lesgeven is een vak

Antwoorden boekje

Leergang Natuurfilosofie

Een grondslag voor het begrijpen van natuurlijke processen

versie van 11 aug 2020

Inhoudsopgave

Het theorieboekje is te downloaden via http://mgpt.vitha.nl/leergang_natuurfilosofie.pdf

Dit antwoordenboek is te downloaden via http://mgpt.vitha.nl/leergang_natuurfilosofie_antwoorden.pdf

Les 1: snelheid

basis

1* gebruik v = s / t (snelheid gevraagd in meters per seconde)

Eerst reken je de tijd van minuten om naar seconden. 60 seconden per minuut keer 10 minuten is 600 seconden.

Dan reken je de afstand om van centimeters naar meters. 55 centimeter gedeeld door 100 centimeters per meter is 0,55 meter.

nu kun je de formule invullen: v = 0,55 / 600 = 0,00092 m/s

[Het antwoordgetal heeft hier een aantal nullen achter de comma. Zorg er dan voor dat je naast de nullen minstens twee cijfers geeft (dat zijn hier de 9 en de 2).]

[Merk op dat we achter het antwoord het symbool m/s gebruiken. Dat is de afkorting voor "meter per seconde". Zo iets noemen we de *eenheid* waarin we de snelheid uitdrukken. In de Natuurkunde hoor je die eenheid altijd bij de uitkomst van je berekening te zetten. In een latere les over grootheden en eenheden komen we daar nog uitgebreid op terug.]

2a** De berekening gaat hier als bij vaag 1. Alleen moeten we nu kijken hoe lang de cirkelvormige weg is. Die is namelijk langer dan 55 cm geworden. Uit de wiskundeles kun je je misschien herinneren hoeveel langer. Je kan de omtrek van een cirkel berekenen door de diameter van de cirkel met het getal pi te vermenigvuldigen. Je moet nu door zelf na te denken tot het inzicht komen dat de afstand tussen munt A en B als de diameter van een cirkel gezien kan worden en dat je de weg die de slak heeft afgelegd als de halve omtrek van de cirkel kunt zien.

afgelegde afstand = ½ keer pi keer diameter.

Als we dat officieel op een Natuurkundige manier met symbolen opschrijven dan krijg je:

$s = \frac{1}{2}\,\pi\,D$

Als we dan in deze formule de getallen invullen krijg je:

s = 0,5 x 3,1415 x 55 = 86.391

Als ja nu de afstand en de tijd zoals bij vraag 1 eerst weer naar meters en seconden omrekent krijg je voor de snelheid:

v = s / t = 0,864 / 600 = 0,0014 m/s

[Merk op dat we bij de afstand in meters drie cijfers gebruiken (0,864). Terwijl we bij het antwoord maar twee cijfers gebruiken (de 1 en de 4). Dat is verstandig om te doen. Zo voorkom je afrondingsfouten.]

2b** De richting van de snelheid verschilt sterk. De richting bij muntje A verschilt 180 graden ten opzichte van die van muntje B. je kan ook zeggen dat je richting bij B volledig tegenovergesteld is aan de richting bij A.

3a*** Je kan nu twee keer de snelheid uitrekenen. Eén keer voor de afstand A naar B en één keer voor de afstand van B naar C. Je gebruikt dan voor beide afstanden dezelfde methode als bij vraag 1. Je krijgt dan:

$v_1 = s_1 / t_1$ = 0,20 / 240 = 0,00083 m/s
$v_2 = s_2 / t_2$ = 0,35 / 240 = 0,0015 m/s

Wie bij wiskunde goed heeft opgelet weet nu dat je het gemiddelde van deze twee snelheden nu kunt berekenen met de formule:

$$v_{gem} = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

Als je deze getallen invult krijg je voor de gemiddelde snelheid 0,0012 m/s.

[Merk op dat we hier zogenaamde "indexcijfers" en -letters gebruiken. Dat is bijvoorbeeld het kleine eentje bij v_1. Met zo'n index kun je makkelijk onderscheid maken tussen het eerste stuk en het tweede stuk dat de slak heeft afgelegd. Ook kan je dan makkelijk onderscheid maken tussen de gemiddelde snelheid en de snelheid op een bepaald traject.]

[Merk verder op dat we deze formule voor de gemiddelde snelheid kunnen gebruiken omdat de slak over beide lijnstukken even lang heeft gedaan. Redeneer voor jezelf eens wat er gebeurd als dat niet het geval is. Je kan de gemiddelde snelheid ook controleren door ineens de afstand tussen muntje A en C te nemen. Komt daar dan hetzelfde uit?]

3b*** Als je de twee afstanden die de slak aflegt bij elkaar optelt, dan kom je op 55 centimeter. De afstand tussen muntje A en C is alleen korter, namelijk slechts 45 centimeter. Dat kan alleen als de slak bij muntje B van richting is veranderd. In zo'n geval kom je voor een vraagstuk te staan.

a- Bereken je de gemiddelde snelheid zoals bij vraag 3a, of
b- bereken je de snelheid ineens, alsof de slak rechtstreeks van plek A naar C ging.

Voor zowel a als b is wat te zeggen. Welke je kiest hangt af van het doel wat je met je berekening hebt. Als je bijvoorbeeld wilt kijken welke afstanden een slak per dag aflegt dan kies je wellicht voor manier b, want kennelijk gaat de slak zigzaggend zijn weg. Als je daarentegen zou willen weten hoe dik de slijmlaag is die de slak achterlaat, dan kies je wellicht voor manier a. Als de slak op een bepaald stuk sneller beweegt, dan zal hij immers een dunner slijmspoor achterlaten!

[Merk op dat je via manier b op een lagere snelheid uitkomt. Heb je dat nagerekend?]

verdieping 1: versnelling en vertraging

1* Om de versnelling uit te kunnen rekenen heb je het snelheidsverschil en het tijdsverschil nodig. Het snelheidsverschil is in de vraag al gegeven. We hebben dus nog het tijdsverschil nodig om de versnelling uit te kunnen rekenen.

2* We gebruiken $a = \Delta v / \Delta t$

Δv is uit te rekenen door het verschil tussen de eindsnelheid en de beginsnelheid uit te rekenen:

$\Delta v = v_{eind} - v_{begin} = 5 - 2 = 3$ m/s [we vermelden weer de eenheid m/s!!]

je vriend had een Δt van 2,2 seconden geklokt. We kunnen dus nu uitrekenen:

$a = \Delta v / \Delta t = 3 / 2{,}2 = 1{,}36$ m/s^2 [we vermelden weer de eenheid m/s^2 !!]

3* In deze vraag is Δt en a gegeven. Δt is namelijk 15 seconden (kwart minuut) en a is 0,5 m/s. Wat we nog niet weten is Δv. Die moeten we dus eerst uitrekenen. Daarvoor moeten we de formule anders opschrijven. Namelijk zo:

$\Delta v = a\ \Delta t$

samenwerkingsprofessionalswerkensamenmetvithaaanhunvak

$\Delta v = a\ \Delta t$

> Als je dit nog een lastige stap vindt moet je je bedenken dat als 6=2*3, dat je dan ook kunt schrijven dat 6/2=3 en 6/3=2
>
> Dat is hetzelfde als te zeggen dat als $\Delta v = a\Delta t$, je ook kan schrijven dat $a=\Delta v/\Delta t$ en $\Delta t= \Delta v/a$
>
> prent je deze regel goed in want je zult hem vaak nodig hebben!!

Als we deze formule invullen krijgen we:

$\Delta v = a\ \Delta t = 0{,}5 \times 15 = 7{,}5$ m/s

Omdat we begonnen met een snelheid van 5 m/s kun je zeggen dat:

$v_{eind} = v_{begin} + \Delta v = 5 + 7{,}5 = 12{,}5$ m/s

4** De versnellingen kun je uitrekenen zoals bij vraag 2. Je krijgt dan voor Anna een versnelling van 3 m/s² en voor Kurt een versnelling van 4 m/s².

5** Om de snelheid over die eerste drie seconden uit te kunnen rekenen heb je de gemiddelde snelheid nodig die de loper over die tijd had. Maar hoe kom je aan die gemiddelde snelheid? Bedenk daartoe dat de snelheid van Anna zich tussen twee uitersten beweegt van 0 m/s aan de onderkant en 9 m/s aan de bovenkant. Als je je nu voorstelt dat je deze snelheden steeds met elkaar afwisselt, dan kun je redeneren dat het gemiddelde van deze snelheden precies tussen de twee uitersten ligt. Deze redenatie is geldig omdat de snelheid elke seconde steeds met eenzelfde hoeveelheid toeneemt. De versnelling is over die drie seconden immers constant!! Teken maar eens een grafiek waarin je de snelheid op de y-as zet en de tijd op de x-as. Probeer dan in die grafiek de gemiddelde snelheid te vinden.

Aangezien de gemiddelde snelheden steeds de helft van de topsnelheden zijn kunnen we stellen dat:

$s_{Anne} = \frac{1}{2}\ v\ t = \frac{1}{2} \times 9 \times 3 = 13{,}5$ m
$s_{Kurt} = \frac{1}{2}\ v\ t = \frac{1}{2}\ 12 \times 3 = 18$ m

[Merk hier op dat als geldt dat v = s/t we ook kunnen schrijven dat s = vt. Zie daartoe ook de uitwerking van vraag 3, over 3=6/2 dus 6=2*3]

6*** Bij deze vraag komt het er op aan dat je goed kunt analyseren. We moeten het hardlooptraject opdelen in twee stukken. Het eerst stuk is het stuk waarin werd versnelt. Vervolgens krijgen we een stuk waarin de snelheid constant blijft. Teken dat gerust eens voor je op een blaadje.

We weten al hoe ver beide concurrenten in de eerste drie seconden kwamen. We weten dus hoe lang het tweede stuk voor elk is. Voor Anne is dat nog 100 – 13,5 = 86,5 meter en voor Kurt is dat nog 100 – 18 = 82 meter. We kunnen nu voor beiden uitreken hoe lang ze over deze stukken doen:

$t_{Anne} = s\ /\ v = 86{,}5\ /\ 9 = 9{,}61$ s [de eenheid is dit keer de seconde (s)!!]
$t_{Kurt} = s\ /\ v = 82\ /\ 12 = 6{,}83$ s

Anne had een voorsprong van drie seconden. Kurt verliest dus zijn weddenschap want hij haalt die drie seconden niet meer in. Hij is namelijk maar 2,78 seconden sneller. Dat is te weinig om de voorsprong van 3 seconden te niet te doen. Anne komt daardoor als eerste over de streep.

7**** Om deze vraag te kunnen beantwoorden moeten we er van uitgaan dat Kurt precies drie seconden sneller loopt over het traject dan Anne. Alleen dan heeft hij de voorsprong van Anne te niet gedaan en komen ze gelijk over de finish. Dat geldt echter niet alleen voor zijn tijd op het rechte stuk. We moeten de tijd over het geheel meten. We weten de tijd van Anne over het geheel, dat is namelijk 3 + 9,61 = 12,61 seconden. We kunnen nu de tijd die Kurt moet neerzetten, namelijk 9,61 seconden. Als we het hele traject van Kurt nemen dan geldt:

$s = 100\ \text{m} = vt = (\frac{1}{2}\ V_{top}\ t_{versnelling}) + (V_{top} * t_{rest}) = 1{,}5\ V_{top} + 6{,}61\ V_{top} = 8{,}11\ V_{top}$

Het komt er hier op aan dat je een beetje kunt rekenen al. Dat je termen binnen en buiten haakjes kunt brengen en dergelijke.

We hebben nu dus 100 = 8,11 Vtop. Dan kunnen we dus ook schrijven:

Vtop = 100 / 8,11 = 12,3 m/s

verdieping 2: snelheden en planetenbanen

1* Het antwoord moet gegeven worden in meters peter dag. Reken km dus eerst om naar m.

150.000.000 km = 150.000.000.000 m.

Je mag dat ook in zogenaamde “wetenschappelijke notatie” schrijven. Dan krijg je 1,5 10^{11} meters. De 10^{11} staat dan voor een 1 met 11 nullen.

Nu moet je de lengte van de cirkelvormige baan berekenen die de aarde per jaar aflegt. Je kan nu de afstand van de aarde tot de zon zien als de straal r van een cirkel, terwijl de omtrek O van de cirkel de baan is die de aarde beschrijft. De omtrek van een cirkel bereken je als volgt

Omstrek = $2\pi r$ = 9,42 10^{11} (942.000.000.000) meters

gevraagd wordt meters per dag. We moeten de omtrek nu dus nog delen door het aantal dagen dat er in een jaar zit. We krijgen dan

Omtreksnelheid = 2.58 10^{9} (2.580.000.000) meters per dag.

2* Ellipsen hebben een grote en een kleine diameter. Als je twee ellipsen pakt, waarvan de één groter is dan de ander, dan kan het alsnog zo zijn, dat de kleinste diameter van de grote ellips, kleiner is dan de grootste diameter van de kleine ellips.

Teken anders maar eens twee sterke ellipsen op een papier. Knip ze uit en schuif ze net zolang over elkaar totdat de kleine ellips over de randen van de grote steekt.

3** De perken worden steeds zo getekend, dat er tussen twee stralen precies even veel tijd zit. Toch is er bij perk 2 een groter stuk omtrek zichtbaar. En omtrek is hier “afgelegde afstand”. Als de afgelegde afstand groter wordt, terwijl de tijd hetzelfde blijft, dan hem je dus meer meters per seconde. De snelheid is dan dus groter. De snelheid is in perk 2 dus groter.

4** De snelheid van de planeet is hoger naarmate de planeet dichter bij de zon staat (zie vorige opgave). Dat komt doordat de planeet wordt aangetrokken door de zon. En aangetrokken worden betekent dat de snelheid – in de richting van de zon - toeneemt. Door de toegenomen snelheid wordt de aarde echter ook harder weggeslingerd van de zon. Dat wegslinger-effect wordt ook wel de centrifugale kracht genoemd en die zal later in deze leergang nog aan de orde komen. Het toegenomen wegslinger-effect heeft dan tot gevolg dat de planeet zich weer wat verder van de zon af beweegt. Nu werkt het effect van de aantrekking van de zon omgekeerd, namelijk dat de snelheid van de planeet – weg van de zon – wordt afgeremd. De planeet wordt dus voortdurend vertraagt of versneld, waardoor de snelheid niet constant is.

5*** Door de plotselinge vertraging van de aarde wordt het wegslinger-effect ineens heel sterk verkleind. Daardoor krijgt de zwaartekracht van de zon sterk de overhand en zal de aarde door de aantrekkingskracht van de zon flink versneld worden. Net zolang totdat het wegslinger-effect groot genoeg geworden is om de aarde weer verder van de zon vandaan te brengen. De aarde zal wel steeds terugkeren naar de plek waar de snelheid voor het eerst werd afgeremd, Het effect is echter dat de baan van de aarde veel elliptischer wordt. De aarde komt dan gedurende lange tijd van het jaar erg dicht bij de zon. De temperatuur op aarde zal daardoor zo sterk stijgen dat leven niet meer mogelijk is. De oceanen zullen aan de kook raken en verdampen.

Les 2: traagheid

basis

1* antwoord: De vloer.

Het voelt misschien raar om te zeggen dat de vloer “moeite” doet, maar het klopt wel. Als je de knikker onder de microscoop legt, dan blijkt het oppervlak van de knikker helemaal niet zo glad te zijn. Je ziet dan een hobbelig oppervlak van allemaal uitstekende atomen. Hetzelfde geldt voor de keukenvloer. Die uitstekende atomen van de vloer duwen steeds even tegen die van de knikker aan. We noemen dat “wrijving”. Het resultaat is dat de snelheid van de knikker afneemt. Dat is hetzelfde effect als wanneer jij op je fiets zit en er duwt steeds iemand even kort tegen je borst. Door die duwtjes wordt je ook afgeremd.

2* We gaan er even van uit dat jouw vriend net zo hoog opspringt van de duikplank als jij en dat hij ook met een even grote snelheid als jij op de springplank land. Je vriend is twee keer zo traag. Het kost de springplank dus ook twee keer zo veel moeite om je vriend af te remmen. Je mag daardoor verwachten dat de springplank ook twee keer zo ver doorbuigt.

3** Het kost de klok meer moeite om een gewicht van 5 kg in beweging te brengen dan een gewicht van 3 kg. Het gewicht van 5 kg is namelijk flink trager. De klok is gemaakt om een gewicht van 3 kg in beweging te krijgen. Daar heeft het mechaniek genoeg kracht voor. Maar het is dan niet erg logisch om te veronderstellen dat het mechaniek ook veel grotere traagheden aan zou kunnen. De klok kan dus niet genoeg kracht leveren.

4** De massa van de aarde is ongeveer 5.972×10^{24} kg. Dat is zeer veel groter dan die van de komeet. De bekende komeet van Halley heeft bijvoorbeeld een massa van $2{,}2 \times 10^{14}$
Deze komeet past dus ongeveer 3×10^{10} keer in de aarde. Bij een botsing zal de snelheid van de aarde dan ook maar voor een vergelijkbaar klein deel worden aangepast.

5*** De boot heeft water gemaakt. Je moet de massa van het binnengelopen water daardoor bij de massa van de boot optellen. De boot wordt dus trager. De kracht die het roer van de boot veroorzaakt, en waarmee de richting van de boot moet worden afgebogen, blijft ondertussen echter gelijk. De toegenomen traagheid zorgt er dan voor dat de boot langzamer reageert op het roer en daardoor wordt de draaicirkel groter.

verdieping 1

1* Als F=ma dan is a=F/m (ga maar na: als 6=2x3 dan geldt ook 3=6/2.

Invullen van de gegevens levert dan:

$a=F/m = 150.000 / 10.000 = 15\ m/s^2$

2* De voorstuwende kracht wordt nu verminderd met een kracht van 45.000 N. Je houd dan nog 105.000 N over als voorstuwende kracht. Je kan de formule nu opnieuw invullen:

$a=F/m = 105.000 / 10.000 = 10{,}5\ m/s^2$

3* De vernelling is niet alleen afhankelijk van de kracht, maar ook van de massa. Als je de massa verkleint, dan neemt de versnelling toe. Je zou dus wat zware bagage overboord kunnen gooien.

4** De versnelling van de aarde is afhankelijk van de massa van de aarde en van de kracht die op de aarde wordt uitgeoefend. De kracht is gegeven, nu nog de massa vinden.

5** De massa van de aarde bedraagt ongeveer $5.972 \times 10^{24.}$ kg. We kunnen weer de formule als bij vraag 1 gebruiken:

$a = F/m = 10^{11} / 5.972 \times 10^{24} = 1{,}67\ 10^{-14}\ m/s^2$

6** De versnelling van de aarde duur 2 seconden. De formule luidt (les 1): a = Δv / Δt. We willen nu alleen Δv weten dus moeten we de formule een beetje ombouwen en dan kunnen we de getallen invullen:

$\Delta v = a * \Delta t = 1{,}67\ 10^{-14} \times 2 = 3{,}34\ 10^{-14}$ m/s

Als je weet dat de aarde met een snelheid van 30.000.000 m/s om de zon heen beweegt, dan hoeft het weinig betoog om te beweren dat de berkende snelheidsverandering niet merkbaar zal zijn.

7*** De massa van de aarde is ongeveer $5.972 \times 10^{24.}$ kg. De afstand van de aarde tot de zon bedraagt ongeveer 150.000.000.000 meter. En de omtreksnelheid van de aarde rond de zon bedraagt ongeveer 30.000.000 meter per seconde. We kunnen nu de centrifugale kracht uitrekenen:

$F = mv^2/r = 5.972 \times 10^{24.}\ (3 \times 10^7)^2\ /\ 1.5\ 10^{11} = 3{,}58\ 10^{19}$ N

De kracht die de zon op de aarde uitoefent moet genoeg zijn om deze centrifugale kracht op te heffen. We kunnen dus veronderstellen dat de zon met deze zelfde krachtgrootte aan de aarde trekt. Dat is dus een zeer grote kracht.

verdieping 2

1* De snelheid is twee keer zo groot geworden terwijl de impuls is gehalveerd. Dat kan alleen als de massa vier keer zo klein is geworden. Nemen we een getalvoorbeeld:

eerste meting: p = mv = 4x2 = 8 kg*m/s

tweede meting: p = mv = 1x4 = 4 kg*m/s

2* We moeten daarvoor deze formule gebruiken:

$F = \Delta p\ /\ \Delta t$

Het is alleen veel handiger om deze formule in een andere vorm te schrijven, waarbij Δt voor het is teken staat. We krijgen het antwoord dan als volgt:

$\Delta t = \Delta p\ /\ F = 2\ /\ 0{,}25 = 8$ s   [vergeet de s van seconden niet!!]

3** Eerst moeten we hier de impuls uitrekenen. Als we dat netjes willen doen, dan nemen we niet de hoeveel uitgestoten gas per 3 seconden maar per seconde. We krijgen dan:

$p = mv = 0{,}333 \times 8000 = 2664$ kg*m/s

Nu we de impuls per seconde van het uitgestoten gas kennen, weten we ook de impuls die de raket er per seconde bij krijgt Die moet namelijk even groot zijn. Ga maar na. De impuls van de raket en het uitgestoten gas blijven bij elkaar opgeteld steeds gelijk. Dat zegt de wet van behoud van impuls. Als de raket naar rechts beweegt en de gassen naar links worden uitgestoten, dan kan de gezamenlijke impuls van gas en raket alleen gelijk blijven als de raket een even grote impuls naar rechts erbij krijgt, als dat de gassen naar links hebben. Via deze redenatie kunnen we de kracht op de raket eenvoudig berekenen door

$F = \Delta p\ /\ \Delta t = 2664\ /\ 1 = 2664$ N   [vergeet de N van Newton niet!!]

4** We moeten hier eerst de impuls*verandering* van het vlot vergelijken met de impuls van de weggegooide steen. Die moeten namelijk gelijk van grootte zijn en tegengesteld van richting, zoals in de vorige opgave. We krijgen dan:

$\Delta p_{vlot} = p_{steen} = mv = 2 \times 10 = 20$ kg*m/s

De Josien en het vlot ondergaan een impulsverandering die niet door een massaverandering tot stand komt, enkel door een snelheidsverandering. We kunnen daardoor voor Josien en het vlot schrijven:

$m = \Delta p_{vlot} / \Delta v = 20 / 0{,}05 = 400$ kg.

[Merk op dat je hier de impuls*verandering* en de snelheids*verandering* van het vlot invoert en niet de absolute waarden van impuls of snelheid. Het gaat hier echt om de verandering. Kun je redeneren waarom dat zo is?]

5*** De total impuls voor de botsing, moet gelijk zijn aan de impuls er na. Als de twee rode ballen dezelfde impuls hebben als de witte daarvoor had, en de snelheid van de rode ballen blijf gelijk aan de witte, dan moet de massa van de rode ballen de helft zijn van die van de witte. Een rekenvoorbeeld:

$p = m_r v_r = m_{w1}\ v_{w1} + m_{w2} \times v_{w2} = 2x2 = 1x2 + 1x2 = 4$

[m_{w1} staat voor de massa van de eerste witte bal. Weet jij nu de overige symbolen te duiden?]

6*** De rode en witte bal hebben hier kennelijk na de botsing elk een even grote impuls. Dat betekent dat elk van de ballen dan na de botsing ook de helft van impuls heeft en daarmee ook precies de halve snelheid (ten opzichte van de snelheid die de witte bal eerst had).

[Kun je dit vraagstuk ook beantwoorden als de witte bal precies drie keer zo veel massa heeft als de rode?]

Les 3: wederkerigheid

basis

1* Zo zou het kunnen gaan: Als je iemand leuk vindt dan ga je je ook zo gedragen dat die ander jouw leuk gaat vinden, bijvoorbeeld door complimentjes te geven. Die ander gaat zich dan ook zo gedragen dat jij hem of haar nog leuker gaat vinden. Daardoor ga jij die ander nog weer leuker en vinden en geef je nog meer complimentjes of ben je nog aardiger voor die ander. Enzovoorts. Op die manier vinden de jongen en het meisje elkaar op een gegeven moment zo geweldig leuk dat ze verliefd worden op elkaar.

2** Jan brengt Tom naar het werk en Tom geeft Jan daar een afgesproken geldbedrag voor. Daardoor heeft Jan weer wat meer geld, verveelt hij zich minder en kan hij naast benzine ook nog wat andere aanschaffen veroorloven. Tom is zijn vervoersprobleem kwijt.

3*** Het antwoord moet in deze sfeer gezocht worden: Een aanbieder maakt klapstoeltjes. Hij ontdekt dat er meer vraag naar zijn product is dan hij kan leveren. De afnemer gaat daardoor meer voor het product betalen, het product is immers lastig te verkrijgen. De aanbieder vind het daardoor interessant om meer van dat product te verkopen. Hij brengt meer producten op de markt. De afnemer gaat daardoor minder voor het product betalen; het is immers makkelijk te verkrijgen. Voor de aanbieder wordt het daardoor steeds minder interessant om nog meer van het product te leveren. Deze wederkerigheid zorgt de prijs in evenwicht komt. De aanbieder gaat er niet meer (per tijdseenheid) van maken en de afnemer gaat er niet meer steeds minder voor betalen. De prijs is dan stabiel geworden.

verdieping 1

1* Als beide massa's in de zwaartekracht formule worden gehalveerd, dan wordt de zwaartekracht vier keer zo klein. We gaan dat nu eens niet met een rekenvoorbeeld uitwerken, maar we gaan de formule er voor aanpassen:

$$F_z = G\frac{m_1 m_2}{r^2} \Rightarrow \frac{1}{4}F_z = \frac{\frac{1}{2}m_1\frac{1}{2}m_2}{r^2}$$

Let goed op de naar rechts wijzende pijl die tussen de twee vergelijkingen staat. Je kan die pijl lezen als "daaruit volgt dat" of "dan geldt ook". Als je een beetje handig begint te worden met wiskunde, dan kun je in de rechtse vergelijking zien dat half keer half een vierde is en dat je daardoor een vierde van de zwaartekracht krijgt bij twee gehalveerde massa's.

2* Dit kun je met een rekenvoorbeeld doen. Je zult dan zien dat de kwadraat in r^2 er voor zorgt dat een verdubbeling van de afstand niet tot een halvering van de zwaartekracht leidt maar tot een vier keer zo kleine zwaartekracht.

3** $G = 6.674 \times 10^{-11}$ en $k = 8{,}988\ 10^9$. De waarde van G is zeer veel kleiner dan de waarde van k.

4*** $m_{proton} = 1{,}672621777\ 10^{-27}$ kg en $q_{proton} = 1{,}602\ 10^{-19}$ C. We maken een vergelijking tussen de zwaartekracht en de Coulombkracht tussen twee protonen. De afstand tussen de twee protonen blijft gelijk. We kunnen dus voor het gemak een afstand van precies 1 meter nemen. Een vergelijking tussen zwaartekracht en Coulombkracht levert dan op:

$$F_z = G\frac{m_1 m_2}{r^2} = 6{,}674 * 10^{-11}\, 1{,}673 * 10^{-27} * 1{,}673 * 10^{-27} = 1{,}868\, 10^{-66}$$

$$F_c = k\frac{q_1 q_2}{r^2} = 8{,}988 * 10^{9}\, 1{,}602 * 10^{-19} * 1{,}602 * 10^{-19} = 2{,}307\, 10^{-30}$$

Als we deze twee krachten met elkaar vergelijken door ze door elkaar te delen, dan blijkt dat de Coulombkracht meer dan 10^{36} keer zo sterk is dan de zwaartekracht. Wat vindt je daar eigenlijk van? Redeneer nu eens door. Een atoom in het binnenste van de aarde moet de zwaartekracht van alle atomen weerstaan, waaruit de aarde is opgebouwd. De Coulombkrachten in een enkel atoompje staan dan tegenover de zwaartekracht van al die andere atomen. Het is dan maar goed dat die Coulombkracht zo veel sterker is.

verdieping 2

1* Twee dezelfde ladingen (bijvoorbeeld twee positieve ladingen) die in dezelfde richting bewegen (bijvoorbeeld allebei de positieve richting) ontwikkelen een positieve dynamische kracht. Die is naar binnen gericht. Als bij de één van de ladingen de snelheid wordt omgekeerd, dus negatief wordt, dan krijg je ook een negatieve kracht. En die is naar binnen gericht.

2* De kracht wordt dan vier keer zo groot. Ga maar na. De kracht is evenveel afhankelijk van beide snelheden, dus van de twee snelheden, vermenigvuldigd met elkaar. En 2x2 is nu eenmaal 4. Als deze uitleg niet duidelijk is voor je kun je zelf een getalvoorbeeld maken met behulp van de formule.

3** De waarde van μ_0 is $1{,}257\ 10^{-6}$. Dat getal is zeer veel kleiner dan de waarde van k uit de formule voor de statische elektrische kracht. Dat doet vermoeden dat de grootte van de dynamische wederkerigheid bij lage snelheden van de ladingdragers erg klein is ten opzichte van de statische wederkerigheid.

4** We kunnen de kracht als volgt uitrekenen.

$$F_m = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{q_1 q_2 v_1 v_2}{r^2} = \frac{1{,}257 * 10^{-6}}{4\pi}\frac{1*1*1*1}{1^2} = 1{,}000\, 10^{-7}\, N$$

Vergelijk dat eens met de 1 Newton die de statische kracht dan tussen die twee ladingen teweeg brengt over die afstand.

Hier is nog even een vergelijking ook met de dynamische kracht die twee protonen op

samenwerkingsprofessionalswerkensamenmetvithaaanhunvak elkaar uitoefenen als ze op die afstand met die snelheid bewegen:

$$F_m = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{q_1 q_2 v_1 v_2}{r^2} = \frac{1{,}257 * 10^{-6}}{4\pi} 1{,}602 * 10^{-19} * 1{,}602 * 10^{-19} = 2{,}565\, 10^{-45}$$

5*** Als je alles goed hebt uitgerekend, op een vergelijkbare manier als bij de vorige opgave, dan zul je ontdekken dat de dynamische wederkerigheid en de statische wederkerigheid bij deze snelheden gelijk aan elkaar zijn.

Les 4: krachten

Deze les is nog in ontwikkeling.

Bijlage 1: overzicht van Natuurkundige concepten