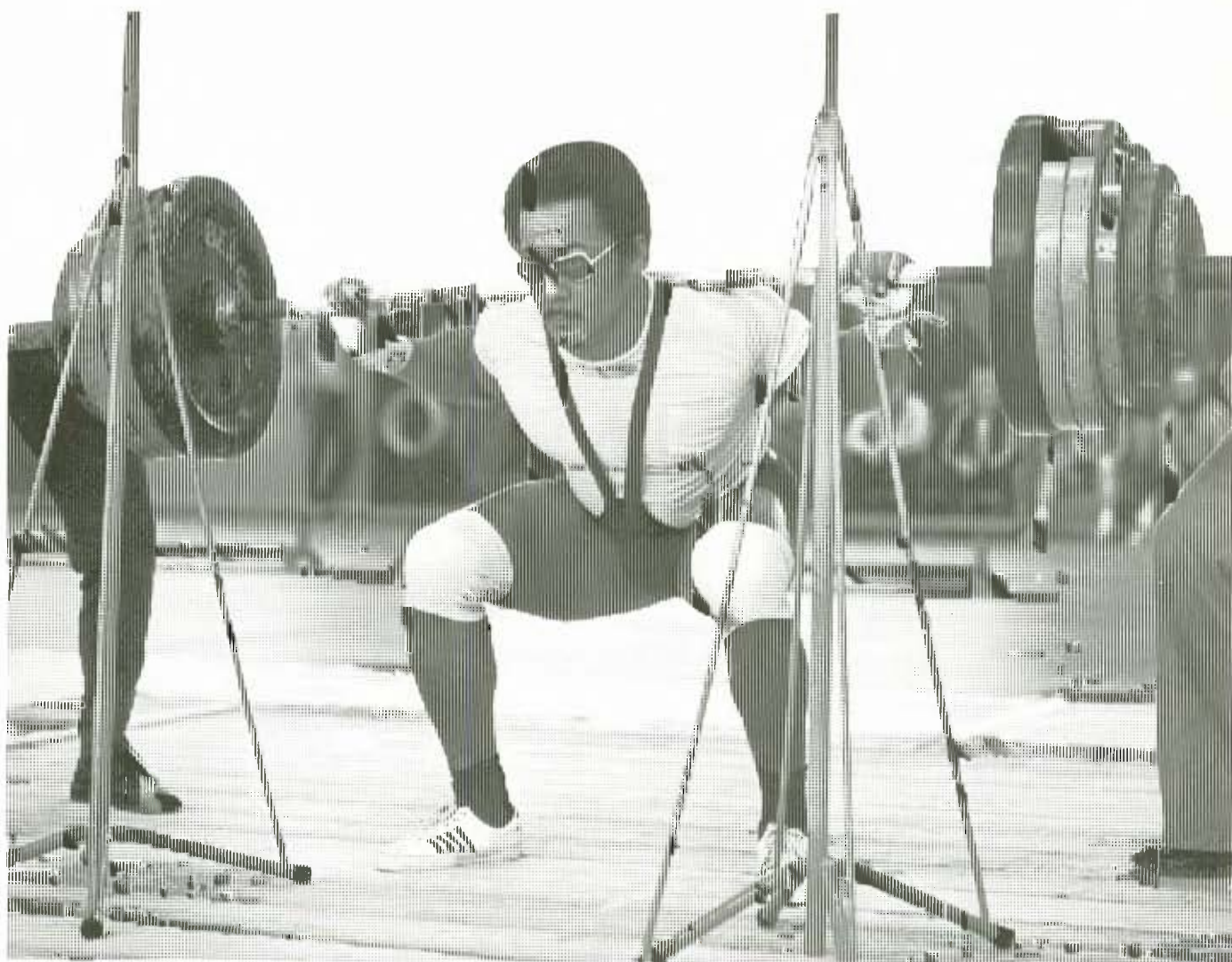


Blok 19 | Energie (4)



Blok 19 Energie (4)

Inhoudsopgave basisstof

	bladzijde
P 1. Arbeid en vermogen	4
P 2. Zwaarte-energie	4
T 1. Arbeid en vermogen	5
T 2. Kinetische en potentiële energie	8
T 3. Behoud van mechanische energie	10
T 4. Arbeid en energie	11
W 1. Arbeid en vermogen	13
W 2. Kinetische en potentiële energie	13
W 3. Behoud van mechanische energie	14

De volgorde waarin je de paragrafen het beste kunt doorwerken is:

P 1, T 1, W 1,
P 2, T 2, W 2,
T 3, W 3,
T 4.

Overzicht differentiële stof

Herhaalstof	bladzijde
H 1. Begrippen uit dit blok	15
H 2. Hoe pak je een som aan	16
H 1. Antwoordblad	19
H 2. Antwoordblad	20

Hieronder staan de extra stof bladen, die je kunt doen na dit blok.

Wil je meer weten over de inhoud van deze bladen, lees dan de catalogus voor de extra stof.

Extra stof bij je eigen lesmateriaal

153. Experimentele controle van de wet van behoud van mechanische energie	22
154. Oefenen met examensommen	23

Blok 19 Leerdoelen

Wat moet je kunnen aan het eind van blok 19

	Te vinden in:
1 Je moet weten wat je in de natuurkunde onder het begrip „arbeid” verstaat.	T 1
2 Je moet de relatie kennen tussen arbeid, kracht en afgelegde weg ($W = F \cdot s$).	T 1
3 Je moet, als van de drie grootheden W , F en s er twee gegeven zijn, de derde kunnen berekenen.	T 1, W 1
4 Je moet weten dat bij het berekenen van de arbeid alleen de komponent van de kracht in de richting van de verplaatsing van belang is.	T 1, W 1
5 Je moet de formule voor het vermogen kennen ($P = \frac{W}{t}$).	T 1
6 Je moet als van de drie grootheden P , W , t er twee gegeven zijn, de derde kunnen berekenen.	T 1, W 1
7 Je moet sommen kunnen maken waarbij $P = \frac{W}{t}$ en $W = F \cdot s$ in combinatie worden gebruikt.	T 1, W 1
8 Je moet weten, dat we bewegingsenergie ook wel kinetische energie noemen.	T 2
9 Je moet weten wat we onder „potentiële energie” verstaan.	T 2
10 Je moet weten dat zwaarte-energie en veer-energie voorbeelden van potentiële energie zijn.	T 3
11 Je moet de formules voor kinetische energie ($E_k = \frac{1}{2} mv^2$) en potentiële energie ($E_p = mgh$) kennen, kunnen en gebruiken: - als van E_k , m en v er twee gegeven zijn moet je de derde kunnen berekenen. - als van E_p , m en h er twee gegeven zijn moet je de derde kunnen berekenen.	
12 Je moet weten wat de wet van behoud van mechanische energie inhoudt.	T 3
13 Je moet die wet in een formulevorm kunnen schrijven.	T 3
14 Je moet met die wet sommen als in W 3 kunnen oplossen.	T 3, W 3
15 Je moet de formules over de mechanika van de vorige blokken kennen.	Blok 15 en 18

Blok 19 Praktikum

P 1 Arbeid en vermogen

1

Schrijf op wat volgens jou het begrip arbeid inhoudt.

2

- a. Wanneer verricht je meer arbeid?
Je tilt een massa van 10 kg op een stoel.
Je tilt een massa van 10 kg op een tafel.
- b. Welke grootte beïnvloedt de arbeid die je verricht?

3

- a. Wanneer verricht je meer arbeid?
Je tilt een massa van 10 kg op de tafel.
Je tilt een massa van 20 kg op de tafel.
- b. Welke grootte beïnvloedt de arbeid die je verricht?

4

Wanneer verricht je meer arbeid?
Je tilt een massa van 50 kg boven je hoofd.
Je houdt een massa van 50 kg boven je hoofd.

P 2 Zwaarte-energie

Waar hangt de zwaarte-energie van af?

1

Laat een metalen kogel op een stuk warmtepapier vallen.
Warmtepapier is papier dat sterker verkleurt naarmate het meer warmte
(= energie) absorbeert.
Wat zie je?

2

Laat een kogel achtereenvolgens van grote en kleine hoogte op het
papier vallen. Wat neem je waar?
Waar hangt de zwaarte-energie van af?

3

Laat achtereenvolgens een lichte en zware kogel op het papier vallen.
Waar hangt de zwaarte-energie van af?

De zwaarte-energie van een voorwerp hangt af van

1.

2.

Blok 19 Theorie

T 1 Arbeid en vermogen

Dit blok gaat over energie. In deze paragraaf herhalen we een aantal begrippen die met energie te maken hebben. We gaan ook verder met energie en komen het begrip arbeid tegen.

Energie

In blok 6 klas 2 heb je kennism gemaakt met een aantal energie-soorten: bewegingsenergie, warmte, chemische energie, elektrische energie, stralingsenergie, zwaarte-energie, kernenergie en magnetische energie. Dit blok gaat vooral over bewegingsenergie en zwaarte-energie.

De energie die een voorwerp bezit door zijn beweging noemen we bewegingsenergie.

Een rijdende auto bezit bewegingsenergie. Een draaimolen bezit bewegingsenergie.

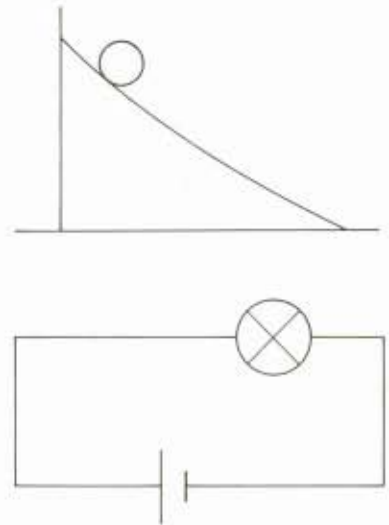
Zwaarte-energie is de energie die een voorwerp bezit door de hoogte waarop het zich bevindt.

Een voorwerp dat 10 m boven de grond is, kan vallen. Tijdens de val krijgt dat voorwerp bewegingsenergie. Die energie komt niet zo maar ergens vandaan. Het voorwerp bezit die energie doordat het zich 10 m boven de grond bevond.

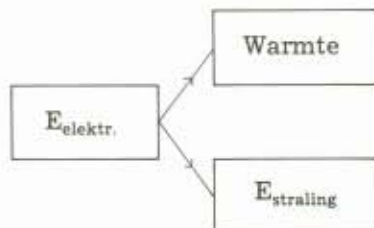
Andere voorbeelden: Een steen op een berg bezit zwaarte-energie; een vogel in een dakgoot bezit zwaarte-energie; een kogel boven in een goot bezit zwaarte-energie.

In blok 6 heb je naar **energie-omzettingen** gekeken. Energie van de ene soort kan omgezet worden in energie van de andere soort. In het voorbeeld van het vallende voorwerp, wordt zwaarte-energie omgezet in bewegingsenergie.

In de elektrische schakeling hiernaast, wordt elektrische energie omgezet in licht en warmte.



Dus:



Bij energie-omzettingen gaat nooit energie verloren. Soms lijkt het alsof er energie verdwenen is, maar als je dan goed kijkt, blijkt de „verdwenen energie” omgezet te zijn in warmte of een andere vorm van energie.

Het symbool voor energie is E.

De eenheid van energie is de Joule (J).

Arbeid

In het dagelijks leven wordt het begrip arbeid vaak gebruikt. Het heeft iets met werken, inspanning te maken. Denk maar aan: lichamelijke arbeid, geestelijke arbeid.

In de natuurkunde kennen we ook het begrip arbeid. Het heeft daar een iets andere betekenis.

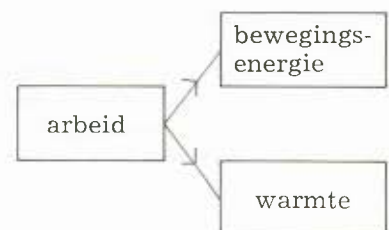


Voorbeeld 1:

Op een blokje werkt een kracht van 10 N. Het blokje verschuift daardoor over een afstand van 0,3 m.

We zeggen nu dat de kracht arbeid verricht heeft op het blokje.

Doordat er arbeid verricht is op het blokje, is dat gaan bewegen. Het heeft bewegingsenergie gekregen. Tijdens de beweging is er door wrijving energie omgezet in warmte. De arbeid door de kracht verricht op het blokje is dus omgezet in bewegingsenergie en warmte.



Voorbeeld 2:

Je tilt je tas op tafel. Daarvoor moet je arbeid verrichten. De arbeid wordt gebruikt om de zwaarte-energie van de tas te vergroten. Je spieren verrichten in dit geval de arbeid.

Je begrijpt: naarmate de tafel hoger is, moeten je spieren meer arbeid verrichten. Je verplaatst de tas dan over een grotere afstand.

Naarmate de tas zwaarder is moeten je spieren een grotere kracht leveren. Ook dan verrichten ze meer arbeid.



....naarmate de tafel hoger is...

Uit het voorbeeld blijkt dat de arbeid afhangt van de verplaatsing en de kracht.

We spreken in de natuurkunde daarom af:

$$\text{arbeid} = \text{kracht} \cdot \text{verplaatsing}$$

$$\begin{array}{ccccc} \text{De eenheid van arbeid} & = & \text{eenheid van kracht} & \cdot & \text{eenheid van verplaatsing} \\ \text{Nm} & = & \text{N} & & \text{m} \end{array}$$

Verder geldt: $1 \text{ Nm} = 1 \text{ J}$.

Het symbool voor arbeid is W van het Engelse work

Dus in formule: $W = F \cdot s$

Rekenvoorbeeld 1

Iemand schuift een kist over de grond. Hij levert daarvoor een spierkracht van 80 N . De kist wordt over een afstand van 3 m verschoven.

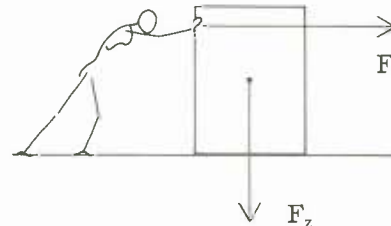
Hoeveel arbeid is er verricht?

Hiernaast is de kist getekend. Op de kist werkt de spierkracht van 80 N en de zwaartekracht. De zwaartekracht staat loodrecht op de richting waarin de kist schuift. Hij levert geen bijdrage aan de beweging van de kist en verricht dan ook geen arbeid.

Uit $W = F \cdot s$ en $F = 80 \text{ N}$; $s = 3 \text{ m}$ volgt

$$W = 80 \text{ N} \cdot 3 \text{ m} = 240 \text{ Nm} = 240 \text{ J}$$

De arbeid wordt in dit geval omgezet in warmte door de wrijving van de kist met de grond.



Rekenvoorbeeld 2

Iemand trekt een slee voort (zie tekening).

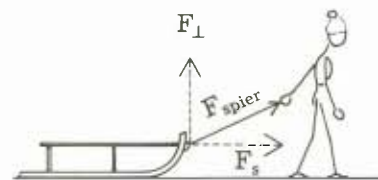
De kracht die hij uitoefent is 50 N . De slee wordt over 100 m verplaatst.

Hoe groot is nu de arbeid die de kracht verricht?

Uit het vorige voorbeeld weet je dat de zwaartekracht geen arbeid verricht omdat hij loodrecht op de bewegingsrichting van de slee staat.

Een probleem in dit voorbeeld is, dat de spierkracht schuin omhoog werkt. We moeten daarom deze kracht ontbinden in een komponent langs en loodrecht op de verplaatsing. Dat is hiernaast gebeurd. De ene komponent noemen we F_{\perp} ; de andere F_s ($= 40 \text{ N}$).

F_{\perp} levert geen bijdrage aan de beweging van de slee en verricht geen arbeid.



$$\left. \begin{array}{l} \text{Dus: } W = F_s \cdot s \\ F_s = 40 \text{ N} \\ s = 100 \text{ m} \end{array} \right\} W = 40 \cdot 100 \text{ Nm} = 4000 \text{ J}$$

Ook deze arbeid wordt weer omgezet in warmte (door de wrijving van de ijsers met de sneeuw).

Dus: Om de arbeid te berekenen die een kracht verricht, moet je de verplaatsing weten van het voorwerp en je moet de komponent van de kracht kennen in de richting van de verplaatsing. Deze laatste komponent noem je F_s .

Dus: $W = F_s \cdot s$.

Aan het begin van dit onderdeel hebben we gezegd dat arbeid in de natuurkunde iets anders is dan arbeid in het dagelijks leven. Denk maar eens aan de volgende situatie. Je staat stil met een gewicht van 100 kg boven je hoofd. Het kost je veel energie om dat vol te houden. Toch verricht je natuurkundig gezien geen arbeid! Je verplaatst het gewicht immers niet.

Waarom kost het toch energie? Omdat je spieren zich voortdurend spannen en ontspannen om het gewicht hoog te houden. In de spieren wordt dus wel degelijk arbeid verricht.

Vermogen

In blok 13 hebben we vermogen gedefinieerd als

$$\text{vermogen} = \frac{\text{omgezette of geleverde energie}}{\text{tijd}}$$

De eenheid van vermogen is de Watt (W).

Uit de defenitie van vermogen volgt:

$$1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

In woorden: één watt is één joule per seconde.

Voorbeeld

Een lamp heeft een vermogen van 40 W. Dat betekent dat in de lamp 40 J per seconde wordt omgezet in stralingsenergie en warmte (wanneer de lamp op de juiste spanning is aangesloten).

Wat betekent vermogen in het volgende geval?

Een traktor heeft een vermogen van 10 kW (tien kiloWatt).

Hij wordt gebruikt om wagens voort te trekken of landbouwmachines aan te drijven. De traktor verricht daarbij arbeid.

In dit geval bedoelen we met een vermogen van 10 kW dat de traktor 10.000 J per seconde aan **arbeid** kan verrichten.

$$\text{Dus ook: vermogen} = \frac{\text{arbeid}}{\text{tijd}}$$

$$\text{In formule: } P = \frac{W}{t}$$

In de mechanika werken we altijd met de laatste betekenis van vermogen.

Het volgende voorbeeld geeft je een idee van de grootte van het vermogen van een traktor.

Voorbeeld:

Bereken het vermogen van een traktor, die in 1 s een massa van 3500 kg 1 m kan optillen.

$$\text{Berekening: } P = \frac{W}{t}$$

De tijd is gegeven: $t = 1 \text{ s}$

De arbeid (W) moeten we nog berekenen.

Je weet: $W = F \cdot s$.

$s = 1 \text{ m}$

$F = 35.000 \text{ N}$ (om een voorwerp van 3500 kg op te tillen is 35.000 N nodig, omdat je de zwaartekracht moet tegenwerken).

$$\left. \begin{array}{l} \text{Dus } W = 35.000 \cdot 1 \text{ J} = 35.000 \text{ J} \\ t = 1 \text{ s} \end{array} \right\} P = \frac{35.000 \text{ J}}{1 \text{ s}} = 35.000 \text{ W}$$

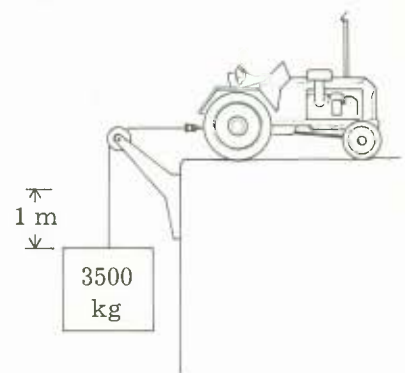
De traktor heeft een vermogen van 35.000 W (= 35 kW)

Voorbeeld:

In 5 s verplaatst een kracht van 10 N een voorwerp over een afstand van 3 m in de richting van die kracht.

$$\left. \begin{array}{l} \text{De arbeid die verricht wordt: } W = F_s \cdot s \\ F_s = 10 \text{ N} \\ s = 3 \text{ m} \end{array} \right\} W = 10 \text{ N} \cdot 3 \text{ m} = 30 \text{ J}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Het vermogen is dan: } P = \frac{W}{t} \\ W = 30 \text{ J} \\ t = 5 \text{ s} \end{array} \right\} P = \frac{30 \text{ J}}{5 \text{ s}} = 6 \text{ W}$$



Het vermogen van motoren hangt af van het doel waarvoor ze gebruikt worden. Automotoren hebben een vermogen tussen 10 kW en 100 kW. Het vermogen van traktormotoren ligt ook tussen de 10 kW en de 100 kW. Een dieselmotor van een schip heeft een veel groter vermogen (bijvoorbeeld 20.000 kW).

Opmerking: Als op een motor staat dat zijn vermogen 1 kW is, dan betekent dat de motor in 1 s 1 kJ arbeid kan verrichten. Dat betekent niet dat hij ook altijd 1 kJ levert per seconde. In de praktijk zal hij vaak minder leveren. (Een auto rijdt bijvoorbeeld zelden op topsnelheid.)

T 2 Kinetische en potentiële energie

In T1 heb je nog eens kunnen lezen wat we met bewegingsenergie bedoelen. Wanneer een voorwerp met een zekere snelheid beweegt bezit het bewegingsenergie. In de natuurkunde spreken we meestal niet over bewegingsenergie maar over kinetische energie.

Kinetische energie = Bewegingsenergie

Het symbool voor kinetische energie: E_k .

In T 1 hebben we ook over zwaarte-energie gesproken.

Een voorwerp dat zich op enige afstand boven het aardoppervlak bevindt, bezit zwaarte-energie. Op het voorwerp werkt namelijk de zwaartekracht (F_z).

De zwaartekracht kan arbeid op het voorwerp verrichten.

De arbeid die de zwaartekracht op dat voorwerp **kan** verrichten is nu gelijk aan de zwaarte-energie van het voorwerp.

Ook bij de veer is er een kracht die arbeid **kan** gaan verrichten zolang je de veer ingedrukt houdt.

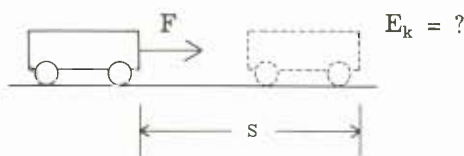
In alle gevallen, waarbij een kracht arbeid **kan** gaan verrichten op een voorwerp, spreek je van potentiële energie van het voorwerp. Het symbool voor potentiële energie is E_p .

Dus: zwaarte-energie en veerenergie zijn voorbeelden van potentiële energie.

We gaan nu formules afleiden voor de potentiële en de kinetische energie van een voorwerp.

Kinetische energie

We zullen de formule voor de kinetische energie afleiden aan de hand van de situatie hieronder. Een karretje wordt vanuit stilstand versneld door een kracht F .



Wat is de kinetische energie na s meter? (We verwaarlozen de wrijving.)

De kracht die op het karretje werkt, verricht arbeid.

Na s meter heeft de kracht een hoeveelheid arbeid verricht die gelijk is aan:

$$W = F \cdot s$$

Deze arbeid wordt omgezet in bewegingsenergie (= kinetische energie).

Dus:

$$E_k = F \cdot s$$

We hebben nu een formule voor de kinetische energie waar de kracht in voorkomt. We proberen nu de formule te herschrijven, zodat niet de kracht, maar de snelheid erin voorkomt. Het gaat immers om bewegingsenergie.

We gebruiken daarvoor de formules uit blok 16 en blok 18.
 Je weet dat $F = m \cdot a$. (blok 18).
 Dit invullen geeft: $E_k = m \cdot a \cdot s$.
 Voor een eenparig versnelde beweging zonder beginsnelheid geldt:
 $s_t = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$.
 Dit invullen geeft: $E_k = m \cdot a \cdot (\frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2)$ dus $E_k = \frac{1}{2} m (a^2 t^2)$
 Je weet ook dat voor de eenparig versnelde beweging zonder
 beginsnelheid geldt: $v_t = a \cdot t$
 Dit invullen geeft: $E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v_t)^2$.

$$E_k = m \cdot a \cdot s; s_t = \frac{1}{2} a t^2$$

$$v_t = a \cdot t; E_k = \frac{1}{2} m (a^2 \cdot t^2)$$

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

Voor de kinetische energie van het karretje geldt:

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Wanneer na 5 meter de kracht F niet meer werkt, neemt de snelheid van het karretje niet meer toe. De kinetische energie blijft $\frac{1}{2} m v^2$.

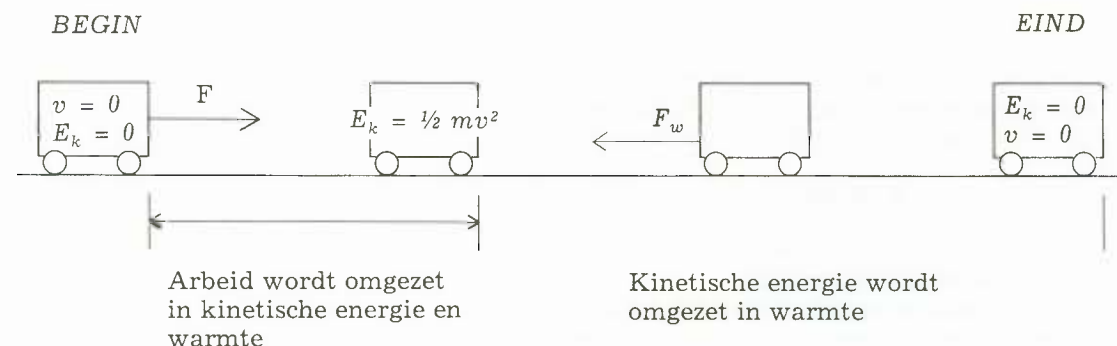
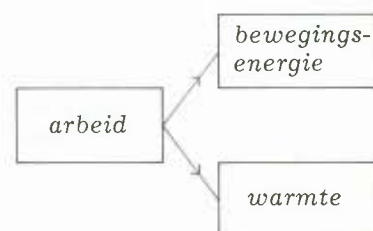
Algemeen geldt:

Een voorwerp met een snelheid v en een massa m bezit een hoeveelheid kinetische energie die gelijk is aan $\frac{1}{2} m v^2$.

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

Eenheden: E_k in J; m in kg; v in m/s.

Opmerking: In de afleiding hierboven is de wrijvingskracht verwaarloosd. In werkelijkheid is er altijd sprake van wrijving. Ook wanneer we rekening houden met wrijving geldt: $E_k = \frac{1}{2} m v^2$. Het is echter zo, dat door de wrijving de arbeid die de kracht F levert niet alleen omgezet wordt in kinetische energie, maar ook in warmte. Als de kracht F niet meer werkt, wordt de bewegingsenergie omgezet in warmte (wrijving). De snelheid van de kar neemt dan af.



Potentiële energie

De formule voor de zwaarte-energie leiden we af met behulp van de situatie hiernaast.

Een hijskraan takelt een pakket (massa: m kg) h meter omhoog met een kracht F .

De arbeid die de hijskraan verricht bedraagt:

$$W = F \cdot h.$$

Voor de kracht geldt: $F = mg$ (om het pakket op te tillen moet het gewicht van het pakket tegengewerkt worden).

Dus: $W = mgh$.

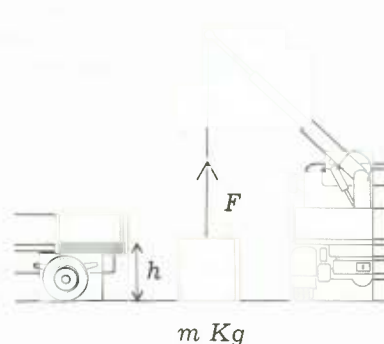
Zetten we het pakket op de vrachtauto, dan is de arbeid gebruikt om de zwaarte-energie van het pakket te vergroten. Volgens de wet van behoud van energie, is de zwaarte-energie dan gelijk aan mgh . (We verwaarlozen de wrijving).

De potentiële energie (E_p) van het pakket is gelijk aan mgh .

Algemeen geldt:

Een voorwerp met massa m , dat zich op h meter boven de grond bevindt, bezit een hoeveelheid potentiële energie gelijk aan mgh .

Dus $E_{pot} = mgh$



Rekenvoorbeeld:

1

Een auto van 1000 kg heeft een snelheid van 72 km/h.

Hoe groot is E_k van deze auto?

$$\left. \begin{array}{l} E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \\ m = 1000 \text{ kg} \\ v = 72 \text{ km/h} = 20 \text{ m/s} \end{array} \right\} \text{Dus: } E_k = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot (20)^2 = 200.000 \text{ J.}$$

2

Een vogel van 300 g vliegt op een hoogte van 2000 m.

Hoeveel potentiële energie heeft de vogel?

$$\left. \begin{array}{l} E_p = m \cdot g \cdot h \\ m = 300 \text{ g} = 0,300 \text{ kg} \\ g = 10 \text{ m/s}^2 \\ h = 2000 \text{ m} \end{array} \right\} \text{Dus } E_p = 0,300 \cdot 10 \cdot 2000 = 6000 \text{ J}$$

T 3 Behoud van mechanische energie

Inleiding

In het begin van dit blok heb je gezien dat er verschillende soorten energie zijn. Soms kan de ene soort in de andere overgaan. Als bijvoorbeeld een kogeltje door een veer wordt weggeschoten, wordt veerenergie omgezet in bewegingsenergie.

Bij iedere omzetting geldt dat de totale energie behouden blijft: energie gaat nooit verloren.

In de tweede paragraaf heb je twee nieuwe namen voor energiesoorten geleerd: kinetische energie (symbool: E_k) en potentiële energie (symbool: E_p).

Ook deze twee soorten energie kunnen in elkaar worden omgezet. Als een voorwerp van een toren valt, wordt de zwaarte-energie (potentiële energie) omgezet in kinetische energie. Ook hier geldt, dat de totale energie behouden blijft. In dit geval is dat de som van de kinetische en de potentiële energie.

Je kunt ook korter schrijven: $E_k + E_p$ is konstant.

Nu mag er geen warmte of een andere energievorm in het spel zijn. De wrijving moet bijvoorbeeld verwaarloosbaar zijn.

We zeggen dat de totale mechanische energie behouden blijft.

De regel $E_k + E_p$ is konstant heet de „wet van behoud van mechanische energie”.

Toepassing

Wat hierboven staat is natuurlijk niets nieuws. Je wist het allang uit blok 6. Maar nu kun je er handig gebruik van maken bij het maken van allerlei mechanika-opgaven.

Voorbeeld:

Een voorwerp valt van 5 m hoogte naar beneden. Wat is de snelheid waarmee het op de grond valt?

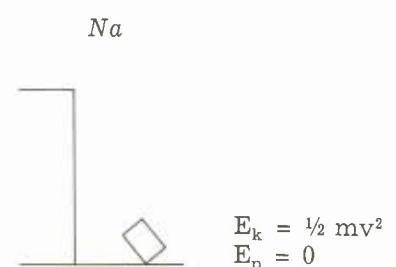
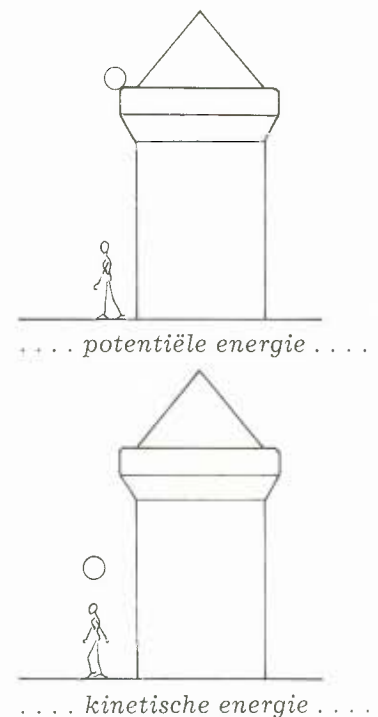
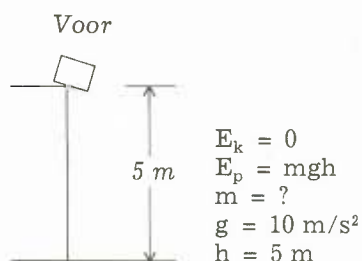
Oplossing:

We nemen aan dat de wrijving verwaarloosbaar is.

Dan geldt de wet van behoud van mechanische energie.

$E_k + E_p$ is konstant.

We onderscheiden nu de situatie voor en na de val



Uit $E_p + E_k$ is konstant volgt dat $(E_p + E_k)_{\text{voor val}} = (E_p + E_k)_{\text{na val}}$.

Dus: $50 \text{ m} = \frac{1}{2} m v^2$ (links en rechts delen door m)
 en $50 = \frac{1}{2} v^2$ (links en rechts maal 2)
 en $v^2 = 100 \Leftrightarrow v = 10 \text{ m/s}$

Je ziet dat je de wet van behoud van mechanische energie ook kunt schrijven als: $(E_p + E_k)_{\text{voor}} = (E_p + E_k)_{\text{na}}$ of

$$(E_p + E_k)_{\text{begin}} = (E_p + E_k)_{\text{eind}}.$$

Omdat dit het laatste blok over mechanika is, vatten we tenslotte de mechanika-formules samen in de tabellen hieronder.

De formules van de mechanika samengevat:

Eenparig versnelde beweging	
afgelegde weg	: $s_t = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$
snelheid	: $v_t = v_0 + a t$
Wet van Newton	: $F = m \cdot a$
Arbeid	: $W = F_s \cdot s$
Vermogen	: $P = \frac{W}{t}$
kinetische energie	: $E_k = \frac{1}{2} m v^2$
potentiële energie	: $E_p = m g h$
Wet van behoud van mechanische energie : $E_p + E_k = \text{konstant}$	

De eenheden die je moet gebruiken

afgelegde weg	s	m
snelheid	v	m/s
versnelling	a	m/s ²
massa	m	kg
kracht	F	N
arbeid	W	J (= Nm)
vermogen	P	W (= J/s)
energie	E	J

T 4 Arbeid en energie

Tot nu toe heb je alleen te maken gehad met kinetische en potentiële energie (T2, W2) en met overgangen tussen deze beide energievormen: behoud van mechanische energie (T3, W3).

De potentiële energie E_p is echter een bijzondere vorm van arbeid, nl. de arbeid die door de zwaartekracht F_z wordt verricht.

We hebben de formule voor $E_p = m \cdot g \cdot h$ daarom ook afgeleid uit de formule voor arbeid: $W = F \cdot s$ ($W = F_z \cdot s \rightarrow W = m \cdot g \cdot h$).

Het is dus logisch dat behoud van mechanische energie ook opgaat voor andere krachten dan de zwaartekracht.

Energiebehoud zegt: $\text{energie}_{\text{begin}} = \text{energie}_{\text{eind}}$

ofwel: alle arbeid/energie die in een voorwerp wordt gestopt komt er op de een of andere manier ook weer uit.

We bekijken meestal wat het effect is van een kracht op de beweging van een voorwerp: we leveren m.b.v. een kracht arbeid aan een voorwerp en kijken hoe het voorwerp daarmee gaat bewegen of van beweging verandert.

De formule die uit dit alles is af te leiden is logisch:

Arbeid \rightarrow verandering van bewegingsenergie

$$W \rightarrow \Delta E_k$$

$$F \cdot s = E_{k\text{eind}} - E_{k\text{begin}}$$

$$F \cdot s = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v_{\text{eind}})^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v_{\text{begin}})^2$$

$$F \cdot s = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v_{\text{eind}}^2 - v_{\text{begin}}^2)$$

Rekenvoorbeelden:

1

Hoeveel meter wordt door een auto met een massa van 900 kg afgelegd als de motor met een kracht van 1000 N de snelheid wil opvoeren van 54 km/h naar 90 km/h?

Gegeven: $F = 1000 \text{ N}$

$m = 900 \text{ kg}$

$v_{\text{begin}} = 54 \text{ km/h} \rightarrow v_{\text{begin}} = 15 \text{ m/s} \quad (v_{\text{begin}} = v_0)$

$v_{\text{eind}} = 90 \text{ km/h} \rightarrow v_{\text{eind}} = 25 \text{ m/s} \quad (v_{\text{eind}} = v_t)$

Gevraagd: weg s

Oplossing: $F \cdot s = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v_{\text{eind}}^2 - v_{\text{begin}}^2)$
 $1000 \cdot s = \frac{1}{2} \cdot 900 \cdot (25^2 - 15^2)$
 $= 450 \cdot (625 - 225)$
 $= 180\,000$

$$s = \frac{180\,000}{1000}$$

$$s = 180 \text{ m}$$

Er is dus 180 m afgelegd.

2

(Zie Blok 18, T 4) Bereken de kracht die jij ($m = 60 \text{ kg}$) op de veiligheidsgordel van de auto uitoefent als deze frontaal tegen een boom botst met een snelheid van 108 km/h. De kreukzone van de auto is 1,0 m lang.

Gegeven: $v_{\text{begin}} = 108 \text{ km/h} \rightarrow v_{\text{begin}} = 30 \text{ m/s}$

$v_{\text{eind}} = 0 \text{ m/s}$

$s = 1,0 \text{ m}$

$m = 60 \text{ kg}$

Gevraagd: de kracht F

Oplossing: $F \cdot s = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v_{\text{eind}}^2 - v_{\text{begin}}^2)$
 $F \cdot 1,0 = \frac{1}{2} \cdot 60 \cdot -30^2$
 $F \cdot 1,0 = 30 \cdot -900$
 $F \cdot 1,0 = -27\,000$

$$F = \frac{-27\,000}{1,0}$$

$$F = -27\,000 \text{ N}$$

Als je deze oplossing vergelijkt met de manier van oplossen in Blok 18, T 4 dan zie je dat de antwoorden uiteraard hetzelfde zijn, maar dat de energie-oplossing hierboven waarschijnlijk je voorkeur heeft.

Blok 19 Werkblad

W 1 Arbeid en vermogen

1

Schrijf een verschil op tussen vermogen in het dagelijks spraakgebruik en in de natuurkunde.

2

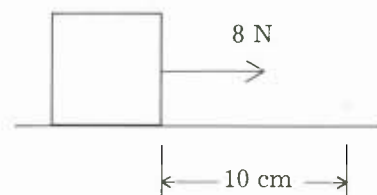
Kijk nog eens naar je antwoorden in P1.

Beantwoord je vragen nog eens, maar nu bekeken vanuit de natuurkunde.

3

Een blokje schuift over tafel. Het blokje wordt voortgetrokken door een kracht van 8 N.

- Wat is de arbeid die de kracht heeft verricht als het blokje 10 cm verschoven is?
- Wat is de arbeid die de zwaartekracht dan heeft verricht?



4

Een auto staat voor een stoplicht. Als het licht op groen springt gaat de auto rijden. De motor levert een konstante kracht van 7000 N. Na 200 m neemt de snelheid van de auto niet meer toe.

- Hoeveel arbeid heeft de automotor verricht gedurende de eerste 200 m?
- Hoeveel arbeid verricht de motor tussen de 200 en 400 meter?
- Waarom neemt de snelheid niet meer toe, terwijl er toch arbeid verricht wordt?

5

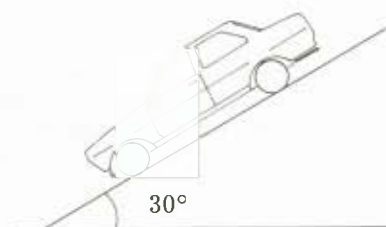
Een motor is in staat om een massa van 200 kg in 3,0 s 4,0 m op te hijsen.

- Wat is het gewicht van de massa?
- Hoeveel arbeid verricht de motor?
- Wat is het vermogen van de motor?

6

In de helling hiernaast is de hellingshoek 30° . Op de helling staat een auto van 700 kg.

- Teken de helling over in je schrift.
Geef in de tekening de zwaartekracht aan (1 cm komt overeen met 1000 N)
- Bereken de arbeid die F_z verricht als de auto (met uitgeschakelde motor) 30 m naar beneden rijdt.



W 2 Kinetische en potentiële energie

1

Een auto heeft een snelheid van 108 km/h. De massa van de auto is 1000 kg.

- Bereken de snelheid van de auto in m/s.
- Bereken de kinetische energie van de auto.

2

Een pakket hangt aan een hijskraan 10,0 meter boven de grond. De massa van het pakket is 1000 kg.

Bereken de potentiële energie van het pakket.

3

Een vliegtuig van 1.000.000 kg vliegt op 10.000 m hoogte boven de oceaan met een snelheid van 1100 km/h.

- Bereken de potentiële energie van het vliegtuig.
- Bereken de kinetische energie van het vliegtuig.

4

Een mammoettanker van 300.000 ton (1 ton = 1.000 kg) heeft een snelheid van 18 km/h. Wat is zijn kinetische energie?

5

Een vogel van 1000 g heeft 2000 J potentiële energie. Hoe hoog vliegt de vogel boven het aardoppervlak?

6

Op een kar (beginsnelheid 0 m/s) van 20 kg werkt een kracht. Er wordt door die kracht 20.000 J arbeid omgezet in bewegingsenergie van de kar. Wat is de snelheid van de kar?

W 3 Behoud van mechanische energie

Met uitzondering van opgave 5 mag je $g = 10 \text{ m/s}^2$ nemen. Verwaarloos de wrijving.

1

Iemand gooit van het balkon van een flat een bloempot naar beneden. Hij geeft de pot een beginsnelheid van 2 m/s. De bloempot valt 3 m. Met welke snelheid komt de bloempot op de grond terecht?

2

Een bal van 2 kg rolt van een helling van 5 m naar beneden. Bereken hoe groot de snelheid van de bal is, als hij onderaan de helling is.

3

Iemand gooit een bal omhoog. De beginsnelheid van de bal is 4 m/s. Hoe hoog komt de bal?

4

Een kurk schiet van een champagnefles. Hij raakt het 1,6 m hoge plafond met een snelheid van 2 m/s. Hoe groot was zijn beginsnelheid?

5

Hiernaast zie je een slinger van een klok. Als de slinger onderaan is, heeft hij een snelheid van 2 m/s. De slinger komt steeds tot een hoogte van 20 cm. Bereken uit deze gegevens de valversnelling.

6

Een bal wordt van een balkon naar beneden gegooid. In het diagram hiernaast is de potentiële energie uitgezet tegen de hoogte.

a. Bereken met behulp van het diagram de massa van de bal.

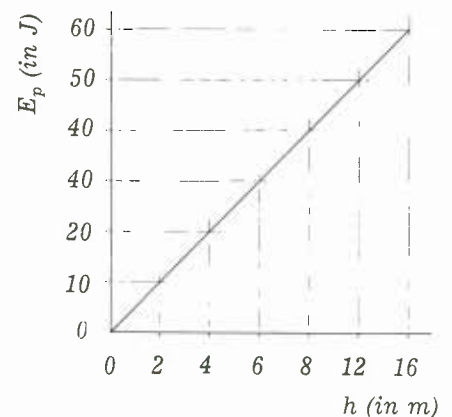
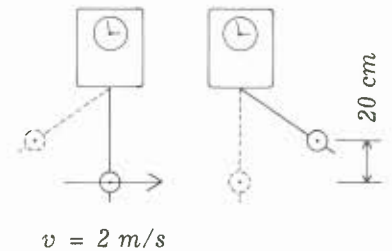


diagram 1: E_p tegen h

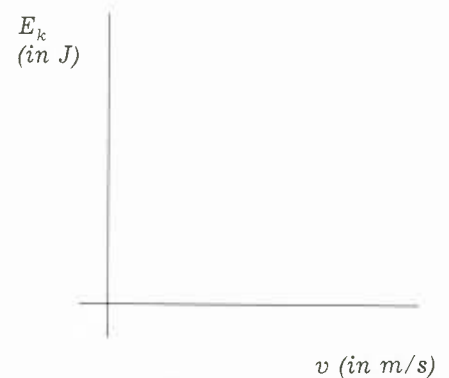


diagram 2: E_k tegen v

Tijdens de val wordt potentiële energie omgezet in kinetische energie.

b. Schets in het diagram hiernaast het verloop van de grafiek die het verband aangeeft tussen E_k en v .

7

Een zware kist van 100 kg glijdt in 10 s eenparig versneld van een helling van 2 m hoog naar beneden. Door de wrijving is de onderkant van de kist behoorlijk warm geworden. Bereken hoe groot de snelheid van de kist onderaan de helling is. (Pas op!).

Blok 19 Herhaalblad

H 1 Begrippen uit dit blok

In dit blok heb je met een aantal begrippen gewerkt. De meeste ervan kende je al. In dit herhaalblad zetten we die begrippen nog eens op een rij. Bij elk begrip staan oefensommen.

Arbeid

1. Een kracht verricht arbeid, wanneer hij een voorwerp verplaatst.
2. Het symbool voor arbeid is W .
3. Voor de arbeid geldt: $W = F_s \cdot s$
Je moet de komponent van F in de richting van de verplaatsing (s) nemen: F_s .
4. De eenheid van arbeid is Nm. Er geldt: $1 \text{ Nm} = 1 \text{ J}$.
5. De arbeid wordt omgezet in andere energiesoorten (warmte, bewegingsenergie, zwaarte-energie).

Opgaven:

1

In de tekeningen 1 t/m 4 hiernaast zijn telkens F en s getekend. In welk geval verricht F arbeid? In welke gevallen verricht F geen arbeid? Licht je antwoord toe.

2

In de tekening hiernaast zorgt de kracht F van 5 N voor een verplaatsing van 3 m. Hoeveel arbeid verricht F ?

3

De motor van een auto verricht arbeid. In welke energiesoorten wordt die arbeid omgezet als een auto bij een stoplicht weggrijdt?

Vermogen

1. Het vermogen van een kracht is de arbeid die de kracht verricht gedeeld door de tijdsduur dat de kracht werkt.
2. Het symbool voor vermogen is P (van power).
3. De formule voor het vermogen luidt: $P = \frac{W}{t}$.
4. De eenheid voor vermogen is J/s. Die eenheid heeft een eigen naam: de Watt. Dus: $1 \text{ J/s} = 1 \text{ W}$.

Opgaven:

4

In 5 s verricht een kracht 20 J arbeid. Wat is het vermogen van die kracht?

5

In de tekening hiernaast verplaatst de kracht F van 1000 N het voorwerp in 16 s over een afstand van 8 m.

- a. Hoeveel arbeid verricht de kracht?
- b. Wat is het geleverde vermogen?

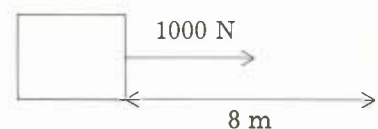
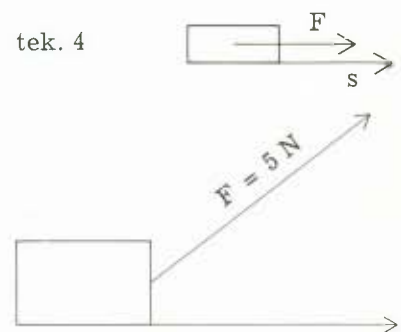
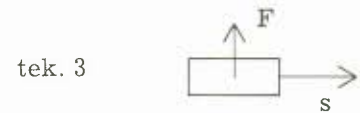
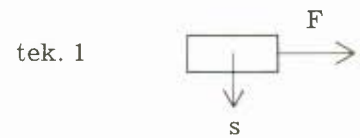
Kinetische energie

1. Kinetische energie = bewegingsenergie
2. Het symbool voor kinetische energie is E_k .
3. Een voorwerp met een massa m en een snelheid v heeft een hoeveelheid kinetische energie van $\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$.
4. Eenheden: E_k in J; de massa in kg en de snelheid in m/s.

Opgaven:

6

Een auto van 700 kg heeft een snelheid van 30 m/s. Bereken de kinetische energie van die auto.



7

Een trein heeft een snelheid van 108 km/h en een massa van 20.000 kg.
Bereken de kinetische energie.

Potentiële energie

1. Zwaarte-energie en veer-energie zijn voorbeelden van potentiële energie.
2. Je zegt dat een voorwerp potentiële energie bezit wanneer een kracht arbeid kan verrichten op dat voorwerp.
3. Een voorwerp **boven** het aardoppervlak bezit potentiële energie (de zwaartekracht kan er arbeid verrichten).
4. Het symbool voor de potentiële energie is E_p .
5. Een voorwerp van m kg dat zich h m boven het aardoppervlak bevindt, heeft een potentiële energie gelijk aan $m \cdot g \cdot h$.
Eenheden: E_p in J; m in kg, g in m/s^2 en h in m.

Opgave:

8

Op 50 meter boven de grond ligt een blokje ijzer van 250 gram. Hoeveel potentiële energie heeft dat blokje?

Wet van behoud van mechanische energie

1. De wet van behoud van mechanische energie is een bijzonder geval van de wet van behoud van energie (energie gaat nooit verloren).
2. De wet van behoud van mechanische energie mag je in die gevallen toepassen waar er alleen van potentiële en kinetische energie sprake is. (Dus geen warmteverlies door wrijving bijvoorbeeld.)
3. De wet van behoud van mechanische energie luidt in formule:
 $E_p + E_k = \text{konstant}$ ofwel: $(E_k + E_p)_{\text{begin}} = (E_k + E_p)_{\text{eind}}$.
In woorden: de som van potentiële en kinetische energie is konstant.

Opgave:

9

Een steen in een dakgoot heeft 300 J potentiële energie.

- a. Hoe groot is E_k ?
- b. Bereken $E_p + E_k$.

De steen valt uit de dakgoot. Neem aan dat er geen wrijving is tijdens de val.

- c. Hoe groot is E_p net boven de grond?
Hoe groot is E_k dan?

Neem nu aan dat er **wel** wrijving is tussen de steen en lucht.

- d. Is E_k in dat geval groter, kleiner of even groot aan je antwoord bij c?
Licht je antwoord toe.

H 2 Hoe pak je een som aan?

Beantwoord eerst de vragen hieronder voor je aan de sommen van dit herhaalblad begint.

Als je een vraag niet kunt beantwoorden, kijk dan eerst H 1 door.

1. De formule voor de arbeid die een kracht verricht is
2. Vermogen is
3. Kinetische energie is
4. De formule voor kinetische energie luidt
5. Potentiële energie is
6. De formule voor de zwaarte-energie luidt

7. Wat zegt de wet van behoud van mechanische energie?

8. Deze wet luidt in formulevorm

In dit herhaalblad ga je oefenen met opgaven. Voordat je daarmee begint nog een tweetal voorbeelden.

1

Een vogel met een massa van 100 gram heeft een potentiële energie van 150 J. Op welke hoogte vliegt de vogel?

Gegeven:

$$m = 100 \text{ g}$$

$$E_p = 150 \text{ J}$$

Gevraagd:

de hoogte (h)

Oplossing:

We maken eerst een tekening.

Formules: $E_p = m g h$

Met deze formule kunnen we dit probleem oplossen, want E_p , m en g zijn bekend.

Uitwerking:

$$\left. \begin{array}{l} E_p = m g h \\ E_p = 150 \text{ J} \\ m = 0,100 \text{ kg (!)} \\ g = 10 \text{ m/s}^2 \end{array} \right\} 150 = 0,100 \cdot 10 \cdot h \Leftrightarrow 150 = 1,0 \cdot h \Leftrightarrow h = 150 \text{ m}$$

Uitkomst:

De vogel vliegt op 150 m hoogte.

2

Iemand gooit een bal van 0,2 kg met een snelheid van 8 m/s omhoog. Hoe hoog komt de bal?

Gegeven:

$$m = 0,2 \text{ kg}$$

$$v_0 = 8 \text{ m/s (} v_0 \text{ de snelheid op } t = 0 \text{ s).}$$

Gevraagd:

De hoogte (h) die de bal bereikt.

Oplossing:

Hiernaast zie je een tekening van de begin- en eindsituatie.

Formules/regels:

De bal ondergaat een eenparig vertraagde beweging.

Formules:

$$s_t = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$v_t = v_0 + a t$$

Uitwerking:

$$s_t = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

s_t is de hoogte h

$$v_0 = 8 \text{ m/s}$$

$$a = -10 \text{ m/s}^2 \text{ (– teken omdat hij de beweging vertraagd).}$$

Invullen:

$$h = 8 t - 5 t^2$$

Onbekend is nu nog t:

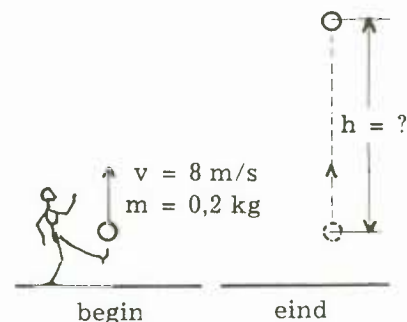
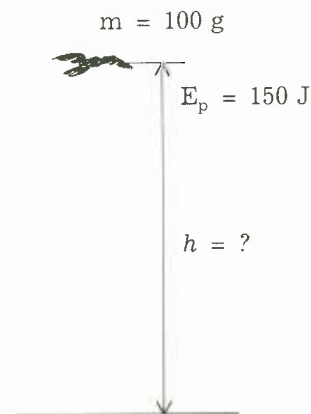
$$v_t = v_0 + a t$$

$$v_t = 0 \text{ m/s (op het hoogste punt is de snelheid 0 m/s).}$$

$$a = -10 \text{ m/s}^2$$

$$v_0 = 8 \text{ m/s}$$

$$0 = 8 - 10 t \Leftrightarrow 8 = 10 t \Leftrightarrow t = \frac{8}{10} \text{ s} = 0,8 \text{ s}$$



$$\begin{aligned} \text{Invullen in } h &= 8t - 5t^2: \\ h &= 8 \cdot 0,8 - 5(0,8)^2 \Leftrightarrow \\ h &= 6,4 - 5 \cdot 0,64 \Leftrightarrow \\ h &= 6,4 - 3,2 = 3,2 \text{ m.} \end{aligned}$$

Uitkomst: de bal komt 3,2 meter hoog.

Je kunt dit probleem ook oplossen met de wet van behoud van mechanische energie. Dat is hierna gebeurd.

Oplossing 2:

Tekening: zie de vorige oplossing

Formules/regels:

$$(E_p + E_k)_{\text{begin}} = (E_p + E_k)_{\text{eind}}$$

Uitwerking:

$$\left. \begin{aligned} E_{p, \text{begin}} &= 0 \\ E_{k, \text{begin}} &= \frac{1}{2} mv^2 \\ m &= 0,2 \text{ kg} \\ v &= 8 \text{ m/s} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} E_{k, \text{begin}} &= \frac{1}{2} \cdot 0,2 \cdot 64 \text{ J} \Leftrightarrow \\ E_{k, \text{begin}} &= 6,4 \text{ J} \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} E_{p, \text{eind}} &= mgh \\ m &= 0,2 \text{ kg} \\ g &= 10 \text{ m/s}^2 \\ h &= ? \end{aligned} \right\} \begin{aligned} E_{p, \text{eind}} &= 0,2 \cdot 10 \cdot h \text{ J} \Leftrightarrow \\ E_{p, \text{eind}} &= 2 \cdot h \text{ J} \end{aligned}$$

$$E_{k, \text{eind}} = 0$$

(de snelheid op het hoogste punt is 0 m/s)

$$\begin{aligned} \text{Invullen:} \\ 0 + 6,4 &= 2h + 0 \Leftrightarrow \\ 6,4 &= 2h \Leftrightarrow \end{aligned}$$

$$h = \frac{6,4}{2} = 3,2 \text{ m}$$

Opgaven: (de wrijving is verwaarloosbaar)

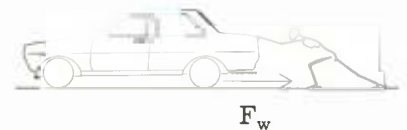
1

Een auto met een snelheid van 20 m/s heeft een kinetische energie van 200 kJ.

Wat is de massa van de auto?

2

Om een auto een eind te duwen, moet je de wrijvingskracht met de grond overwinnen. Het kost je 6250 J om een auto 50 m te duwen. Hoe groot is de wrijvingskracht?

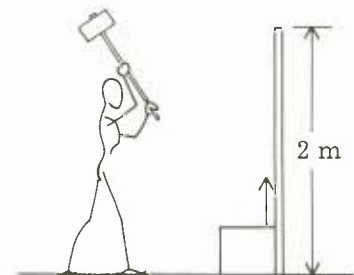


3

Een bal rolt van een helling. Als hij beneden is, heeft hij een snelheid van 5 m/s. Hoe hoog is de helling?

4

Op een kermis geeft iemand een flinke klap op de kop van jut. De snelheid waarmee de wijzer omhoog schiet, is 7 m/s. De hoogte van de kop van jut is 2 meter. Met welke snelheid komt de wijzer tegen de bovenkant aan?



Blok 19 Antwoordblad

H 1 Begrippen uit dit blok

1

In geval 2 en geval 4 verricht F arbeid. Bij 2 is er een component F_s van F in de richting van s .

Bij 4 is F helemaal in de richting van s . In de gevallen 1 en 3 verricht F geen arbeid, want F staat daar loodrecht op s ; er is dus geen component van F in de richting van s . ($F_s = 0$).

2

Eerst moet je F ontbinden langs s en loodrecht op s .

De component van F langs s is 4 N (opmeten).

De arbeid is: $W = F_s \cdot s = 4 \cdot 3 = 12 \text{ Nm} = 12 \text{ J}$.

3

De auto rijdt weg. De arbeid wordt omgezet in kinetische energie. Door wrijving met de grond en de lucht zal er ook arbeid omgezet worden in warmte.

4

Formule: $P = \frac{W}{t}$; $W = 20 \text{ J}$; $t = 5 \text{ s}$

Invullen: $P = \frac{20}{5} = 4 \text{ W}$.

5

a. Formule: $W = F_s \cdot s$; $F_s = 1000 \text{ N}$; $s = 8 \text{ m}$

Invullen: $W = 1000 \cdot 8 = 8000 \text{ Nm} (= 8000 \text{ J})$

b. Formule: $P = \frac{W}{t}$

Invullen: $P = \frac{8000}{16} = 500 \text{ W}$.

6

Formule: $E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$

Invullen: $E_k = \frac{1}{2} \cdot 700 \cdot 30^2 \Leftrightarrow E_k = \frac{1}{2} \cdot 700 \cdot 900 \Leftrightarrow$

$E_k = 315.000 \text{ J} = 315 \text{ kJ}$

7

$E_k = \frac{1}{2} m v^2$

$m = 20.000 \text{ kg}$

$v = 108 \text{ km/h} = 30 \text{ m/s}$

$E_k = \frac{1}{2} \cdot 20.000 (30)^2 \Leftrightarrow$

$E_k = 9.000.000 \text{ J}$

8

$E_p = mgh$

$m = 0,25 \text{ kg}$

$g = 10 \text{ m/s}^2$

$h = 50 \text{ m}$

$E_p = 0,25 \cdot 10 \cdot 50 \Leftrightarrow$

$E_p = 125 \text{ J}$

9

a. $E_k = 0 \text{ J}$, want de snelheid is 0 m/s .

b. $E_k = 0 \text{ J}$ en $E_p = 300 \text{ J} \Leftrightarrow E_k + E_p = 300 \text{ J}$

c. Net boven de grond is $E_p = 0 \text{ J}$, want $h = 0 \text{ m}$.

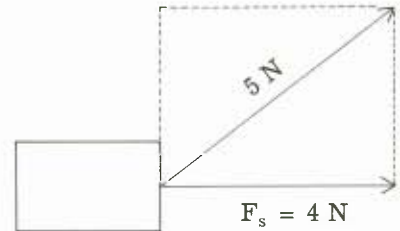
Volgens de wet van behoud van mechanische energie geldt:

$(E_k + E_p)_{\text{begin}} = (E_k + E_p)_{\text{eind}}$

Invullen: $300 = E_{k,\text{eind}} + 0$

E_k is dan dus 300 J .

d. Je mag nu niet meer de wet van behoud van mechanische energie toepassen. De potentiële energie die er eerst was, wordt nu niet alleen in kinetische energie omgezet, maar ook in warmte. Er blijft dus minder over voor de kinetische energie.



H 2 Hoe pak je een som aan

1. $W = F_s \cdot s$
2. De arbeid die verricht is gedeeld door de tijd, waarin die verricht is.
3. Bewegingsenergie.
4. $E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$
5. De arbeid die een kracht op een voorwerp **kan** gaan verrichten.
6. $E_p = m \cdot g \cdot h$
7. De som van de kinetische en potentiële energie blijft konstant als er geen andere energiesoorten in het spel zijn.
8. $E_k + E_p = \text{konstant}$ of $(E_k + E_p)_{\text{begin}} = (E_k + E_p)_{\text{eind}}$.

1

Gegeven:

$$v = 20 \text{ m/s}$$

$$E_k = 200 \text{ kJ}$$

Gevraagd:

$$m_{\text{auto}}$$

Oplossing:

$$\text{Formule: } E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

Uitwerking:

$$200\,000 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (20)^2$$

(Je moet kJ eerst omrekenen in J)

$$\text{Dus: } 200\,000 = \frac{1}{2} m \cdot 400 \Leftrightarrow$$

$$200\,000 = 200 \cdot m \Leftrightarrow$$

$$m = \frac{200\,000}{200} = 1000 \text{ kg}$$

Uitkomst: de auto heeft een massa van 1000 kg.

2

Gegeven:

$$W = 6250 \text{ J (arbeid die nodig is om de auto te duwen)}$$

$$s = 50 \text{ m}$$

Gevraagd:

$$F_w$$

Oplossing:

Maak een tekening.



$$W = 6250 \text{ J}$$

$$s = 50 \text{ m}$$

Formules/regels:

De duwkracht wordt gebruikt om de wrijving te overwinnen,

$$\text{dus } F_{\text{duw}} = F_w$$

$$W = F_{\text{duw}} \cdot s$$

Uitwerking:

$$W = 6250 \text{ J}$$

$$s = 50 \text{ m}$$

$$\text{Dus } 6250 = F_{\text{duw}} \cdot 50 \Leftrightarrow$$

$$F_{\text{duw}} = \frac{6250}{50} \text{ N} = 125 \text{ N}$$

Uitkomst: de wrijvingskracht is 125 N.

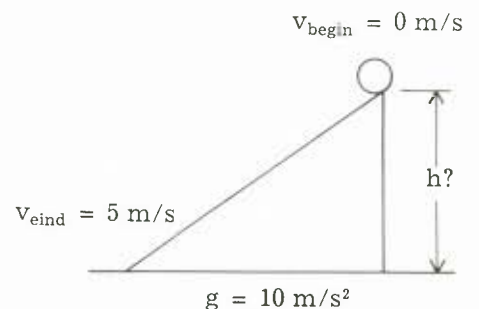
3

Gegeven: $v_{\text{eind}} = 5 \text{ m/s}$

Gevraagd: h (hoogte van de helling)

Oplossing:

maak een tekening:



Formules/regels:

We gebruiken de wet van behoud van mechanische energie:

$$(E_k + E_p)_{\text{begin}} = (E_k + E_p)_{\text{eind}}$$

Uitwerking:

$$E_{k, \text{begin}} = 0 \text{ (geen snelheid)}$$

$$E_{p, \text{begin}} = mgh = 10 \cdot m \cdot h$$

$$E_{k, \text{eind}} = \frac{1}{2} m v^2 \Leftrightarrow E_{k, \text{eind}} = \frac{1}{2} m (5)^2 = \frac{1}{2} 25 \cdot m$$

$$E_{p, \text{eind}} = 0$$

Invullen:

$$10 m h = \frac{1}{2} \cdot 25 \cdot m \Leftrightarrow \text{(links en rechts delen door } m)$$

$$10 h = 12,5 \Leftrightarrow h = \frac{12,5}{10} = 1,25 \text{ m}$$

Uitkomst: de hoogte van de helling is 1,25 m.

4

Gegeven:

$$v_{\text{begin}} = 7 \text{ m/s}$$

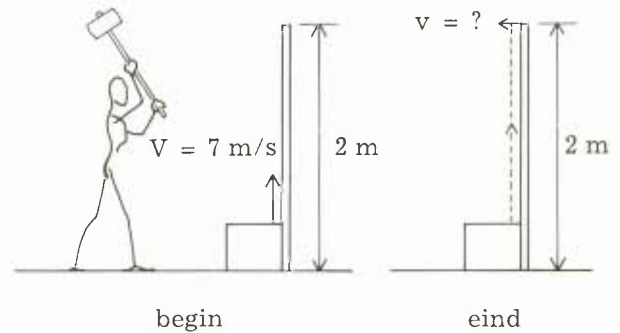
$$h = 2 \text{ m}$$

Gevraagd:

$$v_{\text{eind}}$$

Oplossing:

Maak een tekening:

**Formules/regels:**

We gebruiken de wet van behoud van energie.

$$E_{k, \text{begin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot 49.$$

$$E_{p, \text{begin}} = 0 \text{ J.}$$

$$E_{k, \text{eind}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{\text{eind}}^2.$$

$$E_{p, \text{eind}} = m \cdot g \cdot h = m \cdot 10 \cdot 2 = m \cdot 20$$

$$\text{Invullen: } \frac{1}{2} \cdot m \cdot 49 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{\text{eind}}^2 + m \cdot 20$$

$$\text{Delen door } m: 24,5 = \frac{1}{2} v_{\text{eind}}^2 + 20$$

$$\text{Dus } v_{\text{eind}}^2 = 9$$

$$\text{Daaruit volgt dat } v_{\text{eind}} = 3 \text{ m/s.}$$

Uitkomst: de snelheid op het hoogste punt bedraagt 3 m/s.

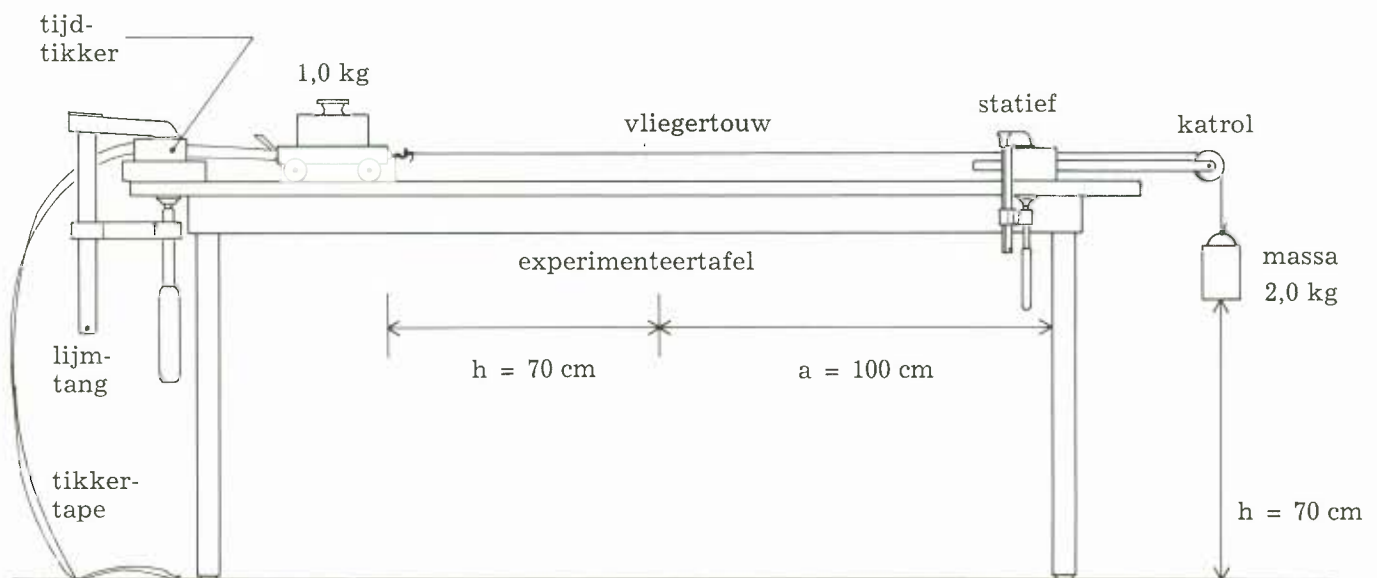
153 Experimentele controle van de wet van behoud van mechanische energie

In dit extra stofblad gaan we een experiment doen, waarmee we willen controleren of de wet van behoud van mechanische energie klopt.

I De wet van behoud van mechanische energie luidt:

$$(E_p + E_k)_{\text{begin}} = (E_p + E_k)_{\text{eind}}$$

We gebruiken de volgende opstelling:



1. Zet een statief met een katrol aan het eind van de tafel en een tijdtikker aan de andere kant.
2. Verzwaar een karretje met een massa van 1,0 kg.
Maak de tikkertape aan het karretje vast met plakband. Kies de lengte van het touw zo, dat de massa van 2,0 kg 70 cm boven de grond hangt, wanneer het karretje tegen de tijdtikker aan staat. Bevestig het touw aan het karretje zo dat het horizontaal loopt.
3. Zorg dat het karretje voldoende ruimte heeft om door te rijden, nadat het gewicht op de grond gevallen is.

II Berekening

1

Als het karretje vastgehouden wordt, tegen de tijdtikker, is de snelheid van zowel het karretje als de massa van 2,0 kg 0 m/s. Dus $E_{k, \text{begin}} = 0$

De massa van 2,0 kg bezit potentiële energie, want hij hangt 70 cm boven de grond. $E_{p, \text{begin}} = m g h \Leftrightarrow E_{p, \text{begin}} = 2,0 \cdot 10 \cdot 0,7 = 14 \text{ J}$.

$$(E_p + E_k)_{\text{begin}} = 0 + 14 = 14 \text{ J}$$

2

Wanneer de massa van 2 kg valt wordt de potentiële energie omgezet in bewegingsenergie van het karretje en de massa van 2 kg.

Als $m_{\text{totaal}} = m_{\text{karretje}} + 2 \text{ kg}$, dan geldt

$$E_{k, \text{eind}} = \frac{1}{2} m_{\text{totaal}} v_{\text{eind}}^2 \text{ en } E_{p, \text{eind}} = 0$$

Volgens de wet van behoud van mechanische energie geldt:

$$14 \text{ J} = \frac{1}{2} m_{\text{totaal}} v_{\text{eind}}^2$$

Vul in: $m_{\text{totaal}} = \dots\dots\dots$ kg (wegen!) en

Bereken $v_{\text{eind}} = \dots\dots\dots$ m/s

3

Door de proef uit te werken kun je v_{eind} met behulp van het tikkertape bepalen. Je kunt dan nagaan of de gemeten en berekende waarde overeenkomen.

III Uitvoering:

1. Zet het karretje tegen de tijdtikker en houdt hem vast.
2. Stel nu precies de hoogte tussen de onderkant van de massa en de grond in op 70 cm.
3. Laat het karretje los en schakel de tijdtikker in.
4. Zorg ervoor, dat je het karretje aan het eind van de tafel opvangt!
5. Bepaal de totale massa $m = m_{\text{karretje}} + 2,0 \text{ kg}$. (met behulp van een balans of een weegschaal).
6. Bepaal v_{eind} met behulp van de tikkertape:
 $v_{\text{eind}} = \dots\dots\dots$ m/s.
7. Vergelijk de gevonden waarden van v_{eind} met de berekende waarde en verklaar verschillen.

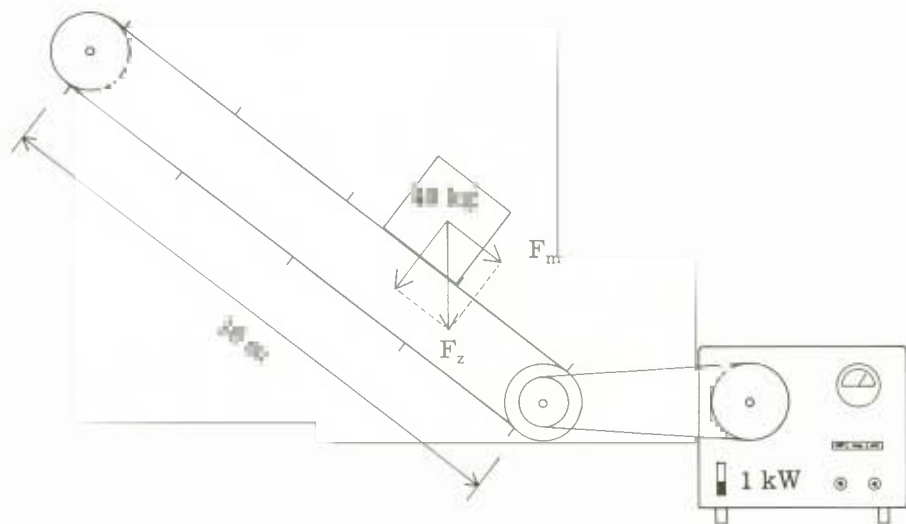
154 Oefenen met examenopgaven

In dit extra stofblad kun je oefenen met de stof uit blok 19. Je vindt hier sommen over die stof uit oude examens. Sukses!

Achterin vind je de antwoorden.

1

Een transportband wordt voor een luik van een hooischuur geplaatst om hooi op de hooizolder te brengen. De transportband wordt aangedreven door een elektromotor. (Zie figuur) De transportband brengt een pak hooi met een massa van 40 kg met een konstante snelheid naar boven.



- a. Bereken F_z .
De grootte van de kracht evenwijdig aan de transportband is $F_m = 200 \text{ N}$. De lengte van de transportband is 16 m.
- b. Bereken hoeveel arbeid op het pak hooi moet worden verricht, om het 16 meter te laten afleggen.
Het maximale vermogen van de elektromotor is 1 kW.
- c. Bereken welk deel van dit maximale vermogen gebruikt wordt, als de snelheid van de band 2 m/s is.
- d. Welk vermogen heb je nodig, als je het pak in 2 s omhoog wilt brengen.

2

Iemand laat zich op 10 m boven het wateroppervlak van een duiktoren vallen. Zijn massa bedraagt 60 kg. De weerstand die hij tijdens de val van lucht ondervindt, wordt verwaarloosd. Ook met de lengte van de persoon wordt geen rekening gehouden.

- Neemt tijdens de val zijn potentiële energie ten opzichte van het wateroppervlak toe of af?
- Bereken het verschil in potentiële energie tussen het punt vanwaar hij vertrekt en het punt waar hij in het water komt.
- Bereken de snelheid van de duiker, op het moment dat hij het water bereikt.

3

In België bevindt zich het Canal du Centre. Men gebruikt daar scheepsliften in plaats van sluisen. Met een lift wordt een schip naar een hoger of lager gedeelte van het kanaal getransporteerd. In figuur 2 is een sterk vereenvoudigd beeld van de liften weergegeven.

Een lift bestaat uit een bassin B dat door een pilaar P omhoog geduwd wordt. De pilaar beweegt zich in een reservoir R op en neer. Het reservoir is gevuld met olie. Er liggen twee liften naast elkaar. (Zie figuur 2b.)

De reservoirs staan met elkaar in verbinding via een kraan K. Na het openen van de kraan zal het hoge bassin dalen en het lage stijgen.

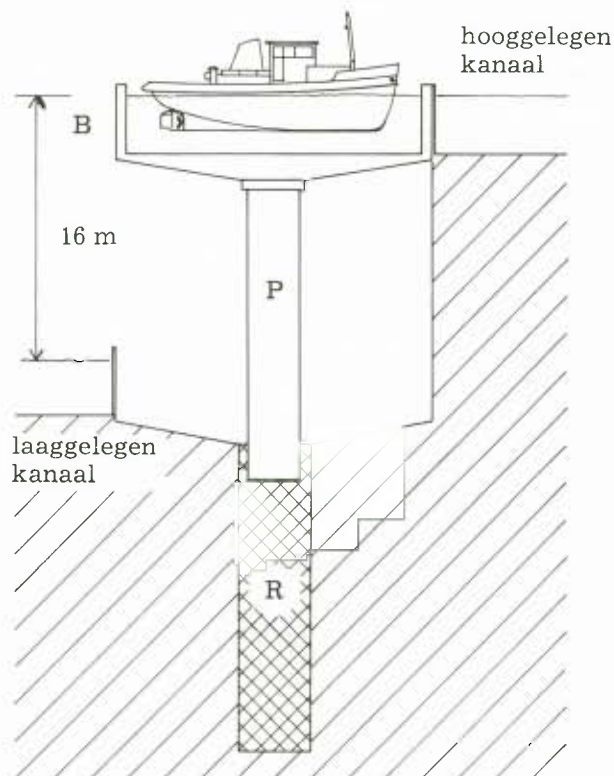
De massa van een pilaar met bassin en waterinhoud is $1,6 \cdot 10^6$ kg.

Als een boot het bassin binnen vaart, stroomt er water het bassin uit.

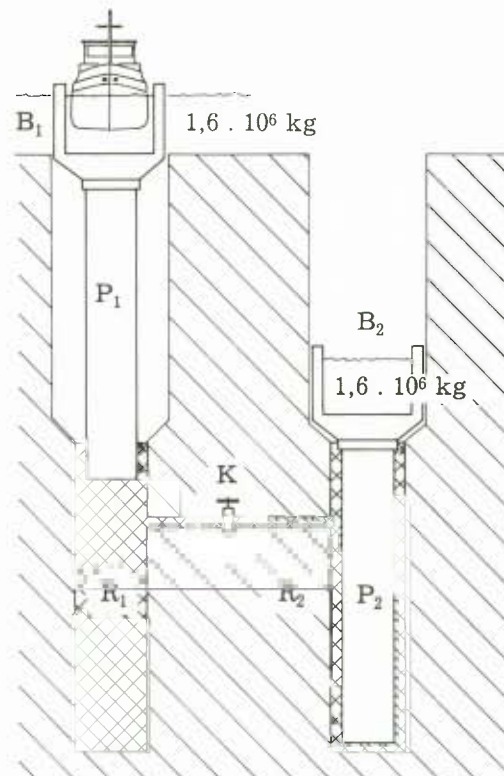
De massa van de boot is $1,5 \cdot 10^5$ kg.

De totale massa van het bassin en de boot is nog steeds $1,6 \cdot 10^6$ kg.

- Bereken in de situatie van figuur 2b de potentiële energie van bassin B1. Als de kraan nu wordt opengedraaid, gaan de liften bewegen. Als er verder niets gebeurt, blijven de liften in een bepaalde evenwichtstoestand staan. De hoogte van beide bassins is dan 8 m.
- En wat is dan de potentiële energie van beide bassins?
Om bassin B1 helemaal naar beneden te krijgen, laat men er in de evenwichtstoestand een extra hoeveelheid water in lopen, zodat het bassin verder zakt. Die extra hoeveelheid water bedraagt $7,5 \cdot 10^4$ kg.
- Wat is nu de potentiële energie van dit bassin?
- Als bassin B1 in de situatie van figuur 2b een vrije val zou maken, met welke snelheid zou het dan de grond bereiken?



figuur 2 a



figuur 2 b.

4

Een voorwerp met een massa van 3,0 kg is met behulp van een koord aan de as van een motor bevestigd. Het wordt opgehesen, als de motor draait. Het vermogen dat door de motor wordt geleverd is 20 W.

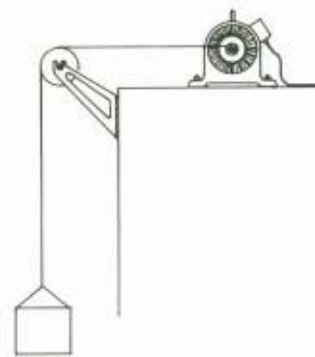
Het voorwerp wordt door de motor in 2,5 s 1 meter opgehesen.

- Bereken de toename van de potentiële energie van het voorwerp.
- Bereken hoeveel procent van de geleverde energie wordt omgezet in potentiële energie.
- Wat is er gebeurd met de energie die door de motor wordt geleverd en die niet wordt omgezet in potentiële energie?

Als het voorwerp helemaal opgehesen is, bevindt het zich 2 meter boven de grond. Wanneer het voorwerp wordt losgelaten, valt het naar beneden, terwijl de motor wordt aangedreven. Hierdoor is de motor in staat elektrische energie te leveren.

Veronderstel dat 60% van de mechanische energie wordt omgezet in elektrische energie. Het voorwerp valt in 3 s naar beneden.

- Bereken het elektrische vermogen dat door de motor wordt afgegeven.



154. Oefenen met examenopgaven

1

a. $F_z = 400 \text{ N}$

b. $W = F_s \cdot s$
 $F_s = 200 \text{ N}$
 $s = 16 \text{ m}$ } $W = 200 \cdot 16 \text{ J}$ dus $W = 3200 \text{ J}$

c. **Gegeven:**

$v = 2 \text{ m/s}$

$P_{\text{max}} = 1 \text{ kW}$

Gevraagd:

Gebruikte deel van P_{max}

Oplossing:

We maken een tekening

Formules/regels:

$$P = \frac{W}{t}$$

Uitwerking:

$W = 3200 \text{ J}$ (onderdeel a)

t kun je berekenen uit de lengte van de band (16 m) en de snelheid (2 m/s)

$s = vt \Leftrightarrow 16 = 2 \cdot t \Leftrightarrow t = 8 \text{ s}$

Dus: $P = \frac{3200 \text{ J}}{8 \text{ s}} = 400 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 400 \text{ W}$

$P_{\text{gebruikt}} = 400 \text{ W}$

$P_{\text{maximaal}} = 1000 \text{ W}$

Uitkomst: 0,4-deel van het maximale vermogen wordt gebruikt.

d. $W = 3200 \text{ J}$
 $t = 2 \text{ s}$ } $P = \frac{3200 \text{ J}}{2 \text{ s}} = 1600 \text{ W} = 1,6 \text{ kW}$

2

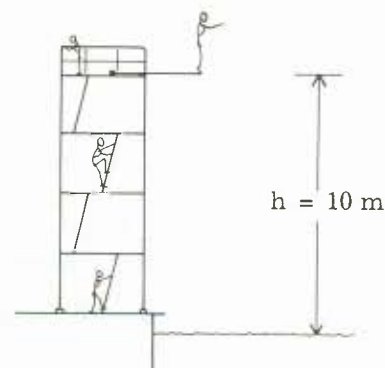
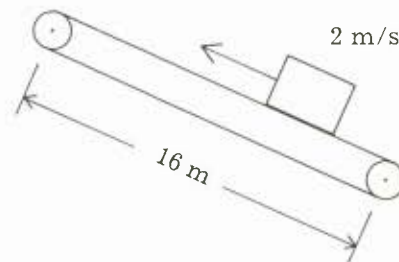
a. Zijn potentiële energie neemt af.

b. Zie tekening

Ten opzichte van het water geldt:

$E_{p, \text{voor}} = m g h$

$E_{p, \text{voor}} = 60 \cdot 10 \cdot 10 = 6000 \text{ J}$



c. **Gegeven:**

$$h = 10 \text{ m}$$

$$m = 60 \text{ kg}$$

$$E_{p, \text{voor}} = 6000 \text{ J}$$

Gevraagd:

$$V_{\text{na}}$$

Oplossing:

Formules/regels:

We gebruiken de wet van behoud van energie:

$$(E_p + E_k)_{\text{voor}} = (E_p + E_k)_{\text{na}}$$

Uitwerking:

$$E_{p, \text{voor}} = 6000 \text{ J}$$

$$E_{k, \text{voor}} = 0$$

$$E_{p, \text{na}} = 0$$

$$E_{k, \text{na}} = \frac{1}{2} m v^2 \Leftrightarrow E_{k, \text{na}} = \frac{1}{2} 60 v^2 = 30 v^2$$

Invullen:

$$6000 = 30 v^2 \Leftrightarrow v^2 = \frac{6000}{30} \Leftrightarrow$$

$$v^2 = 200 \Leftrightarrow v = \sqrt{200} = 14 \text{ m/s (afgerond).}$$

3

a. $E_p = mgh$

$$m = 1,6 \cdot 10^6 \text{ kg}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$h = 16 \text{ m}$$

$$\text{Dus: } E_p = 1,6 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 16 = 2,56 \cdot 10^8 \text{ J}$$

b. $E_p = mgh$

$$m = 1,6 \cdot 10^6 \text{ kg}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$h = 8 \text{ m}$$

$$\text{Dus: } E = 1,28 \cdot 10^8 \text{ J per bassin}$$

c. $m_{\text{tot}} = 1,6 \cdot 10^6 + 7,5 \cdot 10^4 \text{ kg}$. Dus:

$$m_{\text{tot}} = 1\,600\,000 + 75\,000 \text{ kg} = 1\,675\,000 \text{ kg}$$

$$E_p = 1,675 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 8 = 1,34 \cdot 10^8 \text{ J}$$

d. We gebruiken de wet van behoud van energie:

$$(E_p + E_k)_{\text{voor}} = (E_p + E_k)_{\text{na}}$$

$$E_{p, \text{voor}} = 2,56 \cdot 10^8 \text{ J}$$

$$E_{k, \text{voor}} = 0$$

$$E_{p, \text{na}} = 0$$

$$E_{k, \text{na}} = \frac{1}{2} m v^2 \Leftrightarrow E_{k, \text{na}} = \frac{1}{2} \cdot 1,6 \cdot 10^6 \cdot v^2 = 0,8 \cdot 10^6 v^2$$

Invullen:

$$2,56 \cdot 10^8 = 0,8 \cdot 10^6 v^2 \Leftrightarrow v^2 = 320 \Leftrightarrow v = 18 \text{ m/s (afgerond).}$$

4

a. $E_p = mgh$

$$m = 3,0 \text{ kg}$$

$$h = 1 \text{ m}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Dus: } E_p = 30 \text{ J}$$

b. $P = 20 \text{ W}$

$$\text{Dus } P = 20 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

In 2,5 s wordt $2,5 \cdot 20 \text{ J} = 50 \text{ J}$ energie geleverd.

Daarvan wordt 30 J omgezet in potentiële energie.

$$\text{Het rendement is: } \frac{30}{50} \cdot 100\% = 60\%$$

- c. Dat deel van de geleverde energie is omgezet in warmte (door wrijving in de elektromotor)
- d. De potentiële energie van het voorwerp wordt voor 60% omgezet in elektrische energie.

De potentiële energie:

$$\left. \begin{array}{l} E_p = mgh \\ m = 3,0 \text{ kg} \\ g = 10 \text{ m/s}^2 \\ h = 2 \text{ m} \end{array} \right\} E_p = 60 \text{ J (zie ook a.)}$$

60% wordt omgezet in elektrische energie:

$$E_{\text{elek}} = \frac{6}{10} \cdot 60 \text{ J} = 36 \text{ J}$$

In 3 s levert de motor 36 J elektrische energie:

$$P = \frac{36 \text{ J}}{3 \text{ s}} = 12 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 12 \text{ W}$$

