

## EENVOUDIGE MACHINES, ENERGIEBESPARING!

### MATERIAAL

- Een statief en een plank (afmetingen naar keuze en afhankelijk van het beschikbare materiaal)
- Katrollen
- Een last (bijvoorbeeld een fles water van één liter) met een massa van 1 kg.
- Een draad
- Haken (het is ook mogelijk om de lasten op de plank te plaatsen)
- Een dynamometer (aangepast aan de last)
- Een "dubbele meter" en/of een decameter

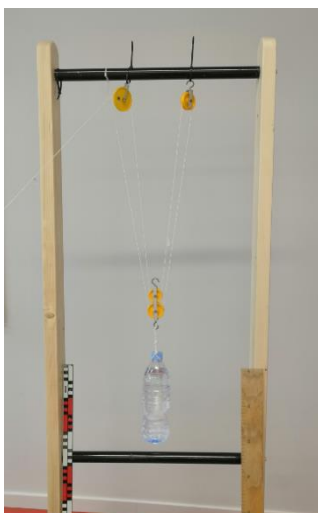
### OPSTELLING

De realisatie van dit experiment vereist 3 verschillende opstellingen:

- Het hellend vlak (we zullen tijdens het experiment 3 keer een andere de helling nemen):

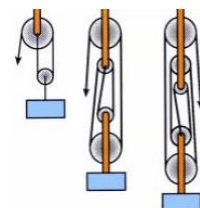
De plank wordt op het statief geplaatst. Een haak aan het bovenste uiteinde van de plank maakt het mogelijk om de last door middel van een draad te ondersteunen. Er worden 3 metingen gedaan:

- ✓ Een meting van de uitgeoefende kracht door een dynamometer tussen het touw en de last te plaatsen.
- ✓ Een meting van de hoogte door een meter verticaal tegen de plank te plaatsen.
- ✓ Een meting van de op het hellend vlak af te leggen afstand met behulp van een op het hellend vlak geplaatste meter.



- De takel (we zullen tijdens het experiment verschillende takels maken):

- ✓ Een takel (1) met 1 vaste katrol
- ✓ Een takel (2) met 1 vaste katrol en 1 losse katrol
- ✓ Een takel (3) met 2 vaste en 2 losse katrollen
- ✓ Een takel (4) met 3 vaste en 2 losse katrollen



[http://www.zpag.net/Machines\\_Simples/Palan\\_Avanyage\\_Accrus.htm](http://www.zpag.net/Machines_Simples/Palan_Avanyage_Accrus.htm)

- De hefboom :

De plank wordt in evenwicht op het statief geplaatst. De last wordt op 3 verschillende afstanden van het draaipunt geplaatst terwijl de dynamometer die de uitgeoefende kracht (= macht) vertegenwoordigt op dezelfde plaats blijft.



## WERKWIJZE

### HET HELLEND VLAK

- Meet met behulp van de dynamometer de kracht die nodig is om een last van één kilogram met constante snelheid tot een hoogte van 1 meter te tillen zonder een eenvoudige machine.
- Meet met de dynamometer de kracht die nodig is om bij verschillende hellingen een last van één kilogram tot een hoogte van 1 meter te tillen met constante snelheid.
- Meet ook telkens de verplaatsing van het aangrijpingspunt van de kracht nodig om de last op te tillen.

### DE TAKEL

- Meet met behulp van een dynamometer de kracht die nodig is om een last van één kilogram met constante snelheid tot een hoogte van 1 meter op te tillen zonder een eenvoudige machine.
- Meet met behulp van een dynamometer de kracht die nodig is om een last van één kilogram met constante snelheid tot een hoogte van 1 meter te tillen met de takel; de dynamometer wordt met een knoop aan het touw bevestigd.
- Meet ook telkens de verplaatsing van het aangrijpingspunt van de kracht die nodig is om de last op te tillen. (We observeren over welke afstand de knoop, die is gemaakt om de dynamometer vast te maken, zich verplaatst opdat de belasting met één meter stijgt.)

### DE HEFBOOM

- Meet met een dynamometer de kracht die nodig is (= macht) om een last van één kilogram op te tillen wanneer de afstand tussen de last en het draaipunt gelijk is aan de afstand tussen de macht en het draaipunt; verklein dan deze afstand.
- Observeer telkens de verplaatsing van het aangrijpingspunt van de macht die de last optilt en vergelijk deze met de verplaatsing van de last zelf.
- We meten ook de machtarm en de lastarm van de hefboom.

## EXPERIMENTELE RESULTATEN

Als je zonder machine een last van 1 kg over een hoogte van 1 m wil optillen, is de arbeid, d.w.z. de energie die nodig is, om het aangrijpingspunt van de uitgeoefende kracht te verplaatsen:  $W_F = F \cdot d = 10 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} \approx 10 \text{ J}$

We stellen vast dat de keuze om te werken met een last van 1 kg en een hoogte van 1 m de berekeningen vereenvoudigt en het mogelijk maakt zich te concentreren op het begrijpen van de theoretische begrippen met name de eenvoudige machines en het behoud van energie. Volgens dezelfde logica werken we altijd met krachten met dezelfde drager als de verplaatsing.

### HET HELLEND VLAK

	Uitgeoefende kracht	Verplaatsing van het aangrijpingspunt van de uitgeoefende kracht	Geleverde arbeid (in joule) $W_F = F \cdot d$
Hellend vlak 1	$F = 8,85 \text{ N}$	$d = 1,13 \text{ m}$	$W_F \approx 10 \text{ J}$
Hellend vlak 2	$F = 6,10 \text{ N}$	$d = 1,63 \text{ m}$	$W_F \approx 10 \text{ J}$
Hellend vlak 3	$F = 5,00 \text{ N}$	$d = 2,00 \text{ m}$	$W_F \approx 10 \text{ J}$

### DE TAKEL

	Uitgeoefende kracht	Verplaatsing van het aangrijpingspunt van de uitgeoefende kracht	Geleverde arbeid (in joule) $W_F = F \cdot d$
Takel 1	$F = 10 \text{ N}$	$d = 1 \text{ m}$	$W_F \approx 10 \text{ J}$
Takel 2	$F = 5 \text{ N}$	$d = 2 \text{ m}$	$W_F \approx 10 \text{ J}$
Takel 3	$F = 2,5 \text{ N}$	$d = 4 \text{ m}$	$W_F \approx 10 \text{ J}$
Takel 4	$F = 2 \text{ N}$	$d = 5 \text{ m}$	$W_F \approx 10 \text{ J}$

### DE HEFBOOM

	Machtarm $l_M$ en lastarm $l_L$	Uitgeoefende kracht (=macht)	Verplaatsing van het aangrijpingspunt van de uitgeoefende kracht	Geleverde arbeid (in joule) $W_F = F \cdot d$
Hefboom 1	$L_M = 1,1 \text{ m}$ en $l_L = 1,1 \text{ m}$	$F = 10 \text{ N}$	$d = 1 \text{ m}$	$W_F \approx 10 \text{ J}$
Hefboom 2	$L_M = 1,1 \text{ m}$ en $l_L = 0,82 \text{ m}$	$F = 7,5 \text{ N}$	$d = 1,33 \text{ m}^*$	$W_F \approx 10 \text{ J}^*$
Hefboom 3	$L_M = 1,1 \text{ m}$ en $l_L = 0,19 \text{ m}$	$F = 1,7 \text{ N}$	$d = 5,88 \text{ m}^*$	$W_F \approx 10 \text{ J}^*$

\* waarden niet gemeten tijdens de proef maar berekend.

## THEORETISCHE VERKLARINGEN

### HET HELLEND VLAK

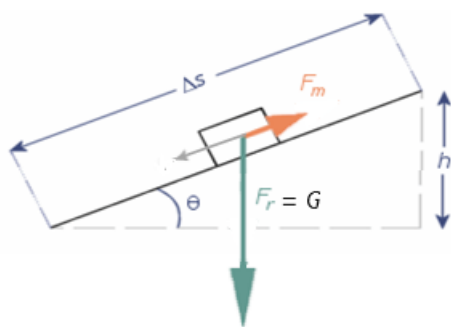
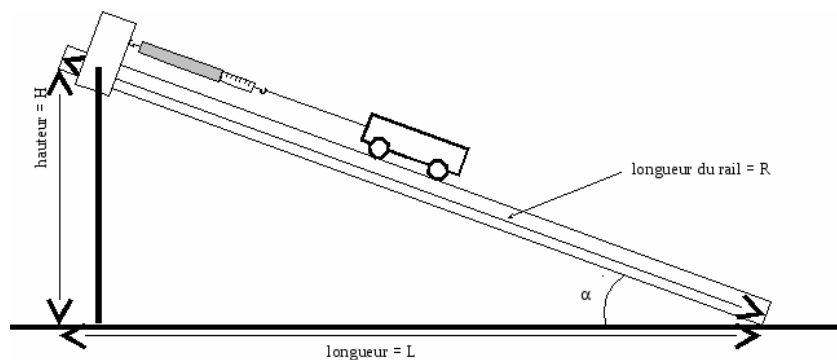
De resultaten tonen dat de arbeid telkens 10 joule is. Dit betekent dat de energie die op de last wordt overgedragen hetzelfde is, met of zonder hellend vlak.

Het rendement ( $\gamma$ ) van een eenvoudige machine is een grootte waarmee kan worden aangegeven in welke verhouding de uitgeoefende kracht wordt vergroot of verkleind. Het is de verhouding van de last (op de afbeelding  $F_r$ ) tot de uitgeoefende kracht ( $F_m$ ).

$$\gamma = \frac{F_r}{F_m}$$

Als deze verhouding groter is dan 1, betekent dit dat de machine de uitgeoefende kracht kan verminderen.  $F_r$  komt hier overeen met het gewicht van de last ( $F_r = 10 \text{ N}$ ).

Merk op dat een hellend vlak een mechanisch voordeel biedt; het vermindert de uitgeoefende kracht, maar dit zorgt ervoor dat de verplaatsing met dezelfde factor toeneemt.



We zien dat het gewicht tegenwerkt, terwijl de uitgeoefende kracht  $F_m$  is. Als het blok met constante snelheid beweegt, weten we dat de som van de krachten nul moet zijn en dat daarom de uitgeoefende kracht alleen de component van het gewicht evenwijdig met de helling moet compenseren (als er geen wrijving is). Het rendement kan dus worden berekend uit de helling van het vlak ten opzichte van de horizontale:

$$\gamma = \frac{F_r}{F_m} = \frac{G}{G \cdot \sin \theta} = \frac{1}{\sin \theta}.$$

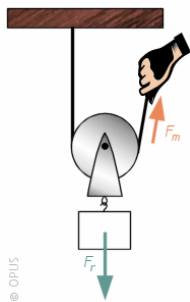
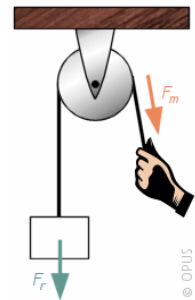
Het gebruik van het hellend vlak verkleint dus de grootte van de kracht die moet worden uitgeoefend om een voorwerp op te tillen, maar vergroot anderzijds de afstand waarover deze kracht moet worden uitgeoefend. Het meest voorkomende voorbeeld van het hellend vlak is niets anders dan de trap!

## DE TAKEL

De resultaten tonen dat de arbeid steeds 10 joule is. Dit betekent dat de energie die op de last wordt overgedragen dezelfde is, met of zonder takel.

De katrol kan op twee manieren worden gebruikt om een massa te verplaatsen.

Op de eerste manier wordt de katrol vastgezet en wordt het te verplaatsen voorwerp aan een uiteinde van het touw bevestigd. Aan het andere uiteinde van het touw wordt dan getrokken om het voorwerp op te tillen.



Op de tweede manier is het voorwerp vastgemaakt aan de beugel van de katrol, terwijl het touw met een van zijn uiteinden aan een vast steunpunt is bevestigd. Het touw wordt door de katrol geleid, die dus los is.

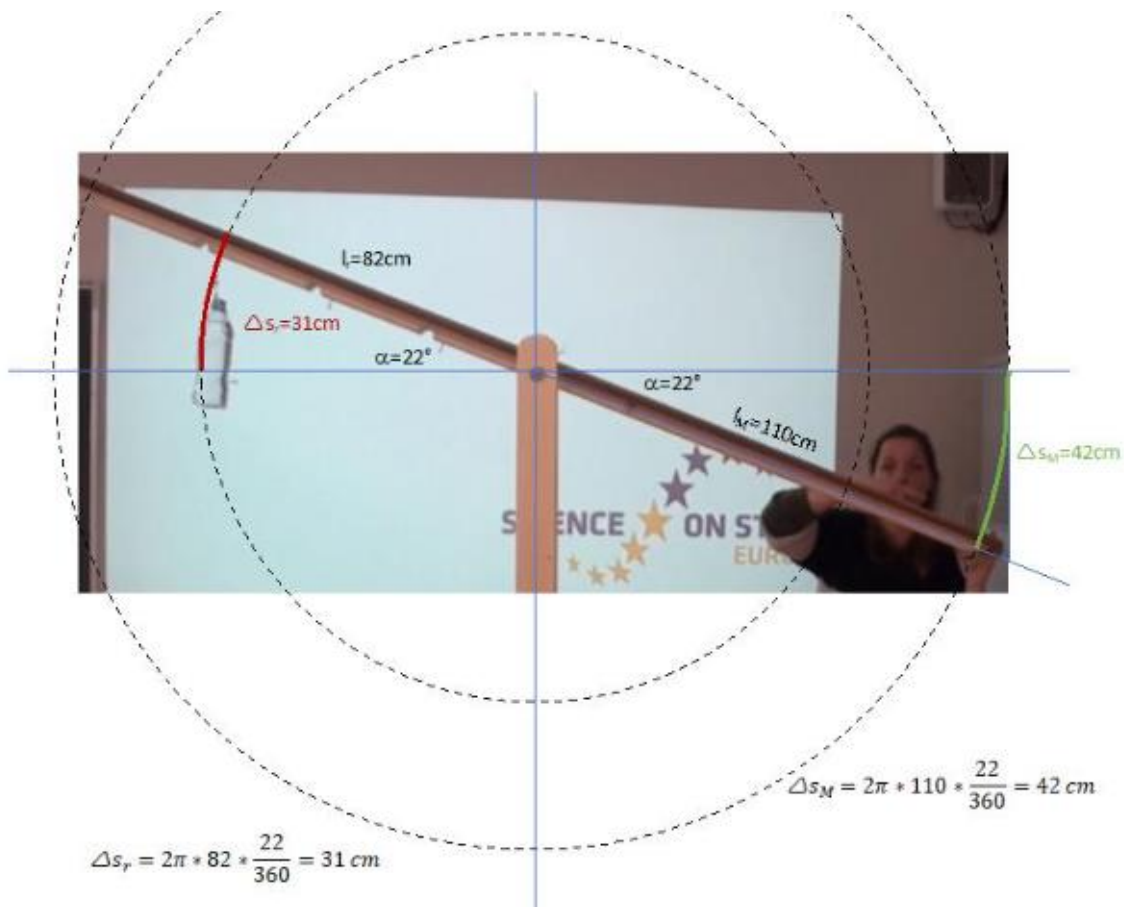
Een takel is een eenvoudige machine die bestaat uit meerdere losse en vaste katrollen. In het ideale geval deelt het de uitgeoefende kracht door het aantal delen van het touw dat de losse katrollen of de last zelf ondersteunen. De verplaatsing van het touw waar de kracht wordt uitgeoefend, wordt met dezelfde factor vermenigvuldigd.

## DE HEFBOOM

Merk op dat hoe dicht de last zich bij het draaipunt bevindt, hoe gemakkelijker het is om hem op te tillen; hoe meer de uitgeoefende kracht (= macht) afneemt. Dit vereist weer een veel grotere verplaatsing van het aangrijpingspunt van deze kracht.

Hier kunnen we niet tonen dat de arbeid behouden blijft ( $W = 10 \text{ J}$ ) omdat het in het laatste geval bijvoorbeeld nodig zou zijn om dit aangrijpingspunt over een afstand van ongeveer 6 m te verplaatsen om de last 1 m op te tillen!

Het is hier moeilijk aan te tonen dat de last met één meter stijgt... Inderdaad, hoe dicht de last bij het draaipunt komt, hoe minder hij stijgt. De volgende tekening laat zien dat we toch de verhouding tussen de verplaatsingen van last en macht kunnen vinden.



Het is echter gemakkelijker om de hefboomarmen te gebruiken om het rendement te berekenen en dit te vergelijken met het rendement berekend uit de krachten (last en macht).

We noemen hefboomarm ( $l$ ) de loodrecht gemeten afstand tussen de werklijn van de kracht en de draaiingsas.

Het rendement komt overeen met de verhouding tussen de last en de macht...

$$\gamma = \frac{F_L}{F_M}$$

... maar wordt ook berekend door de verhouding:  $\gamma = \frac{l_M}{l_L}$

... waarbij  $l_M$  de machtarm is en  $l_L$  de lastarm is.

Dit maakt het mogelijk om te bepalen met hoeveel de macht zal worden verminderd. Inderdaad, we kunnen de macht berekenen:

$$F_M = \frac{l_L \cdot F_L}{l_M}$$

Bijvoorbeeld voor de 3e hefboom ...

$$F_M = \frac{0,19 \cdot 10 \text{ N}}{1,1} = 1,7 \text{ N}$$

... wat wel degelijk de waarde is die bij de proef werd gemeten.

## BESLUITEN

De manifestatie van een fenomeen zoals beweging onder invloed van een kracht impliceert niet alleen dat het beschouwde systeem intrinsieke energie heeft, maar dat er een overdracht van energie is. Dus wat we meten is niet de energie zelf, maar de variatie ervan!

$$W = \Delta E$$

De energie die aan een voorwerp wordt overgedragen om het te verplaatsen, komt overeen met de arbeid die door deze kracht wordt geleverd.

$$\Delta E = E_{\text{einde}} - E_{\text{begin}} = \mathbf{W}(\vec{F})$$

Het experiment maakt het mogelijk om experimenteel aan te tonen dat de energie behouden blijft. Om dezelfde arbeid te leveren (een last van 1 kg verplaatsen over een hoogte van 1 meter), zal de energie die wordt ingezet elke keer 10 joule bedragen. Eenvoudige machines zijn zeer praktische voorwerpen en worden veel gebruikt in het dagelijks leven omdat ze het mogelijk maken de kracht nodig voor het optillen van een last te verminderen (soms aanzienlijk!). Maar we zien dan dat de verplaatsing van het aangrijpingspunt van deze kracht met dezelfde factor zal toenemen.

Een **eenvoudige machine** is een toestel uit één stuk dat het mogelijk maakt om de uitgeoefende kracht te verminderen of te vergroten met behoud van de arbeid en dat wordt gebruikt om lasten op te tillen of te verplaatsen.

Als de kracht afneemt, neemt de verplaatsing toe! De arbeid blijft gelijk!

Voor de fysicus is de arbeid van een kracht de energie die door die kracht wordt geleverd wanneer het aangrijpingspunt beweegt. (Het voorwerp dat de kracht ondergaat, beweegt of vervormt onder invloed van deze kracht.) De arbeid wordt uitgedrukt in joule [J] en wordt genoteerd als  $W$  (uit het Engelse *work*):

$$\mathbf{W [J] = F [N] \cdot d [m]}$$

De kracht- en verplaatsingsvectoren hebben dezelfde richting en zin.

De metingen worden uitgevoerd als het voorwerp stil staat en niet bij constante snelheid omdat er in beide gevallen sprake is van een translatie-evenwicht.

Ter herinnering :

**Traagheidswet** : Een voorwerp blijft in rust of beweegt rechtlijnig met constante snelheid als en slechts als de resultante van alle krachten die er op werken nul is.

$$\vec{R} = \vec{0} \Leftrightarrow \text{Voorwerp in ERB of in rust!}$$

waarin  $\vec{R}$  de resultante is van alle krachten die op het voorwerp worden uitgeoefend.

Omgekeerd, als de resulterende kracht die op een voorwerp inwerkt gelijk is aan nul, dan is dit voorwerp ofwel in rust ofwel in ERB (het beweegt dus met constante snelheid op een rechte lijn).

Afhankelijk van de situatie kan het voorwerp dus:

- in **statisch translatie-evenwicht = rust**
- in **dynamisch translatie-evenwicht = ERB** zijn.

## SUGGESTIES VOOR VRAGEN

Bij elke eenvoudige machine hebben we ervoor gekozen om 3-4 experimenten voor te stellen, maar het is mogelijk om er meer te doen. De studie van elke eenvoudige machine kan worden verdiept met bijvoorbeeld de studie van andere takels, andere hefbomen (met tussenstandige last of tussenstandige macht) en ook door de analyse van het rendement door de hellingshoek van een hellend vlak.

De grootte van de opstelling maakt het gemakkelijk om de verschillende eenvoudige machines in de klas te gebruiken, maar individuele opstellingen hebben het voordeel dat de leerlingen zelf kunnen experimenteren.

In het geval van hefbomen kan het interessant zijn omgekeerd te werk te gaan, met een last aan het uiteinde van de hefboom en de macht op verschillende afstanden van het draaipunt. We zouden dan zien dat hoe dichterbij het steunpunt de kracht wordt uitgeoefend, hoe groter ze moet zijn. Om kracht te winnen door het gebruik van een hefboom (een koevoet, een bijl, ...), is het van belang je hand zo ver mogelijk weg te houden van de rotatie-as! De volgende vraag zou zelfs gesteld kunnen worden... "Waar moet je je hand op de koevoet leggen om de kassa succesvol te openen?" of ook "Welke sleutel heb je nodig om het wiel van een vrachtwagen los te maken?" of "Met welk katrolsysteem moet je de kleinste kracht uitoefenen om een last op te tillen? "...



We kunnen ook aan de leerlingen vragen verschillende eenvoudige machines in hun dagelijks leven op te noemen...

Kortom, er zijn veel manieren om dit thema te behandelen en dat vrij gemakkelijk met middelen waarover men beschikt!