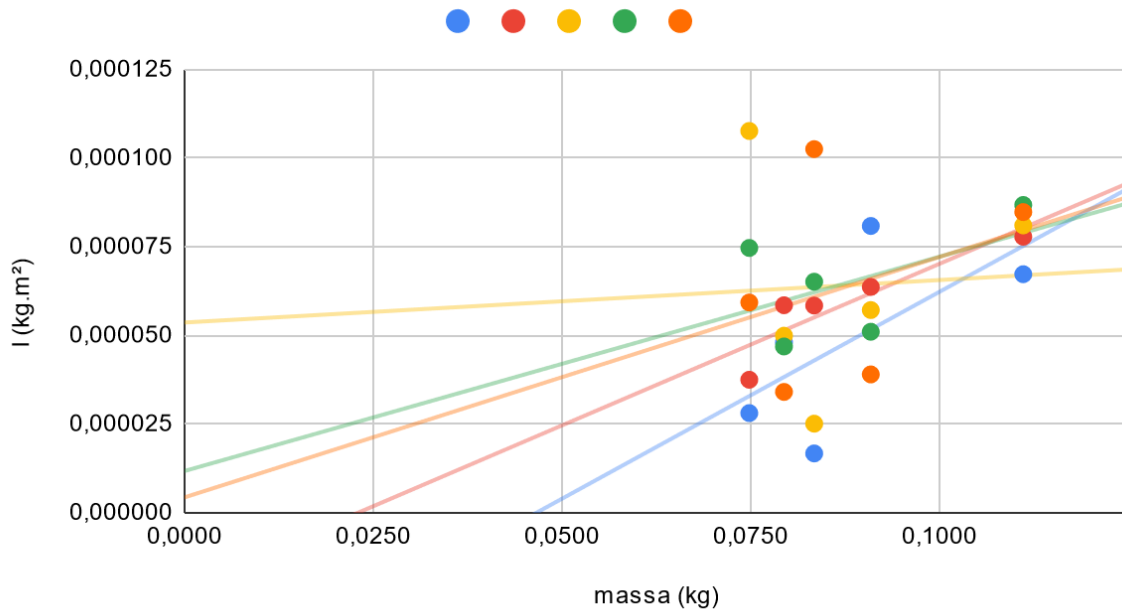
<b>Massa 3 in midden: 0,0834 kg</b>		<b>Lengte (m)</b>	<b>10T (s)</b>	<b>T (s)</b>	<b>f (Hertz)</b>	<b>t (s)</b>	<b>v (m/s)</b>	<b><math>\omega</math> (rad/s)</b>	<b>a (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>I (kg.m<sup>2</sup>)</b>
5	0,568	0,66	0,066	15	9,22	1,8	95	1,7E+02	0,00010	
<b>Massa 4 in midden: 0,0909 kg</b>		<b>Lengte (m)</b>	<b>10T (s)</b>	<b>T (s)</b>	<b>f (Hertz)</b>	<b>t (s)</b>	<b>v (m/s)</b>	<b><math>\omega</math> (rad/s)</b>	<b>a (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>I (kg.m<sup>2</sup>)</b>
1	1,119	0,40	0,040	25	13,50	2,9	1,6E+02	4,6E+02	0,000081	
2	0,927	0,39	0,039	26	12,68	3,0	1,6E+02	4,8E+02	0,000064	
3	0,832	0,39	0,039	26	19,94	3,0	1,6E+02	4,8E+02	0,000057	
4	0,743	0,39	0,039	26	28,75	3,0	1,6E+02	4,8E+02	0,000051	
5	0,568	0,39	0,039	26	8,96	3,0	1,6E+02	4,8E+02	0,000039	
<b>Massa 5 in midden: 0,1111 kg</b>		<b>Lengte (m)</b>	<b>10T (s)</b>	<b>T (s)</b>	<b>f (Hertz)</b>	<b>t (s)</b>	<b>v (m/s)</b>	<b><math>\omega</math> (rad/s)</b>	<b>a (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>I (kg.m<sup>2</sup>)</b>
1	1,119	0,33	0,033	30	19,84	3,5	1,9E+02	6,7E+02	0,000067	
2	0,927	0,39	0,039	26	21,30	3,0	1,6E+02	4,8E+02	0,000078	
3	0,832	0,42	0,042	24	18,65	2,8	1,5E+02	4,1E+02	0,000081	
4	0,743	0,46	0,046	22	22,93	2,5	1,4E+02	3,5E+02	0,000087	
5	0,568	0,52	0,052	19	11,95	2,2	1,2E+02	2,7E+02	0,000085	

<b>Massa 1 aan rand (sym): 0,0922</b>		<b>Lengte (m)</b>	<b>10T (s)</b>	<b>T (s)</b>	<b>f (Hertz)</b>	<b>t (s)</b>	<b>v (m/s)</b>	<b><math>\omega</math> (rad/s)</b>	<b>a (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>I (kg*m<sup>2</sup>)</b>
1	1,119	0,33	0,033	30	16,41	3,5	1,9E+02	6,7E+02	0,000056	
2	0,997	0,53	0,053	19	15,63	2,2	1,2E+02	2,6E+02	0,00014	
3	0,932	0,39	0,039	26	18,07	3,0	1,6E+02	4,8E+02	0,000078	
4	0,916	0,46	0,046	22	20,51	2,5	1,4E+02	3,5E+02	0,00011	
5	0,836	0,58	0,058	17	17,06	2,0	1,1E+02	2,2E+02	0,00017	

	<b>lengte 1</b>	<b>lengte 2</b>	<b>lengte 3</b>	<b>lengte 4</b>	<b>lengte 5</b>
<b>massa (kg)</b>	<b>Traagheidsmoment (kg.m<sup>2</sup>)</b>				
0,0748	0,000028	0,000038	0,000108	0,000075	0,000059
0,0794	0,000048	0,000059	0,000050	0,000047	0,000034
0,0834	0,000017	0,000058	0,000025	0,000065	0,000103
0,0909	0,000081	0,000064	0,000057	0,000051	0,000039
0,1111	6,73E-05	7,79E-05	8,10E-05	8,68E-05	8,48E-05

Grafieken:

### Traagheidsmoment (kg.m<sup>2</sup>) versus massa (kg)



## 6. Bespreking en berekeningen

### 1) Lengte versus Traagheidsmoment

• Berekeningen:

$$\text{Traagheidsmoment: } I = \frac{2 \cdot m \cdot g \cdot h}{\omega^2}$$

$$I = \frac{2 \cdot 0,0748 \cdot 9,81 \cdot 1,119}{(2,4 \cdot 10^2)^2} = 2,8 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

• Bespreking:

Uit de grafiek valt er af te leiden dat het verband tussen het traagheidsmoment (kg.m<sup>2</sup>) van de yo-yo en de massa de yo-yo (kg) positief lineair is. Als de massa (kg) stijgt zal het traagheidsmoment (kg.m<sup>2</sup>) ook stijgen wat nogmaals op een positief lineair verband wijst. In theorie zou er echter een recht evenredig verband tussen de massa van een yo-yo en zijn traagheidsmoment moeten zijn. Aangezien  $I \sim \frac{h}{\omega^2} \sim \frac{1}{l}$  is  $I \sim m$  (want alle andere grootheden blijven constant).

## 7. Besluit

- 1) Er bestaat een recht evenredig verband tussen de massa van een yo-yo en het traagheidsmoment van de yo-yo.

## 8. Reflectie

Het onderzoek verliep vlot en efficiënt door de taakverdeling en het goede samenwerken. In de tabel valt op dat sommige waarden vrij ver liggen van andere waarden, waardoor op de grafiek te zien is dat de rechten niet mooi één bepaald verband vormen, waardoor het niet gemakkelijk was om hier goede besluiten en conclusies uit te trekken. Dit komt volgens ons deels doordat de massa ervoor zorgt dat de yo-yo niet 100% in balans is, waardoor de metingen dus zullen afwijken. Ook hebben we tijdens het uitvoeren van de proef opgemerkt dat men de massa's niet aan de buitenkant van de yo-yo kunnen bevestigen. Dit omdat de yo-yo zich niet in balans kon houden en metingen op deze manier dus niet konden gemaakt worden zonder extreme uitschieters. Uiteindelijk door hulp van de leerkracht vonden we een positief lineair verband. We kwamen ook wel goede waardes uit zoals ● deze is wel eerder recht evenredig aangezien hij bijna door het nulpunt gaat.

## 10. Onderzoek 5: De kracht

### 1. Onderzoeksvragen

- 1) Wat is het verschil tussen een unresponsive en een responsive yo-yo bij het meten van de kracht bij verschillende krachtpieken?
- 2) Wat is het verband tussen de lengte van het touw en de kracht bij de verschillende krachtpieken?

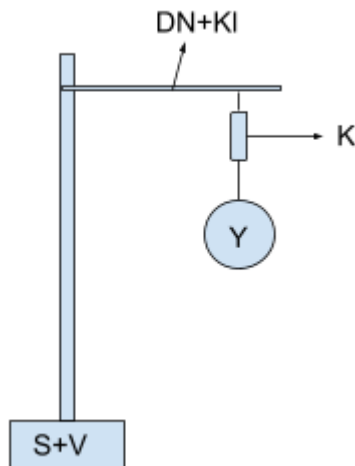
### 2. Hypotheses

- 1) De unresponsive yo-yo zal een grotere kracht bereiken dan de responsive yo-yo.
- 2) Er bestaat een recht evenredig verband tussen de kracht over de verschillende krachtpieken en de lengte van het touw.

### 3. Opstelling en benodigdheden

Yo-yo (Y)	Dubbele noot + klem (DN + KL)
Laptop + oplader	Meetlat (NK: 0,1 cm)
Vernier krachtmeter (NK.: 0,01 N) (K)	Balans (NK.:0,1g)
Statief + voet (S+V)	

Opstelling:



Figuur 16: Proefopstelling onderzoek 5

#### 4. Werkwijze

1. Maak de opstelling zoals hierboven weergegeven op de illustratie.
2. Start het programma Vernier Graphical Analysis op en verander de te meten tijd naar 15-20 seconden (Dit kan door op de knop data collectie te klikken en het interval te veranderen).
3. Meet de massa van de yo-yo en noteer deze in de tabel.
4. Verbind via een knoop de yo-yo met de krachtmeter.
5. Start de meting op de computer vooraleer de yo-yo te laten vallen.
6. Laat de yo-yo vallen en noteer de gevonden waardes voor de krachtpieken in de tabel.
7. Optioneel kan men ook de grafiek opslaan door deze te exporteren om hier later op terug te blikken.
8. Verander de lengte van het touw en herhaal deze stappen minimum 4 maal.

#### 5. Waarnemingen

Tabellen:

Lengte = 0,791 m	massa: 70,7 g		
<b>Unresponsive</b>	Kracht 1 (N)	Kracht 2 (N)	Kracht 3 (N)
1	8,71	6,12	3,20
2	9,56	4,51	2,35
3	8,84	5,23	2,57
4	9,15	4,85	2,39
5	8,36	4,13	2,02
6	8,53	5,52	2,35
7	9,26	4,72	2,21
8	9,25	4,47	2,15
9	8,31	4,74	2,27
10	8,33	6,40	2,90
Gemiddelde:	8,830	5,069	2,441

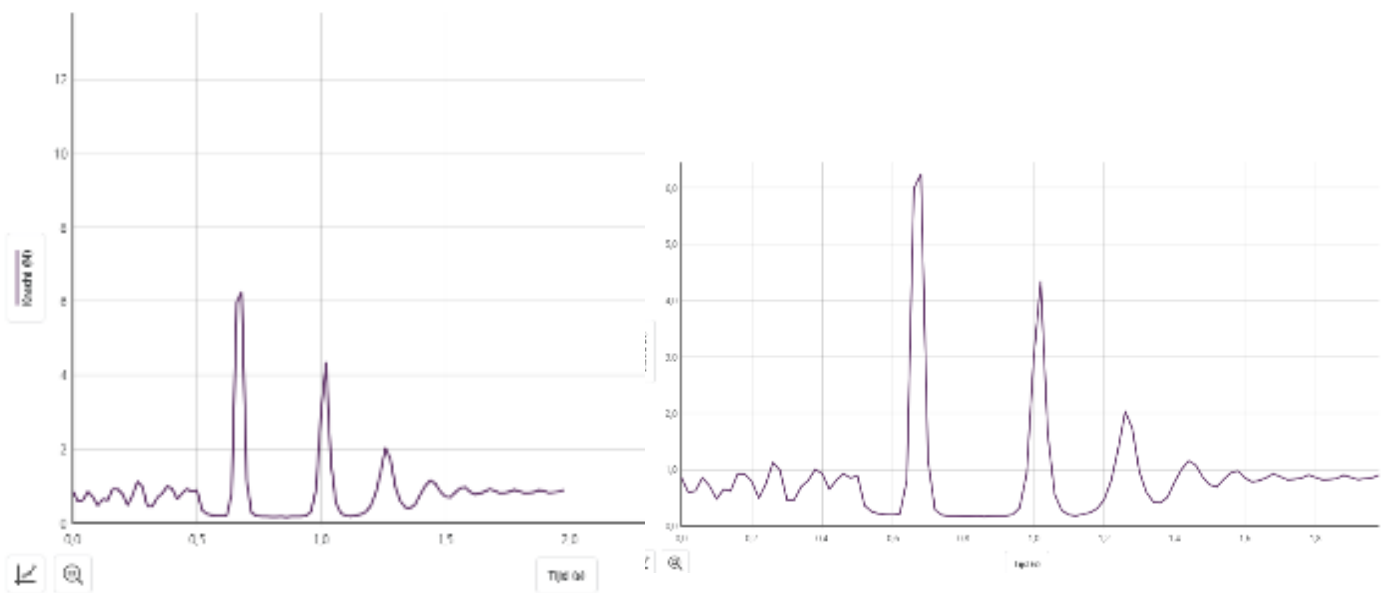
Lengte = 0,773 m	massa: 70,7 g		
<b>Unresponsive</b>	Kracht 1 (N)	Kracht 2 (N)	Kracht 3 (N)
1	12,37	6,33	3,80
2	10,01	5,51	2,30
3	9,40	4,78	2,06
4	9,52	5,03	2,27
5	8,32	4,27	2,23
6	8,99	4,88	2,64
7	8,12	4,90	2,29
8	8,23	4,67	2,41
9	9,19	4,39	2,26
10	8,36	4,37	2,03
Gemiddelde:	9,251	4,913	2,429

Lengte = 0,632 m	massa: 70,7 g		
<b>Unresponsive</b>	Kracht 1 (N)	Kracht 2 (N)	Kracht 3 (N)
1	7,93	4,83	2,68
2	7,55	4,76	2,37
3	8,62	6,24	2,80
4	6,36	3,96	1,77
5	7,92	5,23	2,19
6	8,05	5,04	2,28
7	6,90	3,95	2,27
8	8,12	3,94	2,26
9	9,64	5,21	2,19
10	6,92	3,89	1,86
Gemiddelde:	7,801	4,705	2,267

Lengte = 0,791 m	massa : 58,0 g		
<b>Responsive</b>	Kracht 1 (N)	Kracht 2 (N)	Kracht 3 (N)
1	5,18	2,28	1,18
2	4,93	2,44	1,23
3	6,32	2,91	1,36
4	5,42	2,50	1,35

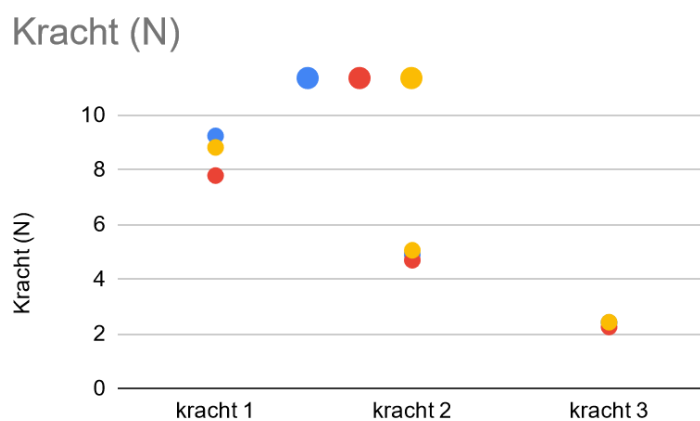
Responsive	Kracht 1 (N)	Kracht 2 (N)	Kracht 3 (N)
5	5,78	2,29	1,16
6	5,58	3,17	1,43
7	6,06	2,52	1,23
8	4,95	2,92	1,42
9	5,01	2,38	1,30
10	4,99	2,60	1,31
Gemiddelde:	5,422	2,601	1,297

Voorbeeld grafiek Vernier Graphical Analysis :



Lengte (m)	0,791	0,773	0,632
kracht 1 (N)	8,83	9,251	7,801
kracht 2 (N)	5,069	4,913	4,705
kracht 3 (N)	2,441	2,429	2,267

Grafiek:



## 6. Bespreking en berekeningen

### 1) Kracht versus responsiviteit

- Bespreking:

Wanneer men de gemiddelde krachten in de tabel van unresponsive en responsive met elkaar vergelijkt kan men besluiten dat een responsive yo-yo een lagere kracht zal hebben op de verschillende krachtenpieken in vergelijking met de unresponsive yo-yo.

### 2) Kracht versus lengte

- Bespreking:

Uit de grafiek en de tabellen is het duidelijk dat er geen verband bestaat tussen de lengte van het touw en de kracht over de verschillende krachtpieken. Dit kan men duidelijk in de grafiek zien want bij de eerste piek is er maar een klein verschil en bij de tweede en de derde piek zijn de krachten bij de verschillende lengte zo goed als hetzelfde.

## 7. Besluit

- 1) De unresponsive yo-yo zal een grotere kracht bereiken dan de responsive yo-yo.
- 2) Er bestaat geen verband tussen de kracht over de verschillende krachtpieken en de lengte van het touw.

## 8. Reflectie

De proef is vrij goed verlopen door de taakverdeling en het samenwerken. Ook was alles duidelijk doordat de mentor wat extra uitleg heeft gegeven hoe de proef zou moeten verlopen. Het enige kleine foutje dat wij ondervonden was geen meetfout, maar een fout van timing. Hierdoor moesten we soms een meting opnieuw beginnen, maar dit had geen consequentie aangezien we voldoende tijd hadden. Bij de proef met het vergelijken van een responsive yo-yo met een unresponsive yo-yo kan het verschil in massa een vertekend beeld geven (Zie onderzoek massa).



## **11. Conclusie**

Na al deze proeven concluderen wij dat de metalen yo-yo die wij gebruikten de beste yo-yo is om de meeste tricks uit te voeren die men met een yo-yo kan doen.

Er zijn verschillende factoren die de prestatie van een yo-yo kunnen beïnvloeden zoals de toename van de massa door bijvoorbeeld de yo-yo een verflaag te geven waardoor de yo-yo veel sneller uit balans zou kunnen geraken. De lengte van het touw maakt niet uit, maar men moet er zeker voor zorgen dat het lang genoeg is om tricks met de yo-yo's te kunnen uitvoeren.

Men moet er ook rekening mee houden dat er absoluut geen knopen in het touw mogen zitten, anders zal de yo-yo meteen uit balans vliegen/tollen, waardoor men helemaal opnieuw moet beginnen.

De aanwezigheid van een bearing heeft duidelijk een positief effect, dus bij het gebruik van een yo-yo is het aangeraden om een bearing te gebruiken.

## **Bibliografie**

- A., A. (2016, Februari 23). *How A Modern 21st Century YoYo Works*. Opgehaald van YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=T0ZhUx8pbc>
- Beyoyo. (z.d.). *[Informatie betreffende de yo-yo]* . Opgehaald van Beyoyo: <https://beyoyo.be/yoyo-info.html>
- Biezen, M. v. (2014, Mei 25). *Physics 11.1 Rigid Body Rotation (10 of 10) The Simple Yo-Yo*. Opgehaald van YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=tkaZaQ-V4Bk>
- Cube, T. S. (2018, April 25). *The Physics of a YOYO | Torque = r X F #3*. Opgehaald van YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=jVCYTMbiF-s>
- Ninja, P. (2017, November 23). *Rotational Dynamics: The Simple Yo-Yo Problem*. Opgehaald van YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=LLRgxnz3GPY>
- Oliver, V. (z.d.). *History Of The Yo-Yo*. Opgehaald van Museum Of Yo-Yo History: [http://www.yoyomuseum.com/museum\\_view.php?action=profiles&subaction=yoyo](http://www.yoyomuseum.com/museum_view.php?action=profiles&subaction=yoyo)
- Sirtaqi. (z.d.). *Toelatingsexamens arts en tandarts Theorie Draaibeweging*. Opgehaald van Sirtaqi: <https://sirtaqi.com/nl/academy/texat/2368/krachtmoment-draaibeweging?chapterID=6518&sectionID=6&mode=0>
- Startpagina. (2009, November 24). *Hoe werkt een jojo? ( terugrol of doorrol? -> zie extra uitleg)*. Opgehaald van Startpagina: <https://www.startpagina.nl/v/wetenschap/natuurkunde-scheikunde/vraag/31871/jojo-terugrol-doorrol-extra-uitleg/>
- The Science Behind What Keeps a Yoyo Spinning*. (2016, April 12). Opgehaald van Labroots: <https://www.labroots.com/trending/videos/9721/the-science-behind-what-keeps-yoyo-spinning>
- Wikipedia. (2020, Oktober 15). *Koppel (natuurkunde)*. Opgehaald van Wikipedia: [https://nl.wikipedia.org/wiki/Koppel\\_\(natuurkunde\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Koppel_(natuurkunde))
- Wikipedia. (2021, December 5). *Jojo (speelgoed)*. Opgehaald van Wikipedia: [https://nl.wikipedia.org/wiki/Jojo\\_\(speelgoed\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Jojo_(speelgoed))
- Wikipedia. (2022, April 24). *Yo-yo*. Opgehaald van Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Yo-yo#Etymology\\_and\\_history](https://en.wikipedia.org/wiki/Yo-yo#Etymology_and_history)

## **Figuurlijst**

Figuur 1: Historisch bewijs jongen met yo-yo .....	7
Figuur 2: koning Louis XVII .....	7
Figuur 3: Afbeelding van een yo-yo .....	10
Figuur 4: Correct vasthouden van een yo-yo .....	11
Figuur 5: Verschillende vormen.....	11
Figuur 6: Draaiende tol .....	13
Figuur 7: Afbeelding ball bearing .....	17
Figuur 8: Opstelling onderzoek 1 .....	20
Figuur 9: Verschillende gebruikte yo-yo's .....	20
Figuur 10: Proefopstelling onderzoek 2 .....	25
Figuur 11: Kogellager van metalen yo-yo.....	25
Figuur 12: Proefopstelling onderzoek 3 .....	29
Figuur 13: Massa aan de rand .....	39
Figuur 14: Massa in het midden.....	39
Figuur 15: Proefopstelling onderzoek 4 .....	39
Figuur 16: Proefopstelling onderzoek 5 .....	44