

Wat je moet kennen en kunnen aan het eind van blok 23

1 Je moet weten wat in de natuurkunde onder het begrip 'arbeid' wordt verstaan. [T1]

2 Je moet de formule voor de arbeid kennen en je moet de formule kunnen gebruiken: $W = F \cdot s$. [T1]

3 Je moet weten dat de verrichte arbeid positief is als kracht en verplaatsing dezelfde richting hebben, en negatief als kracht en verplaatsing tegengesteld gericht zijn. [T1, W1]

4 Je moet de formule voor het vermogen kennen en je moet de formule kunnen gebruiken: $P = \frac{W}{t}$. [T1]

5 Je moet opgaven kunnen maken waarbij $P = \frac{W}{t}$ en $W = F \cdot s$ in combinatie worden gebruikt. [T1, W1]

6 Je moet weten wat bewegingsenergie is. [T2]

7 Je moet de formule voor bewegingsenergie kennen en je moet de formule kunnen gebruiken: $E_K = \frac{1}{2}mv^2$. [T2, W2]

8 Je moet weten wat zwaarte-energie is. [T2]

9 Je moet de formule voor zwaarte-energie kennen en je moet de formule kunnen gebruiken: $E_z = mgh$. [T2, W2]

10 Je moet weten wat de wet van behoud van mechanische energie inhoudt. [T3]

11 Je moet die wet in een formulevorm kunnen schrijven en die wet kunnen toepassen. [T3, W3]

12 Je moet de formules van de mechanica uit de vorige blokken kennen. [T4]

Blok 23

Sport en energie

Basisstof

Inleiding 196

T1 Arbeid en vermogen 196

W1 200

T2 Bewegingsenergie en zwaarte-energie 200

W2 202

T3 Arbeid en energie 202

W3 203

T4 Behoud van mechanische energie 204

W4 206

Herhaalstof

H1 Begrippen uit dit blok 207

H2 Zo pak je een opgave aan 209

Extrastof

E1 Klopt de wet van behoud van mechanische energie? 211

E2 Oefenen met examenopgaven 212



Inleiding

In blok 8 heb je geleerd dat er verschillende soorten energie zijn. In dit blok bekijken we twee bijzondere soorten energie: bewegingsenergie en zwaarte-energie. Dat zijn vormen van mechanische energie. Aan de hand van voorbeelden uit de sport leer je hoe een voorwerp aan bewegingsenergie of aan zwaarte-energie komt.

In blok 8 heb je ook geleerd dat je verschillende soorten

energie in elkaar kunt omzetten. Daarbij geldt de wet van behoud van energie. Bij de omzetting van bewegingsenergie in zwaarte-energie (en omgekeerd) gebruiken we de wet van behoud van mechanische energie.

In dit blok bespreken we de wet van behoud van mechanische energie aan de hand van een aantal voorbeelden uit de sport.

Blok 23

T1

Arbeid en vermogen

In deze theoriestof herhalen we een aantal begrippen uit blok 8. We voeren ook een nieuw begrip in: *arbeid*.

Energie

In blok 8 heb je de volgende energiesoorten leren kennen: chemische energie, warmte-energie, elektrische energie, stralingsenergie, bewegingsenergie, zwaarte-energie, veer-energie, magnetische energie en kernenergie. Dit blok gaat vooral over bewegingsenergie en zwaarte-energie.

Bewegingsenergie is de energie die voorwerpen en personen bezitten doordat ze bewegen. Een speer die door de lucht zoeft, bezit bewegingsenergie. Ook een sprintende atleet bezit bewegingsenergie.

fig. 1

Een wielervedron in de sprint.



Zwaarte-energie is de energie die voorwerpen en personen bezitten door de hoogte waarop ze zich bevinden. Als een gewichtheffer een halter heeft opgetild, bezit de halter zwaarte-energie. De halter krijgt bewegingsenergie, als de gewichtheffer hem laat vallen. De gewichtheffer zelf heeft zwaarte-energie als hij boven op het erepodium staat.

fig. 2

Een gewichtheffer.



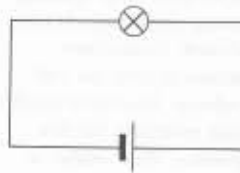
Andere voorbeelden van voorwerpen (of personen) met zwaarte-energie: een hoogspringer die over de lat scheert, een bergbeklimmer die tegen een bergwand hangt, een schoon-springer op een duikplank, een bal op het dak.

In de blokken 8 en 22 heb je energieomzettingen bestudeerd. Energie van de ene soort kan worden omgezet in energie van een andere soort. In de elektrische schakeling van figuur 3 wordt chemische energie in elektrische energie omgezet, en die weer in stralingsenergie en warmte-energie: chemische energie \rightarrow elektrische energie \rightarrow stralingsenergie + warmte-energie.

Als de gewichtheffer van zoëven zijn halter laat vallen, wordt de zwaarte-energie omgezet in bewegingsenergie.

Bij energieomzettingen gaat geen energie verloren. We noemen dit de wet van behoud van energie. (Soms lijkt het alsof bij de omzetting energie verdwijnt maar in werkelijkheid is

fig. 3
Een lampje brandt op een batterij.



die 'verdwenen energie' omgezet in warmte-energie of in een andere energievorm, zoals magnetische 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 dan te maken met werken of een inspanning leveren. Denk maar aan: lichamelijke of geestelijke arbeid.

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

Voorbeeld 1

Een speerwerper gooit een speer weg. Hij moet daarvoor een kracht uitoefenen op de speer. Terwijl de atleet die kracht uitoefent, verplaatst hij de speer. We zeggen nu dat de kracht arbeid verricht op de speer. Doordat er arbeid wordt verricht op de speer, gaat deze bewegen. De speer krijgt bewegings-energie. De snelheid – en dus de bewegingsenergie die de speer krijgt – hangt af van de kracht waarmee de speerwerper gooit en de afstand waarover hij de speer verplaatst. Hoe groter de kracht is die hij uitoefent, des te groter is de arbeid die hij verricht en des te meer bewegingsenergie krijgt de speer. Hoe groter de afstand is waarover de speer wordt verplaatst voordat de werper hem loslaat, des te meer arbeid kan de kracht verrichten. Daarom houdt de speerwerper bij het begin van de worp de speer zo ver mogelijk naar achteren en laat hij de speer pas los als de arm waarmee hij gooit helemaal naar voren wijst (figuur 4).

Voorbeeld 2

Een gewichtheffer tilt een halter op. Hij oefent daarvoor een kracht uit en deze kracht verricht arbeid. Door de verrichte arbeid wordt de zwaarte-energie van de halter groter. De gewichtheffer moet meer arbeid verrichten als hij de halter hoger wil tillen. De halter wordt dan over een grotere afstand verplaatst. Ook het gewicht van de halter speelt een rol. Als de halter zwaarder is moet de gewichtheffer een grotere kracht uitoefenen. Ook dan moet de gewichtheffer meer arbeid verrichten.

fig. 4
Een speerwerpster gooit zó dat zij zo lang mogelijk kracht op de speer kan uitoefenen.



Uit de voorbeelden blijkt dat de verrichte arbeid afhangt van de grootte van de kracht en van de verplaatsing.

We spreken in de natuurkunde daarom af:

arbeid = kracht \cdot verplaatsing.

Het symbool voor arbeid is W (van het Engelse *work*). De formule wordt dus: $W = F \cdot s$.

Voor de eenheid van arbeid geldt:

eenheid van arbeid = eenheid van kracht \cdot eenheid van verplaatsing = $N \cdot m = Nm = \text{joule}$.

Voor het verrichten van arbeid is energie nodig. In het geval van de speerwerper wordt er chemische energie gebruikt. Hij zet dus chemische energie om in bewegingsenergie. De gewichtheffer zet chemische energie om in zwaarte-energie.

Als de verrichte arbeid gelijk is aan 1 Nm, werd er 1 J energie omgezet.

Topprestaties op sportief gebied zijn alleen mogelijk na jarenlange training. Tijdens de training wordt gewerkt aan conditie en techniek. Dankzij hun conditie zijn atleten in staat om veel kracht uit te oefenen. Daarom is krachttraining een vast onderdeel van het trainingsprogramma. Maar omdat de hoeveelheid verrichte arbeid niet alleen afhangt van de grootte van de kracht, trainen de atleten ook 'op techniek'. Daardoor kunnen ze hun kracht zo effectief mogelijk gebruiken en is de hoeveelheid verrichte arbeid het grootst.

Voorbeeld 3

Een gewichtheffer tilt een halter op van 1000 N. De halter wordt 2,0 m verplaatst.

Hoeveel arbeid verricht de gewichtheffer?

$$F = 1000 \text{ N}; s = 2,0 \text{ m}$$

$$W = F \cdot s$$

$$W = 1000 \cdot 2,0 = 2000 \text{ Nm.}$$

Door de arbeid van de gewichtheffer krijgt de halter zwaarte-energie en wel 2000 J.

Voorbeeld 4

Een bal rolt door het gras en ligt na 6,0 m stil. De bal ondervindt van het gras een (gemiddelde) wrijvingskracht van 0,5 N.

Hoeveel arbeid verricht de wrijvingskracht?

$$F = 0,5 \text{ N}; s = 6,0 \text{ m}$$

$$W = F \cdot s$$

$$W = 0,5 \cdot 6,0 = 3,0 \text{ Nm.}$$

Door de arbeid die de wrijvingskracht verricht neemt de bewegingsenergie van de bal af! De bewegingsenergie wordt omgezet in warmte-energie.

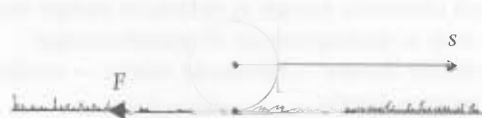
Uit de voorbeelden 3 en 4 blijkt dat door het verrichten van arbeid de energie kan toenemen of afnemen; dat hangt af van de richting van de kracht en de verplaatsing. In voorbeeld 3 hebben de kracht en de verplaatsing dezelfde richting (figuur 5). De arbeid is dan positief: + 2000 Nm (de energie van de halter neemt toe).

fig. 5
Kracht en verplaatsing hebben dezelfde richting: de arbeid is positief.



In voorbeeld 4 zijn de kracht en de verplaatsing tegengesteld gericht (figuur 6). De arbeid is dan negatief: - 3,0 Nm (de energie van de bal neemt af).

fig. 6
Kracht en verplaatsing zijn tegengesteld gericht: de arbeid is negatief.



Aan het begin van dit blok hebben we al gezegd dat de betekenis van het begrip arbeid in de natuurkunde anders is dan in het dagelijks leven. Denk maar eens aan de volgende situatie. De gewichtheffer staat stil met een halter van 100 kg boven zijn hoofd. Het kost veel energie om dat vol te houden. Toch verricht de gewichtheffer natuurkundig gezien geen arbeid! De halter wordt immers niet verplaatst. Waarom kost dit dan toch energie? Dat heeft te maken met de werking van de spieren. Tijdens het omhoog houden van de halter spannen en ontspannen de spieren zich voortdurend. In de spieren wordt dus wel degelijk arbeid verricht. Daarbij wordt ook chemische energie omgezet in warmte-energie. De zweetdruppeltjes op het voorhoofd van de gewichtheffer zijn daarvan het bewijs.

Op de rollende bal uit voorbeeld 4 werkt ook de zwaartekracht. Tijdens het rollen verricht de zwaartekracht géén arbeid. Dat komt doordat er geen verplaatsing is in de richting van de zwaartekracht. Het wordt anders als de bal een helling afrolt. In dat geval verricht de zwaartekracht wél arbeid omdat de bal zich ook verplaatst in de richting van de zwaartekracht. Hetzelfde geldt als de bal een helling op rolt. (De arbeid die de zwaartekracht verricht is dan negatief!)

Vermogen

In blok 8 hebben we het vermogen als volgt gedefinieerd: het vermogen is de hoeveelheid energie die per seconde wordt geleverd of omgezet.

Het vermogen kan worden berekend met:

$$\text{vermogen} = \frac{\text{energie die wordt geleverd of omgezet}}{\text{tijdsduur}}$$

In formulevorm:

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

De eenheid van vermogen is watt (W).

Uit de definitie van vermogen volgt:

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s.}$$

Voorbeeld 5

Een lamp heeft een vermogen van 40 W. Dat betekent dat in de lamp per seconde 40 J elektrische energie wordt omgezet in stralingsenergie en warmte.

Ook bij het verrichten van arbeid kunnen we spreken over vermogen. Bij het verrichten van arbeid wordt energie omgezet. De verrichte arbeid is gelijk aan de hoeveelheid energie die wordt omgezet. We kunnen het vermogen dus ook definiëren als:

$$\text{vermogen} = \frac{\text{verrichte arbeid}}{\text{tijdsduur}}$$

In formule:

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

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

Voorbeeld 6

Een wielrenner heeft een vermogen van 200 W. De renner moet arbeid verrichten om de wrijvingskracht te overwinnen. De arbeid die de wielrenner per seconde verricht is gelijk aan 200 Nm. Daarbij wordt per seconde 200 J chemische energie omgezet in warmte-energie.

Je kunt het vermogen berekenen als de verrichte arbeid en de tijdsduur bekend zijn.



Voorbeeld 7

Een gewichtheffer tilt in 2,5 s een halter van 100 kg boven zijn hoofd. De halter wordt daarbij 2,0 m opgetild.

Bereken het vermogen van de gewichtheffer.

De gewichtheffer moet de zwaartekracht op de halter overwinnen. Deze is gelijk aan 1000 N.

$$F = 1000 \text{ N}; s = 2,0 \text{ m}$$

$$W = F \cdot s = 1000 \cdot 2,0 = 2000 \text{ Nm}$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{2000}{2,5} = 800 \text{ W.}$$

Voorbeeld 8

De motor van een raceauto levert bij een snelheid van 180 km/h een vermogen van 100 kW.

Bereken de wrijvingskracht die de raceauto bij deze snelheid ondervindt.

De motor levert de kracht die nodig is om de wrijvingskracht te overwinnen. Hij verricht daarbij per seconde 100 000 Nm aan arbeid. Bij een snelheid van 180 km/h legt de raceauto per seconde 50 m af. Uit $W = F \cdot s$ volgt dan:

$$100\,000 = F \cdot 50$$

$$F = \frac{100\,000}{50} = 2000 \text{ N.}$$

De kracht die de motor levert is gelijk aan de wrijvingskracht, dus $F_w = 2000 \text{ N}$.

Het vermogen van motoren hangt af van het doel waarvoor ze worden gebruikt. Automotoren hebben een vermogen tussen 10 kW en 100 kW. Het vermogen van tractormotoren ligt ook tussen de 10 kW en 100 kW. Een dieselmotor van een schip heeft een veel groter vermogen (bijvoorbeeld 20 000 kW).

Als op een motor staat dat zijn vermogen 1 kW is, houdt dat in dat de motor per seconde 1 kJ arbeid *kan* verrichten. Dat betekent niet dat hij dan ook *altijd* 1 kJ arbeid per seconde levert. In de praktijk zal de motor vaak minder vermogen leveren, omdat hij niet voortdurend maximaal wordt belast. Een auto rijdt bijvoorbeeld zelden op topsnelheid.

Blok 23

W1

1 Schrijf het verschil op tussen 'arbeid' in het dagelijks spraakgebruik en de natuurkundige grootte arbeid.

2 Schrijf het verschil op tussen 'vermogen' in het dagelijks spraakgebruik en de natuurkundige grootte vermogen.

3 Een schaatser legt tijdens een sprint de laatste 100 m af in 8,0 s. Zijn snelheid is daarbij constant en hij ondervindt een wrijvingskracht van 120 N.

- a Welke energieomzetting vindt plaats tijdens de laatste 100 m?
- b Bereken de arbeid die de schaatser tijdens de laatste 100 m verricht.
- c Bereken het vermogen dat de schaatser daarbij levert.

4 De atlete Nellie Cooman legt de 60 m indoor af in 7,00 s. Ze bereikt na 12 m haar topsnelheid, die daarna constant blijft. Tijdens de sprint levert ze een constante kracht van 140 N.

- a Welke energieomzetting vindt plaats tijdens de eerste 12 m?
- b Bereken de arbeid die Nellie Cooman daarbij verricht.
- c Welke energieomzetting vindt plaats ná de eerste 12 m?
- d Bereken de arbeid die Nellie Cooman in totaal verricht.
- e Bereken het vermogen dat ze tijdens de sprint levert.

5 Een gewichtheffer tilt in 2,5 s een halter van 125 kg boven zijn hoofd. De halter wordt daarbij 2,0 m opgetild.

- a Welke energieomzetting vindt plaats?
- b Bereken het gewicht van de halter.
- c Bereken de arbeid die de gewichtheffer verricht.
- d Bereken het vermogen dat hij daarbij levert.

6 Tijdens de 13 km lange klim naar de top van de Alpe d'Huez overwinnen de wielrenners een hoogteverschil van 1200 m. Eric Breukink klimt in precies 1,0 uur naar boven. Het gewicht van de renner met fiets is 800 N.

- a Bereken de arbeid die de zwaartekracht tijdens de klim verricht.
- b Bereken de arbeid die Eric minimaal moet verrichten.
- c Bereken het vermogen dat hij minimaal moet leveren.
- d Waarom staat in beide voorgaande opdrachten 'minimaal'?

Blok 23

T2

Bewegingsenergie en zwaarte-energie

De twee soorten energie die in de sport een belangrijke rol spelen, zijn bewegingsenergie en zwaarte-energie. Hieronder leer je waar de bewegingsenergie en de zwaarte-energie van

af hangen en met welke formules je de bewegingsenergie en de zwaarte-energie kunt berekenen.

Bewegingsenergie

Een voorwerp dat beweegt, bezit energie omdat het beweegt. We noemen deze energiesoort bewegingsenergie (ook wel kinetische energie). Afgekort: E_k .

De bewegingsenergie kan worden omgezet in een andere energiesoort. Daarbij wordt arbeid verricht.

De hoeveelheid bewegingsenergie hangt af van twee grootheden: massa en snelheid.

Als een vrachtauto tegen een muur rijdt, heeft dit andere gevolgen dan wanneer een vlieg met dezelfde snelheid tegen

de muur vliegt (figuur 7). Door zijn grote massa bezit de vrachtauto meer bewegingsenergie en kan hij meer arbeid verrichten.

Het zal duidelijk zijn dat de ravage ook afhangt van de snelheid van de vrachtauto. Hoe groter de snelheid van de vrachtauto is, hoe meer arbeid hij kan verrichten.

De bewegingsenergie kan berekend worden met de volgende formule:

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2.$$

Voorbeeld 1

Een atlete van 60 kg heeft een snelheid van 10 m/s.
Bereken haar bewegingsenergie.

Oplossing:

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 60 \cdot 10^2 = 3000 \text{ J.}$$

We leiden de formule voor de bewegingsenergie af aan de hand van het volgende voorbeeld.

Een wielrenner vertrekt vanuit stilstand. Hij oefent daarbij een kracht F uit over een afstand s . We verwaarlozen de wrijving zodat alle chemische energie van de renner wordt omgezet in bewegingsenergie. De arbeid die de renner verricht is dus gelijk aan de bewegingsenergie die ontstaat.

Voor de arbeid W geldt:

$$W = F \cdot s$$

De bewegingsenergie die ontstaat is dus gelijk aan:

$$E_k = W = F \cdot s$$

Voor de kracht F mogen we schrijven:

$$F = m \cdot a$$

Voor de verplaatsing s bij een eenparig versnelde beweging (zonder beginsnelheid) geldt:

$$s = \frac{1}{2} at^2$$

Als we de formules voor F en s invullen in de formule voor de bewegingsenergie, vinden we:

$$E_k = (m \cdot a) \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2\right) = \frac{1}{2} m \cdot a^2 \cdot t^2 = \frac{1}{2} m(at)^2$$

Omdat bij een eenparig versnelde beweging met beginsnelheid 0 m/s geldt:

$$v = at,$$

vinden we tenslotte:

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2.$$

fig. 7
Snelheid én massa bepalen de ravage.



Zwaarte-energie

Een voorwerp dat zich op enige afstand boven het aardoppervlak bevindt, bezit zwaarte-energie (E_z). Als het voorwerp valt, wordt de zwaarte-energie omgezet in bewegingsenergie. Daarbij verricht de zwaartekracht arbeid. De hoeveelheid zwaarte-energie hangt af van de massa van het voorwerp en de hoogte boven het aardoppervlak.

Je kunt de zwaarte-energie van een voorwerp berekenen met de formule:

$$E_z = mgh.$$

Voorbeeld 2

Een gewichtheffer tilt een halter van 125 kg op. De halter bevindt zich dan 2,0 m boven de grond.

Bereken de zwaarte-energie die de halter krijgt.

Oplossing:

$$E_z = mgh = 125 \cdot 10 \cdot 2 = 2500 \text{ J.}$$

De letter g is het symbool voor de valversnelling. Ieder voorwerp dat vrij valt, ondervindt een versnelling g . De kracht die daarvoor zorgt is de zwaartekracht F_z . Met $F = m \cdot a$ vinden we voor de zwaartekracht $F_z = m \cdot g$. Op aarde is de valversnelling g gelijk aan $9,8 \text{ m/s}^2$. We gebruiken meestal de afgeronde waarde $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Met behulp van voorbeeld 2 kunnen we de formule voor de zwaarte-energie afleiden.

De halter krijgt zwaarte-energie dankzij de arbeid van de gewichtheffer. We gaan er vanuit dat er geen verliezen optreden.

Voor de arbeid W van de gewichtheffer geldt:

$$W = F \cdot s$$

De zwaarte-energie E_z die de halter krijgt is dus gelijk aan:

$$E_z = W = F \cdot s$$

De kracht die de gewichtheffer moet uitoefenen om de halter op te tillen, is gelijk aan het gewicht van de halter:

$$F = m \cdot g$$

De verplaatsing s is gelijk aan de hoogte h die de halter krijgt.

Voor de zwaarte-energie vinden we dus:

$$E_z = m \cdot g \cdot h$$

1 Een kogelstoter stoot een kogel van 5,0 kg met een snelheid van 8,0 m/s weg.

Bereken de bewegingsenergie van de kogel op het moment dat de kogelstoter hem loslaat.

2 De autocoureur Jan Lammers bereikt met zijn raceauto tijdens de 24-uursrace van Le Mans een topsnelheid van 60 m/s. De massa van de auto met bestuurder is 750 kg. Bereken de bewegingsenergie van de auto.

3 De wielrenner Greg LeMond heeft tijdens een tijdrit een snelheid van 54 km/h. Greg heeft een massa van 75 kg. Bereken de bewegingsenergie van Greg LeMond op dat moment.

4 Een parachutiste van 60 kg springt op 2,5 km hoogte uit een vliegtuig.

Bereken de zwaarte-energie van de parachutiste op het moment dat zij uit het vliegtuig springt.

5 De Cubaanse hoogspringer Sottemayor vestigde een wereldrecord met een sprong over 2,36 m. Sottemayor heeft een massa van 70 kg.

Bereken de zwaarte-energie van Sottemayor als hij zich tijdens zijn recordsprong net boven de lat bevindt.

6 Een zweefvliegtuig van 360 kg heeft op een hoogte van 1,2 km een snelheid van 90 km/h.

a Bereken de bewegingsenergie van het zweefvliegtuig.

b Bereken de zwaarte-energie van het zweefvliegtuig.

c Bereken de totale mechanische energie van het zweefvliegtuig. (Voor het begrip mechanische energie: zie T4.)

7 De atleet Ben Johnson had tijdens zijn race op de 100 m sprint een kinetische energie van 3750 J. Zijn massa is 75 kg. Bereken de snelheid die Johnson had in m/s en in km/h.

Blok 23

T3

Arbeid en energie

In deze theoriestof kijken we naar het effect van een kracht op de beweging van een voorwerp.

Als een kogelstoter een kogel wegstoot, verricht zijn kracht arbeid op de kogel. De kogelstoter gebruikt voor deze arbeid chemische energie. Door de verrichte arbeid krijgt de kogel bewegingsenergie. Uit dit voorbeeld blijkt dat er bij het verrichten van arbeid energie wordt omgezet. De kogelstoter zet chemische energie om in bewegingsenergie. Meestal ontstaat hierbij ook warmte-energie. Volgens de wet van behoud van energie is de chemische energie die de kogelstoter gebruikt gelijk aan de bewegingsenergie van de kogel plus de ontstane warmte-energie. Ofwel:

chemische energie = bewegingsenergie + warmte-energie.

De arbeid die de kracht van de kogelstoter op de kogel verricht, is gelijk aan de bewegingsenergie die de kogel krijgt:

$$W = E_k.$$

Een verspringster die na de sprong in de bak belandt, remt af. Daarbij verricht de wrijvingskracht arbeid. Er wordt bewegingsenergie omgezet in warmte. De arbeid die de wrijvingskracht verricht is negatief (kracht en verplaatsing zijn tegengesteld gericht) en gelijk aan de afname van de bewegingsenergie. Dus:

$$W = -E_k.$$

In het algemeen geldt: als een kracht op een voorwerp arbeid verricht, verandert de bewegingsenergie van het voorwerp.

De verrichte arbeid is gelijk aan de verandering van de bewegingsenergie.

Arbeid \Rightarrow verandering van bewegingsenergie.

In formulevorm:

$$W = \Delta E_k$$

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

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

Voorbeeld 1

Een kogelstoter oefent tijdens de stoot een kracht uit van 540 N. De kogel van 5,0 kg wordt daarbij over een afstand van 1,50 m verplaatst. Voordat de kogel wordt weggestoten, maakt de atleet een ronddraaiende beweging. Daardoor heeft de kogel aan het begin van de stoot al een snelheid van 6,0 m/s.

Bereken de snelheid van de kogel na de stoot.

Oplossing:

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

$$540 \cdot 1,50 = \frac{1}{2} \cdot 5,0 \cdot (v_{\text{eind}})^2 - \frac{1}{2} \cdot 5,0 \cdot 6,0^2$$

$$2,5 v_{\text{eind}}^2 = 810 + 90 = 900$$

$$v_{\text{eind}}^2 = \frac{900}{2,5} = 360$$

$$v_{\text{eind}} = 18,97 = 19 \text{ m/s.}$$

fig. 8
Een kogelstoter.



Voorbeeld 2

Een verspringster van 60 kg landt met een snelheid van 10 m/s in de bak. Uit de afdruk in het zand blijkt dat bij de landing het afremmen plaatsvindt over een afstand van 50 cm.

Bereken de grootte van de wrijvingskracht.

Oplossing:

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

$$F \cdot 0,50 = \frac{1}{2} \cdot 60 \cdot 0 - \frac{1}{2} \cdot 60 \cdot 10^2$$

$$0,50 \cdot F = -3000$$

$$F = \frac{-3000}{0,50} = -6000 \text{ N.}$$

In de voorbeelden 1 en 2 is sprake van een eenparig versnelde beweging. De gevraagde grootheden kun je ook berekenen door gebruik te maken van de formules voor de eenparig versnelde beweging.

$$F = m \cdot a$$

$$s(t) = v(0) \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

$$v(t) = v(0) + a \cdot t$$

In de praktijk blijkt dat de oplossing met behulp van arbeid en energie vaak (veel) eenvoudiger is.

Bij verschillende sporten is niet alleen het verrichten van zoveel mogelijk arbeid belangrijk, maar ook de manier waarop de arbeid wordt verricht. Het gaat hierbij vaak om de plaats waar de kracht wordt uitgeoefend.

Een discuswerper zorgt bij de worp voor een draaiende beweging van de discus.

Dankzij deze draaiing en de vorm van de discus ondervindt deze een kracht omhoog (lift) waardoor de afstand die de discus aflegt groter wordt.

Een honkbalwerper is dankzij zijn techniek in staat om de bal met verschillende bogen (curves) te gooien, waardoor de slagman moeite heeft om zijn slag te slaan. Vergelijkbare 'effecten' kom je tegen bij onder meer voetbal, volleybal en (tafel)tennis. Zo'n effect is het gevolg van de draaiende beweging van de bal. Door de wrijving met de lucht ontstaat de bijzondere baan.

Blok 23

W3

1 Tijdens de start van de 500 m schaatsen oefent Yvonne van Gennip gedurende 20 m een (gemiddelde) kracht van 160 N uit op het ijs. Zij heeft een massa van 64 kg.

a Bereken de arbeid die Van Gennip verricht gedurende de eerste 20 m.

b Bereken Van Gennips snelheid na 20 m, als alle arbeid wordt omgezet in bewegingsenergie.

2 Een speerwerpster gooit een speer van 600 g weg met een kracht van 100 N. De kracht op de speer werkt over een afstand van 1,75 m. Door de aanloop heeft de speer vóór de worp al een snelheid van 5,0 m/s.

Bereken de snelheid van de speer na de worp.

3 Bij een vrije slag krijgt een hockeybal van 150 g een snelheid van 90 km/h. Tijdens de slag wordt de bal over 30 cm verplaatst.

Bereken de (gemiddelde) kracht op de bal tijdens de slag.

4 Bij de start van de Grand Prix van Monaco bereikt de autocoureur Alain Prost met zijn auto na 5,0 s een snelheid van 108 km/h. De auto (massa met bestuurder: 1400 kg) legt in die tijd 75 m af.

a Bereken de bewegingsenergie van de raceauto 5,0 s na de start.

b Bereken het vermogen van de motor als alle arbeid bij de start wordt omgezet in bewegingsenergie.

c Bereken de kracht die de motor levert tijdens de start.

5 Tijdens een sprint passeert de wielrenner Guido Bontempi met een snelheid van 72 km/h als eerste de finish. De massa van de renner met fiets is 80 kg.

a Bereken de bewegingsenergie van de renner als hij de finish passeert.

Na de finish knijpt de wielrenner in de remmen en komt na 25 m tot stilstand.

b Bereken de grootte van de remkracht.

6 Een auto van 900 kg rijdt met een snelheid van 54 km/h. De automobilist voert de snelheid op tot 90 km/h. De motor levert daarbij een kracht van 1000 N. Je mag de wrijving verwaarlozen.

Bereken de afstand die de auto aflegt tijdens het versnellen.

7 Door plotseling optredende gladheid botst een auto frontaal tegen een boom. De auto wordt daarbij 1,0 m korter. De snelheid voor de botsing is 108 km/h en de massa van de bestuurder is 60 kg.

Bereken de kracht die de veiligheidsgordel tijdens de botsing uitoefent op de bestuurder.

Blok 23

T4

Behoud van mechanische energie

In het begin van dit blok heb je gezien dat er verschillende soorten energie zijn. Je weet ook dat energie van de ene soort omgezet kan worden in energie van een andere soort. Bij iedere energieomzetting geldt de wet van behoud van energie: de energie vóór de omzetting is gelijk aan de energie ná de omzetting.

Of: de totale hoeveelheid energie blijft behouden (energie gaat nooit verloren).

Voorbeeld 1

Als een boogschutter met zijn boog een pijl wegschiet, wordt veerenergie omgezet in bewegingsenergie. De hoeveelheid bewegingsenergie die de pijl krijgt, is gelijk aan de veerenergie die aanwezig was in de boog.

De wet van behoud van mechanische energie

De omzetting van zwaarte-energie in bewegingsenergie (en omgekeerd) is een energieomzetting die vaak voorkomt, ook bij het sporten.

Voorbeeld 2

Als een hoogspringer heeft afgezet, wordt er bewegingsenergie omgezet in zwaarte-energie. Als hij eenmaal over de lat is, wordt zijn zwaarte-energie weer omgezet in bewegingsenergie. Ook voor deze energieomzetting geldt de wet van behoud van energie.

Omdat zwaarte-energie (E_z) en bewegingsenergie (E_k) twee vormen van mechanische energie zijn, spreken we bij de omzetting van zwaarte-energie in bewegingsenergie (en omgekeerd) over de wet van behoud van mechanische energie; de totale hoeveelheid mechanische energie blijft behouden. Je kunt de wet van behoud van mechanische energie ook in formulevorm schrijven:

$$E_k + E_z = \text{constant. Of: } (E_k + E_z)_{\text{begin}} = (E_k + E_z)_{\text{eind}}$$

Als je de wet van behoud van mechanische energie gebruikt, mogen er geen andere krachten dan alleen de zwaartekracht in het spel zijn. Zo moet de wrijving te verwaarlozen zijn, zodat er geen warmte ontstaat.

Voorbeeld 3

Een hoogspringer scheert met verwaarloosbare snelheid over de lat. De afstand tussen de lat en het kussen is 1,8 m.

Bereken de snelheid waarmee de hoogspringer op het kussen terechtkomt.

fig. 9

Een hoogspringer heeft zwaarte-energie als hij over de lat scheert.



Oplossing:

Als de wrijving te verwaarlozen is, mogen we de wet van behoud van mechanische energie gebruiken.

$$E_k + E_z = \text{constant.}$$

We kijken nu naar de situatie vóór en ná de val.

$$(E_k + E_z)_{\text{voor de val}} = (E_k + E_z)_{\text{na de val}}$$

Op het hoogste punt is de snelheid nul, dus $E_k = 0 \text{ J}$.

Op het laagste punt nemen we de hoogte nul, dus $E_z = 0 \text{ J}$.

We krijgen nu:

$$E_{z,\text{voor de val}} = E_{k,\text{na de val}}$$

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2$$

$$m \cdot 10 \cdot 1,8 = \frac{1}{2}mv^2$$

(links en rechts delen door m):

$$18 = \frac{1}{2}v^2$$

$$v^2 = 36 \Rightarrow v = 6,0 \text{ m/s.}$$

Bij de omzetting van zwaarte-energie in bewegingsenergie (en omgekeerd)

verricht de zwaartekracht arbeid. Dit gaat ten koste van de zwaarte-energie (of bewegingsenergie) en er ontstaat bewegingsenergie (of zwaarte-energie).

Voor een vallend voorwerp geldt:

$$W = K_{k,\text{eind}} - E_{k,\text{begin}}$$

Voor de arbeid die de zwaartekracht verricht, geldt:

$$W = F_z \cdot s = E_{z,\text{begin}} - E_{z,\text{eind}}$$

Hieruit volgt:

$$E_{z,\text{begin}} - E_{z,\text{eind}} = E_{k,\text{eind}} - E_{k,\text{begin}} \Rightarrow$$

$$E_{z,\text{begin}} + E_{k,\text{begin}} = E_{z,\text{eind}} + E_{k,\text{eind}} \Rightarrow$$

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

$$E_z + E_k = \text{constant.}$$

De wet van behoud van mechanische energie is dus een toepassing van:

$$W = E_{k,\text{eind}} - E_{k,\text{begin}}$$

als de zwaartekracht arbeid verricht.

Samenvatting mechanica: formules en eenheden

Omdat dit het laatste blok over mechanica is, vatten we hieronder de mechanicaformules samen.

Eenparig versnelde beweging

Verplaatsing: $s(t) = v(0)t + \frac{1}{2}at^2$

Snelheid: $v(t) = v(0) + at$

Gemiddelde snelheid: $\langle v \rangle = \frac{(v_e - v_b)}{2}$

Verplaatsing: $s = \langle v \rangle \cdot t$

Versnelling: $a = \frac{(v_e - v_b)}{\Delta t}$

Kracht en snelheidsverandering: $F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$

Wet van Newton: $F = m \cdot a$

Arbeid: $W = F \cdot s$

Vermogen: $P = \frac{W}{t} = \frac{E}{t}$

Bewegingsenergie: $E_k = \frac{1}{2}mv^2$

Zwaarte-energie: $E_z = mgh$

Arbeid en energie: $W = E_{k,\text{eind}} - E_{k,\text{begin}}$

Wet van behoud van mechanische energie: $E_k + E_z = \text{constant}$

Symbolen en eenheden

Verplaatsing: s in m

Snelheid: v in m/s

Versnelling: a in m/s²

Massa: m in kg

Kracht: F in N

Arbeid: W in Nm (= J)

Vermogen: P in W (= J/s)

Energie: E in J

In onderstaande opgaven mag je de wrijving verwaarlozen, behalve in opgave 6.

1 Schoonspringster Daphne Jongejans duikt vanuit stilstand van een 10 m hoge toren.

Bereken de snelheid waarmee zij in het water terechtkomt.

2 Een hoogspringster scheert met verwaarloosbare snelheid over de lat op 2,0 m hoogte.

Bereken de snelheid waarmee ze zich heeft afgezet.

3 De tennisster Steffie Graf gooit bij de service de bal met een snelheid van 4,0 m/s omhoog.

Bereken de hoogte die de bal bereikt als deze op een hoogte van 1,2 m wordt losgelaten.

4 Bij de huldiging na een Grand Prix schiet de kurk uit de champagnefles en gaat 5,0 m recht omhoog.

a Bereken de snelheid waarmee de kurk uit de fles schiet.

Van een tweede fles schiet de kurk tegen het dak van de overkapping die zich 2,0 m boven de hals van die fles bevindt.

b Bereken de snelheid waarmee de kurk tegen het dak komt. (De kurk heeft dezelfde beginsnelheid als de kurk uit de eerste fles.)

fig. 10
Na een Grand Prix knalt de champagne.



5 Bij een vrije trap krijgt een voetbal van 500 g een snelheid van 15 m/s. In het hoogste punt heeft de bal nog een (horizontale) snelheid van 10 m/s.

Bereken de grootste hoogte die de bal bereikt.

6 Tijdens een afdaling legt een wielrenner van 80 kg met een constante snelheid van 20 m/s een afstand van 5000 m af. Het hoogteverschil is 400 m.

Bereken de grootte van de wrijvingskracht die de renner ondervindt.

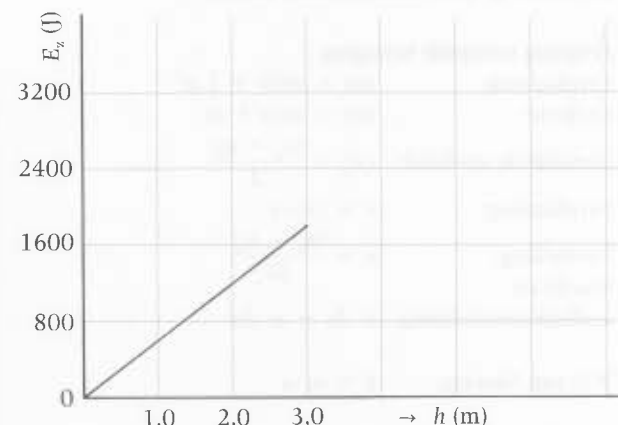
7 De viermansbobslee van Zwitserland heeft na de aanloop een snelheid van 5,0 m/s; 250 m verder heeft de sleet een snelheid van 30 m/s.

Bereken het hoogteverschil over de eerste 250 m.

8 Een schoonspringster springt met een aanloop van de 3,0 m-plank. Ze verlaat de plank met een snelheid van 5,0 m/s.

In het diagram (figuur 11) is de zwaarte-energie uitgezet tegen de hoogte.

fig. 11
Het verband tussen de zwaarte-energie en de hoogte van een schoonspringster.



a Bepaal met behulp van het diagram de massa van de schoonspringster.

b Neem het diagram over en teken hierin de grafiek die het verband geeft tussen de bewegingsenergie en de hoogte.

c Teken in hetzelfde diagram de grafiek die het verband geeft tussen de totale mechanische energie en de hoogte.

9 Een hoogspringer met een massa van 60 kg heeft bij de afzet een kinetische energie van 1200 J.

Bereken de hoogte die hij met deze afzet maximaal kan bereiken.

In dit blok heb je met een aantal begrippen gewerkt. De meeste ervan kende je al. In deze herhaalstof zetten we die begrippen nog eens op een rijtje. Bij elk begrip staan een aantal oefenopgaven.

Arbeid

- Een kracht verricht alleen arbeid op een voorwerp, als het voorwerp beweegt.
- Het symbool voor arbeid is W (van *work*).
- De arbeid bereken je met $W = F \cdot s$.

Daarin is:

F de grootte van de kracht;

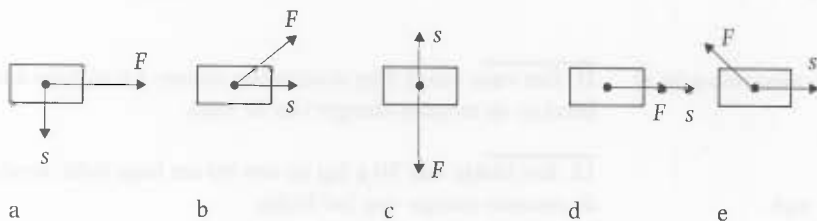
s de verplaatsing in de richting van de kracht tijdens het uitoefenen van de kracht.

- De arbeid is positief als F en s dezelfde richting hebben.
- De arbeid is negatief als F en s tegengesteld gericht zijn.
- Als F en s loodrecht op elkaar staan, wordt géén arbeid verricht.
- De eenheid van arbeid is Nm (newtonmeter). $1 \text{ Nm} = 1 \text{ J}$.
- Voor het verrichten van arbeid is energie nodig. De energie wordt (meestal) omgezet in andere energiesoorten (bewegingsenergie, zwaarte-energie, warmte-energie).

1 In figuur 12 zijn vijf blokjes getekend. De richting van de kracht op elk blokje en de richting van de verplaatsing zijn in de tekeningen aangegeven.

- In welke tekening(en) is de arbeid positief?
- In welke tekening(en) is de arbeid negatief?
- In welke tekening(en) verricht de kracht geen arbeid?
- In welke tekening is de verrichte arbeid het grootst?

fig. 12



2 Een kracht van 5,0 N zorgt voor een verplaatsing van 3,0 m in de richting van de kracht.

Bereken de arbeid die de kracht verricht.

3 Marlies gooit een bal 6,0 m omhoog. De zwaartekracht op de bal is 3,0 N.

Bereken de arbeid die de zwaartekracht verricht:

- tot de bal het hoogste punt bereikt;
- tot Marlies de bal weer opvangt.

4 Als een auto wegrijdt bij een verkeerslicht, verricht de motor arbeid.

Welke energieomzetting vindt plaats bij het wegrijden?

5 De atleet Sergei Boebka springt met een polsstok over de lat die op 6,0 m hoogte ligt.

- Welke krachten verrichten arbeid bij de sprong?
- Welke energieomzettingen vinden plaats tijdens de sprong?

Vermogen

- Het vermogen van een kracht is de arbeid die de kracht per seconde verricht.

- Het symbool voor vermogen is P (van *power*).

- Het vermogen bereken je met: $P = \frac{W}{t}$

Daarin is:

W de verrichte arbeid;

t de tijdsduur waarin de arbeid wordt verricht.

- De eenheid van vermogen is W (watt). $1 W = 1 J/s$.

- Het vermogen van een apparaat is de hoeveelheid energie

die dit apparaat per seconde omzet; hier geldt: $P = \frac{E}{t}$

Daarin is E de omgezette energie in joule; voor P en t geldt

hetzelfde als in de formule $P = \frac{W}{t}$. (Merk op hoeveel de twee formules op elkaar lijken.)

6 Een kracht verricht 20 J arbeid in 5,0 s.

Bereken het vermogen van de kracht.

7 Een kracht van 500 N verplaatst in 8,0 s een voorwerp over een afstand van 16 m.

a Bereken de arbeid die de kracht verricht.

b Bereken het geleverde vermogen.

8 Na het startschot oefent de hardloper Carl Lewis gedurende 1,4 s een (gemiddelde) kracht uit van 350 N. Hij legt daarbij een afstand van 10 m af.

a Bereken de arbeid die Carl Lewis tijdens de eerste 10 m verricht.

b Bereken het geleverde vermogen bij de start.

Bewegingsenergie

- Een voorwerp dat beweegt bezit bewegingsenergie.

- Bewegingsenergie wordt ook wel kinetische energie genoemd.

- Het symbool voor bewegingsenergie is E_k .

- De eenheid van bewegingsenergie is de joule, afgekort: J.

- De bewegingsenergie bereken je met: $E_k = \frac{1}{2} mv^2$.

Daarin is:

m de massa van het voorwerp in kg;

v de snelheid van het voorwerp in m/s.

9 Een auto (massa met bestuurder: 900 kg) heeft een snelheid van 30 m/s.

Bereken de kinetische energie van de auto.

10 Een hockeybal van 150 g heeft een snelheid van 54 km/h.

Bereken de kinetische energie van de hockeybal.

Zwaarte-energie

- Een voorwerp bezit zwaarte-energie als de zwaartekracht er arbeid op kan (of zou kunnen) verrichten.

- Het symbool voor zwaarte-energie is E_z .

- De eenheid van de zwaarte-energie is J.

- De zwaarte-energie bereken je met: $E_z = mgh$.

Daarin is:

m de massa van het voorwerp in kg;

g de valversnelling (afgerond: 10 m/s^2);

h de hoogte in m.

11 Een vaas van 2,5 kg staat boven op een 2,0 m hoge kast. Bereken de zwaarte-energie van de vaas.

12 Een blokje van 50 g ligt op een 90 cm hoge tafel. Bereken de zwaarte-energie van het blokje.

De wet van behoud van mechanische energie

- De wet van behoud van mechanische energie is een bijzondere vorm van de wet van behoud van energie (energie gaat nooit verloren).
- De wet van behoud van mechanische energie mag je alleen toepassen als bewegingsenergie wordt omgezet in zwaarte-energie (en omgekeerd). Bovendien mag alleen de zwaarte-kracht arbeid verrichten. (Er mag dus geen andere vorm van energie ontstaan.)
- De wet van behoud van mechanische energie luidt: bewegingsenergie plus zwaarte-energie is constant.

In formulevorm:

$$E_k + E_z = \text{constant.}$$

$$\text{Of: } (E_k + E_z)_{\text{begin}} = (E_k + E_z)_{\text{eind}}$$

13 Een schoonspringster van 60 kg staat op een 10 m hoge springtoren.

- Bereken de zwaarte-energie van de schoonspringster.
- Hoe groot is haar bewegingsenergie?
- Bereken $E_k + E_z$.

De schoonspringster duikt naar beneden. Neem aan dat er geen wrijving is tijdens de sprong.

d Hoe groot is E_z op het moment dat zij het wateroppervlak raakt?

e Hoe groot is dan E_k ?

f Bereken de snelheid waarmee de schoonspringster in het water duikt.

Neem nu aan dat er wel wrijving is.

g Wat kun je nu zeggen over E_k vlak boven het wateroppervlak, vergeleken met het antwoord op vraag e? Licht je antwoord toe.

14 Een hoogspringer van 75 kg zet af met een snelheid van 6,5 m/s. De wrijving tijdens de sprong is te verwaarlozen.

a Bereken de maximale hoogte die de hoogspringer met deze snelheid kan bereiken.

De hoogspringer scheert over de lat op 2,0 m hoogte.

b Bereken de snelheid waarmee hij over de lat scheert.

Blok 23

H2 Zo pak je een opgave aan

In deze herhaalstof ga je oefenen met opgaven. Voor het maken van de opgaven is het noodzakelijk dat je de begrippen die in de opgaven voorkomen goed kent, en dat je weet welke formules je moet gebruiken. Beantwoord daarom eerst de volgende vragen voor je aan de opgaven begint. Als je een vraag niet kunt beantwoorden, lees dan eerst H1 door.

- Met welke formule bereken je de arbeid die een kracht verricht?
- Met welke formule bereken je het vermogen?
- Wat is bewegingsenergie?
- Met welke formule bereken je de bewegingsenergie?
- Wat is zwaarte-energie?
- Met welke formule bereken je de zwaarte-energie?
- Hoe luidt de wet van behoud van mechanische energie?
- Hoe schrijf je deze wet in formulevorm?

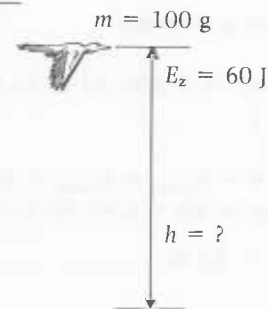
Voorbeeld 1

Een vogel van 100 g heeft een zwaarte-energie van 60 J. Bereken de hoogte waarop de vogel vliegt.

Gegeven:

$$m = 100 \text{ g} = 0,10 \text{ kg}; E_z = 60 \text{ J.}$$

fig. 13



Gevraagd:

hoogte h .

Oplossing:

We maken eerst een tekening (figuur 13).

De zwaarte-energie hangt af van de massa en de hoogte.

Formule:

$$E_z = mgh.$$

Met deze formule kunnen we h berekenen want E_z , m en g zijn bekend ($g = 10 \text{ m/s}^2$).

Uitwerking:

$$E_z = mgh \Rightarrow 60 = 0,10 \cdot 10 \cdot h \Rightarrow 60 = 1,0 \cdot h \Rightarrow$$

$$h = \frac{60}{1,0} = 60 \text{ m.}$$

Uitkomst:

De vogel vliegt op een hoogte van 60 m.

Voorbeeld 2

Een voetballer schopt een bal van 300 g met een snelheid van 8,0 m/s loodrecht omhoog.

Bereken hoe hoog de bal komt als je de wrijving mag verwaarlozen.

Gegeven:

$$m = 300 \text{ g} = 0,30 \text{ kg}$$

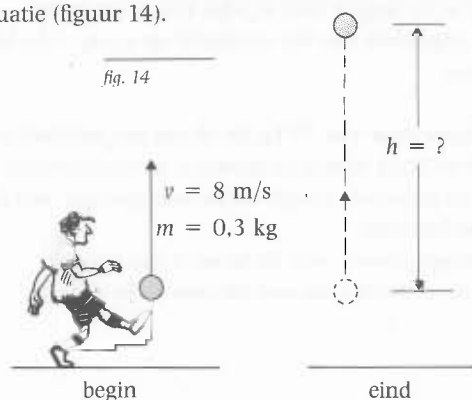
$$v = 8,0 \text{ m/s.}$$

Gevraagd:

hoogte h

Oplossing:

We maken eerst een tekening van de begin- en de eind-situatie (figuur 14).



De wet van behoud van mechanische energie geldt hier: er wordt bewegingsenergie omgezet in zwaarte-energie en er is geen wrijving. De zwaarte-energie in het laagste punt is nul; de bewegingsenergie in het hoogste punt is nul.

Formules:

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

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2$$

$$E_z = mgh \text{ met } g = 10 \text{ m/s}^2.$$

Uitwerking:

$$E_{k,\text{begin}} = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,30 \cdot 64 = 9,6 \text{ J}$$

$$E_{z,\text{begin}} = 0 \text{ J}$$

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

$$9,6 + 0 = 0 + E_{z,\text{eind}} \Rightarrow E_{z,\text{eind}} = 9,6 \text{ J.}$$

$$E_{z,\text{eind}} = mgh \Rightarrow 9,6 = 0,30 \cdot 10 \cdot h \Rightarrow 9,6 = 3 \cdot h$$

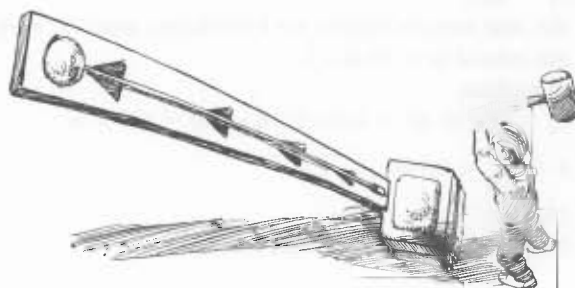
$$\Rightarrow h = \frac{9,6}{3} = 3,2 \text{ m.}$$

Uitkomst:

De bal bereikt een hoogte van 3,2 m.

fig. 15

Een klap op de kop van jut.



Je kunt het vraagstuk in voorbeeld 2 ook oplossen met de formules voor de eenparig versnelde beweging:

$$s(t) = v(0) \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

$$v(t) = v(0) + a \cdot t.$$

Gegevens:

$$s(t) = h$$

$$v(0) = 8,0 \text{ m/s}$$

$$v(t) = 0 \text{ (hoogste punt)}$$

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

Uitwerking:

$$v(t) = v(0) + a \cdot t$$

$$0 = 8,0 - 10 \cdot t \Rightarrow 10 \cdot t = 8,0 \Rightarrow$$

$$t = 0,8 \text{ s.}$$

$$s(t) = v(0) \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

$$h = 8,0 \cdot 0,8 - 5 \cdot (0,8)^2 \Rightarrow$$

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

Deze manier van oplossen is bewerkelijken, omdat je eerst de tijd moet berekenen.

Bij het maken van de opgaven mag je de wrijving verwaarlozen.

1 Bij een snelheid van 8,0 m/s heeft een atlete een bewegingsenergie van 1,6 kJ.

Bereken de massa van de atlete.

2 Bij de start van de 500 m bereikt een schaatser van 80 kg na 40 m een snelheid van 10 m/s.

Bereken de (gemiddelde) kracht die de schaatser de eerste 40 m uitoefent.

3 Een gewichtheffer tilt in 5,0 s een halter van 125 kg boven zijn hoofd, 2,0 m boven de grond.

Bereken het (gemiddelde) vermogen dat de gewichtheffer levert.

4 Tijdens een 'trekkertrek' legt een trekker in 5,0 s met constante snelheid een afstand van 50 m af. De trekkermotor levert daarbij een vermogen van 15 kW om de wrijvingskracht te overwinnen.

Bereken de grootte van de wrijvingskracht.

5 Een schansspringer heeft bij de afzet aan het eind van de skischans een snelheid van 90 km/h.

Bereken de hoogte van de schans.

6 Op de kermis slaat Wieke met een flinke klap op de kop van jut (figuur 15). Daardoor schiet de wijzer met een snelheid van 12 m/s omhoog. De kop van jut is 4,7 m hoog.

Bereken de snelheid waarmee de wijzer tegen de bel aan de bovenkant slaat.

E1 Klopt de wet van behoud van mechanische energie?

In deze extrastof doe je een experiment waarmee je controleert of de wet van behoud van energie geldt.

We laten een karretje van een hellend vlak rijden (figuur 16).

- 1 Welke energieomzetting vindt plaats als het karretje naar beneden rijdt?
- 2 Hoe luidt de wet die je bij deze energieomzetting mag gebruiken (mits er geen wrijving is)?
- 3 Hoe groot is de bewegingsenergie van het karretje als je het loslaat?
- 4 Hoe groot is de zwaarte-energie van het karretje onderaan het hellend vlak?

We bepalen de snelheid van het karretje onderaan het hellend vlak met behulp van een tijdtikker. De tijdtikker zet stippen op een tikkerstrook, die verbonden is met het karretje. De meeste tijdtikkers zetten 50 stippen per seconde.

- 5 Hoeveel tijd zit er tussen het plaatsen van twee stippen?
- 6 Hoe kun je met behulp van de tikkerstrook de (gemiddelde) snelheid van het karretje bepalen?

Benodigd materiaal

- plank of rail van 1,00 m met licht lopend karretje;
- blokje van 100 g;
- tijdtikker met tikkerstrook van 1,5 m;
- spanningsbron;
- statief;
- balans;
- meetlat.

Opstelling

- Stel de rail hellend op, zodat één uiteinde zich 20,0 cm boven de tafel bevindt (figuur 17). Zorg voor voldoende vrije uitloop onderaan de rail.
- Plaats aan het bovenste uiteinde de tijdtikker. Sluit de tijdtikker aan op een spanningsbron van 6 V (nog niet aanzetten!).

fig. 17
Proefopstelling voor de controle van de wet van behoud van mechanische energie.

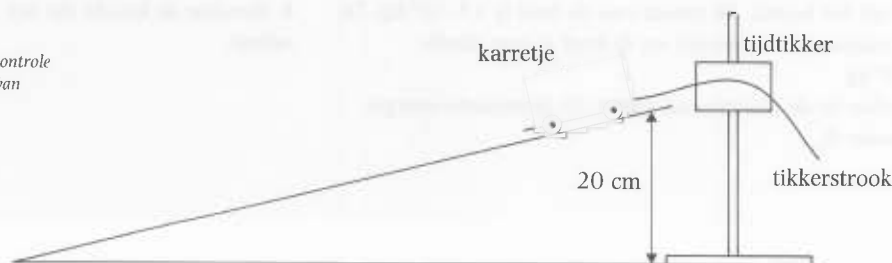
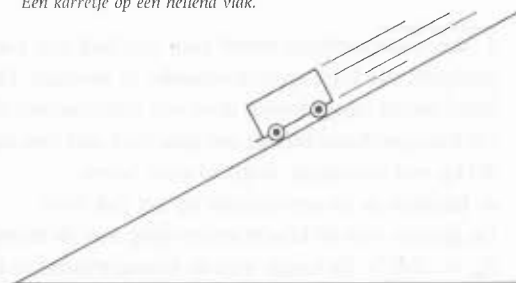


fig. 16
Een karretje op een hellend vlak.



Uitvoering

- Bepaal de massa van het karretje en noteer deze.
- Meet de hoogte waarop het karretje wordt losgelaten en noteer deze.
- Verbind de tikkerstrook met het karretje.
- Plaats het karretje bovenaan de rail (met de strook door de tijdtikker).
- Zet de spanningsbron aan en laat het karretje los.

Uitwerking

- 7 Hoe kun je aan de tikkerstrook zien dat de snelheid van het karretje toeneemt?
- 8 Hoe kun je aan de tikkerstrook zien op welk moment het karretje de rail verlaat?
- 9 Bepaal met behulp van de tikkerstrook de (gemiddelde) snelheid van het karretje als het de rail verlaat. (Vraag even hoeveel stippen jouw tijdtikker per seconde zet.)
- 10 Bereken de bewegingsenergie van het karretje als het de rail verlaat.
- 11 Bereken de zwaarte-energie van het karretje bovenaan de rail.
- 12 Ga na of je hier de wet van behoud van mechanische energie mag toepassen. Licht je antwoord toe.

Herhaal de meting met een blokje van 100 g op het karretje.

- 13 Maak voor deze meting de opdrachten 9 t/m 12.

E2 Oefenen met examenopgaven

In deze extrastof kun je oefenen met de leerstof uit blok 23. Je vindt hieronder opgaven over die stof uit oude examens.

1 Een transportband wordt voor een luik van een hooisluur geplaatst om hooi op de hooizolder te brengen. De transportband wordt aangedreven door een elektromotor (figuur 18). De transportband brengt een pak hooi met een massa van 40 kg met constante snelheid naar boven.

a Bereken de zwaartekracht op het pak hooi.

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 verricht moet worden om het 16 m te laten afleggen.

Het maximale vermogen van de elektromotor is 1,0 kW.

c Bereken welk deel van dit maximale vermogen wordt gebruikt als de snelheid van de band 2,0 m/s is.

d Welk vermogen heb je nodig als je het pak in 2,0 s omhoog wilt brengen?

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

a Berekendeer of tijdens de val zijn zwaarte-energie ten opzichte van het wateroppervlak toe- of afneemt.

b Bereken het verschil in zwaarte-energie tussen het punt vanwaar hij vertrekt en het punt waar hij in het water komt.

c Bereken de snelheid van de springer op het moment dat hij het water bereikt.

3 In België bevindt zich het Canal du Centre. Men gebruikt daar scheepsliften in plaats van sluizen. Met een lift wordt een schip naar een hoger of lager gedeelte van het kanaal getransporteerd. In figuur 19 zie je een sterk vereenvoudigde tekening van de lift.

De lift bestaat uit een bassin B, dat door een kolom P omhoog wordt geduwd. De kolom beweegt zich in een reservoir R op en neer. Het reservoir is gevuld met olie. Er liggen twee liften naast elkaar (zie figuur 20).

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 kolom met bassin is $1,6 \cdot 10^6 \text{ kg}$. Als een boot het bassin binnenvaart, stroomt er water uit het bassin. De massa van de boot is $1,5 \cdot 10^5 \text{ kg}$. De totale massa van het bassin en de boot is nog steeds $1,6 \cdot 10^6 \text{ kg}$.

a Bereken in de situatie van figuur 19 de zwaarte-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. Beide bassins bevinden zich dan op 8,0 m hoogte.

b Bepaal van allebei de bassins de zwaarte-energie in deze situatie.

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. De extra hoeveelheid water heeft een massa van $7,5 \cdot 10^4 \text{ kg}$.

c Wat is nu de zwaarte-energie van het bassin B₁?

d Als bassin B₁ in de situatie van figuur 19 een vrije val zou maken, met welke snelheid zou het dan de grond bereiken?

4 Een voorwerp met een massa van 3,0 kg is met een touw aan de as van een motor bevestigd (figuur 21). Het wordt opgehesen als de motor draait. Het vermogen dat de motor levert is 20 W.

De motor hijst in 2,5 s het voorwerp 1,0 m op.

a Bereken de toename van de zwaarte-energie van het voorwerp.

b Bereken hoeveel procent van de geleverde energie wordt omgezet in zwaarte-energie.

c Wat is er gebeurd met de energie die de motor levert en die niet wordt omgezet in zwaarte-energie?

Als het voorwerp helemaal is opgehesen, bevindt het zich 2,0 m boven de grond. Wanneer het voorwerp wordt losgelaten, valt het naar beneden. Daardoor wordt de motor aangedreven. De motor is nu in staat elektrische energie te leveren. (De motor werkt nu als een dynamo.)

Veronderstel dat 60% van de mechanische energie wordt omgezet in elektrische energie. Het voorwerp valt in 3,0 s naar beneden.

d Bereken het elektrische vermogen dat de motor afgeeft.

5 Een hockeyspeler slaat een bal weg. De beginsnelheid van de bal is 72 km/h. De bal heeft een massa van 0,15 kg. Na precies 40 m komt de bal tot stilstand.

Bereken de gemiddelde wrijvingskracht die de bal heeft ondervonden.

6 Een speelgoedauto wordt aangedreven door een elektromotortje met een vermogen van 5,0 W.

a Hoe groot is de arbeid die het motortje in 1,0 s levert?

De topsnelheid van de auto op een vlakke vloer is 2,5 m/s.

b Bereken de kracht die het motortje op topsnelheid uitoefent.

