

lesgeven is een vak



## **Leergang Natuurfilosofie**

Een grondslag voor het begrijpen van  
natuurlijke processen

versie van 11 aug 2020



## Inhoudsopgave

Inleiding.....	3
1.1 Hoe gebruik je deze leergang?.....	3
Les 1: snelheid.....	5
basisvragen.....	6
Verdieping 1: versnelling en vertraging.....	6
verdieping 2: snelheden en planetenbanen.....	7
Les 2: traagheid.....	9
basisvragen.....	9
Verdieping 1: het verband tussen kracht en traagheid.....	10
verdieping 2: impuls.....	11
Les 3: wederkerigheid.....	13
basisvragen.....	13
verdieping 1: statische wederkerigheid.....	14
verdieping 2: dynamische wederkerigheid.....	14
Les 4: krachten – nog in ontwikkeling.....	16
basis.....	16
verdieping 1.....	16
verdieping 2.....	16
Bijlage 1: overzicht van Natuurkundige concepten.....	17

## Inleiding

Welkom bij de leergang Natuurfilosofie. Deze leergang is bedoeld voor leerlingen van het tweede tot en met vierde jaar van de middelbare school, variërend van vmbo-t niveau tot en met vwo. De leergang is gebaseerd op algemene Natuurkundige inzichten, aangevuld met de Natuurkundige inzichten van Peter Schuttevaer, zoals die ook verwoord zijn in de zogenaamde "MGPT" op <http://mgpt.vitha.nl/mgpt.pdf>

Als je de werking van de Natuur goed wilt begrijpen zul je een aantal "fundamentele" begrippen goed moeten begrijpen. Bij het bouwen van een huis leg je ook eerst een "fundament". Dat is een vloer. Soms zijn het ook palen die in de grond geslagen worden. In iedere geval iets stevigs, waarop je de rest van het huis kunt bouwen. Als het fundament van het huis niet stevig genoeg is, dan stort het huis in elkaar. Om te voorkomen dat je later in verwarring raakt over wat Natuurkunde nu eigenlijk is of over hoe de natuurwetten toegepast moeten worden, is het dus goed om een stevig fundament te leggen. Daarvoor is deze leergang bedoeld.

De leergang bestaat uit de volgende lessen:  
(alleen de lessen met vette letters zijn al uitgewerkt in deze versie van de leergang)  
(lessen die met een sterretje zijn aangemerkt zijn wat langer en uitgebreider)

**les 01 - snelheid**

**les 02 - traagheid**

**les 03 - wederkerigheid**

les 04 - krachten

les 05 - evenwicht en systemen

les 06 - grootheden en eenheden

les 07 - het basisdeeltje (Bp) en de opbouw van het universum

les 08 - de vorming van deeltjes (zoals protonen en elektronen)

les 09 - de neutrale deeltjes

les 10 - de geladen deeltjes

les 11 - elektrostatistische kracht

les 12 - zwaartekracht \*

les 13 - elektrodynamische kracht

les 14 - het atoom

les 15 - kernkrachten

les 16 - absorptie en radiatie

les 17 - moleculen

les 18 - lichtverschijnselen

les 19 - deeltjes die zich als golven gedragen

les 20 - symmetrie en asymmetrie

les 21 - energie

les 22 - verval en radioactiviteit, hoe deeltjes uit elkaar ontstaan

### 1.1 Hoe gebruik je deze leergang?

Dit boek is als zelfstandige inleiding in de Natuurkunde te gebruiken of als verdieping naast de stof van de methode die je hanteert. Deze leergang is niet bedoeld als dekkend voor alle stof die

je op het examen van vmbo-t, havo of vwo krijgt. Niet alle onderwerpen uit het examen komen aan bod.

Elke les uit deze leergang bestaat uit stukken tekst, gevolgd door opgaven. Elke les kent een basis met vervolgens twee verdiepingen. De basisstof hoort bij het eerste jaar dat je Natuurkunde krijgt en de tweede verdieping hoort dan natuurlijk bij het derde jaar dat je Natuurkunde krijgt. De eerste verdieping zit daar tussen in. De vragen zijn gemerkt met sterretjes, naar moeilijkheidsgraad. Er zijn drie verschillende moeilijkheidsgraden die zo ongeveer overeenkomen met de niveauverschillen tussen vmbo-t, havo en vwo. Soms kan een vraag ook vier sterretjes hebben. Dat zijn vragen van de buitencategorie.

Je kan per les alle verdiepingen doen, maar je kan ook per les alleen die verdieping doen die bij jouw jaarlaag hoort. Zit je in vmbo-3, dan maak je alle vragen van verdieping 1 met één sterretje en kijk je welke vragen met twee sterretjes je ook nog aan kunt. Zit je in vwo-4, dan maak je alle vragen van verdieping 2 tot en met drie sterretjes en kijk je of er nog vragen met vier sterretjes zijn die je interessant vindt. Wie goed heeft opgelet weet nu dus dat elke les minstens negen vragen bevat.

Er is een apart antwoordenboekje. Je kunt dus altijd direct de antwoorden controleren.

Dit boek is altijd te downloaden via: [http://mgpt.vitha.nl/leergang\\_natuurfilosofie.pdf](http://mgpt.vitha.nl/leergang_natuurfilosofie.pdf)

Antwoorden zijn te downloaden via [http://mgpt.vitha.nl/leergang\\_natuurfilosofie\\_antwoorden.pdf](http://mgpt.vitha.nl/leergang_natuurfilosofie_antwoorden.pdf)

op deze plaatsen staan altijd de laatste versies.

## Les 1: snelheid

Er zijn drie zeer fundamentele begrippen in de natuurkunde. Dat zijn "traagheid", "wederkerigheid" en "snelheid". Deze drie begrippen zullen in de eerste drie lessen behandeld worden. In deze les behandelen we "snelheid".

Stel je ziet een pen voor je op tafel liggen. Hij ligt aan de linkerkant van de tafel, we noemen dat plek A. Je doet je ogen dicht. Als je je ogen even later weer open doet ligt de pen aan de rechterkant van je tafel. Dat noemen we plek B. Je zult dan automatisch veronderstellen dat de pen verplaatst is. Je zult om je heen kijken om te ontdekken wie dat gedaan heeft. We weten dus kennelijk van nature al dat voorwerpen zich niet zomaar uit zichzelf verplaatsen. Daar moet een oorzaak voor zijn. We zijn daar zelfs zo van overtuigd dat als we de oorzaak van de verplaatsing niet gelijk waarnemen, dat we er dan naar op zoek gaan. Als je nu je ogen maar heel kort dicht hebt gedaan, dan weet je ook dat de verplaatsing van je pen "snel" moet zijn gebeurd. Er is dan minder tijd nodig geweest voor de verplaatsing. En dan zul je misschien ook andere oorzaken gaan zoeken. Een slak zal het dan niet gedaan hebben.

In bovenstaande tekst zijn twee alledaagse begrippen gebruikt die we Natuurkundig kunnen benoemen. Het eerste alledaagse begrip is "verplaatsing". In de Natuurkunde hebben we het er over dat iets zich door de *ruimte* verplaatst. We pakken dan twee punten in die ruimte, de punten A en B uit het voorbeeld, en trekken een rechte lijn tussen die twee punten. We noemen de lengte van die rechte lijn dan de afgelegde *afstand*. En de hoeveelheid van verplaatsing meten we dan in *meters*. Dat is de éénheid die we gebruiken om te kunnen beschrijven hoe groot de verplaatsing is.

Het tweede alledaagse begrip is "even later". In de Natuurkunde hebben we het dan over tijd. We proberen begrippen als "even later" of "het duurde niet lang" veel preciezer te krijgen. Om die reden hebben we een eenheid uitgevonden die we de seconde noemen. We zeggen nu dat we tijd kunnen meten door te kijken hoeveel seconden er voorbij zijn gegaan tussen twee gebeurtenissen. Je kan dus opmeten hoeveel seconden er liggen tussen het moment dat de pen nog op plek A lag en het moment dat hij op plek B aankwam.

We gaan nu een grote stap zetten in het begrip van de Natuurkunde. We zeggen nu dat we de snelheid van de verplaatsing weten, als we de afgelegde afstand delen door de tijd die de verplaatsing in beslag nam. Dat kun je als volgt als een *formule* op schrijven.

$$\text{snelheid} = \text{afstand} / \text{verstreken tijd}$$

In de natuurkunde gebruiken we vaak symbolen in plaats van hele woorden. We kunnen daardoor de formule nog korter opschrijven:

$$v = s / t$$

Symbolen komen vaak uit het Latijn of het Engels. De v komt van *velocitas*=snelheid, de s komt van *spatium*-afstand.

Let ook even op de schuine streep. Dat is een deelteken. Mogelijk ben je daarvoor het teken : gewend. Dan is dit even wennen.

We weten nu hoe groot de snelheid is. Een snelheid heeft echter ook een richting. We hebben een lijn getrokken tussen plek A en B. Het voorwerp verplaatste zich van A naar B. We kunnen de lijn nu zien als een pijl die van A naar B wijst.

Stel nu dat de pen via een omweg van A naar B is gegaan. Dus niet via de rechte lijn. Als we dan tussen de punten A en B veel meer punten tekenen, bijvoorbeeld de punten 1 tot en met 20, dan kunnen we voor elk lijnstukje tussen twee punten steeds zowel de richting van de snelheid bepalen als de grootte van de snelheid. Daar gebruiken we dan dezelfde formule voor.

Je kunt je de snelheid van een voorwerp dus voorstellen als een pijl met een bepaalde grootte, die in een bepaalde richting wijst. De grootte van de pijl staat voor de grootte van de snelheid en de richting van de pijl staat voor de richting van de snelheid.

## basisvragen

Harry ziet een slak bij hem in de tuin. Hij pakt twee muntjes A en B. Hij legt muntje A naast de plek waar de slak zit. Harry komt 10 minuten later terug en legt muntje B naast de plek waar de slak dan zit. Vervolgens meet hij de afstand tussen de twee munten. Die afstand is 55 centimeter.

- 1\* Wat is de snelheid van de slak in meters per seconde?
- 2a\*\* Harry bekijkt het slijmspoor dat de slak heeft achtergelaten. Het blijkt dat de slak via een cirkelbeweging van muntje A naar muntje B is gegaan. Bereken opnieuw de snelheid.
- 2b\*\* wat kun je nu zeggen over de richting van de snelheid?
- 3a\*\*\* Harry besluit de meting nog een keer te doen. Hij gebruikt nu 3 muntjes (A, B en C) die hij om de vier minuten naast de slak legt. Tussen de muntjes A en B zit nu een afstand van 20 centimeter en tussen de muntjes B en C zit een afstand van 35 centimeter. Wat was nu de gemiddelde snelheid over het gehele traject dat de slak heeft afgelegd?
- 3b\*\*\* Stel nu dat de afstand tussen muntje A en C 45 centimeter is. Wat kun je dan zeggen over de weg die de slak heeft afgelegd? Je zou in dat geval twee gemiddelde snelheden uit kunnen rekenen. Welke zijn dat en aan welke geef jij de voorkeur?

## Verdieping 1: versnelling en vertraging

We noemen een snelheid die steeds dezelfde richting en grootte heeft een *eenparige beweging*. Dat is dus een speciaal soort beweging. De meeste voorwerpen in onze directe omgeving bewegen niet met een constante snelheid. Als je bijvoorbeeld op de fiets zit, dan heb je soms een hoge snelheid, bijvoorbeeld als je lekker de wind van achteren hebt en soms een lagere snelheid, bijvoorbeeld als je een heuvel op moet. Ook een voorwerp dat je op de grond laat vallen voert geen eenparige beweging uit. De snelheid neemt dan steeds toe.

Zo'n veranderende snelheid noemen we een versnelling of een vertraging, al naar gelang de snelheid toeneemt of afneemt. Als je in de auto gas geeft dan versnel je, bij remmen vertraag je. Het gaat er bij zo'n vertragen en versnellen dus niet om dat de richting van de beweging verandert. Als je met je fiets de bocht neemt verandert je snelheid van richting terwijl de grootte van de snelheid precies gelijk kan blijven. In dat geval ben je dus niet versneld of vertraagd.

[ In latere lessen zullen we zien dat je ook bij het veranderen van de richting van een snelheid over "versnelling" kunt spreken, bijvoorbeeld over een "centrifugale versnelling", maar dat laten we nu nog even buiten beeld. ]

Je kunt de versnelling bepalen door uit te rekenen hoeveel snelheid er steeds per seconde bijkomt. In formulevorm is dat:

$$\text{versnelling} = \text{snelheidsverandering} / \text{verstreken tijd.}$$

Als je dat met symbolen opschrijft krijg je:

$$a = \Delta v / \Delta t$$

Symbolen komen vaak uit het Latijn of het Engels. De  $a$  komt van acceleration = versnelling, de  $\Delta$  komt van delta en betekent "verschil".  $\Delta v$  betekent dus *snelheidsverschil*.

Zoals je al weet meten we snelheid in m/s en tijd in s (seconden). Als je dan een beetje consequent wil zijn meet je de versnelling in (m/s)/s en dat mag je ook schrijven als m/s<sup>2</sup> (spreek uit: meter per seconde in het kwadraat). Zo'n eenheid zal best even wennen zijn als je alleen meters en centimeters gewend bent.

We gaan nu weer een aantal vragen beantwoorden.

Stel je voor dat je op skeelers een helling af gaat. Als je bij de helling aankomt heb je een snelheid van 2 m/s. Onderaan de helling heb je een snelheid van 5 m/s.

- 1\* Wat moet je nu nog weten om de versnelling uit te kunnen rekenen?

- 2\* Een vriend van je heeft de tijd geklokt die je er over hebt gedaan om de helling af te gaan. Dat bleek precies 2,2 seconden te zijn. Hoe groot was je versnelling?
- 3\* Je fiets met een snelheid van 5 m/s. Doordat je er ineens zin in krijgt ga je harder trappen. Je krijgt daardoor een versnelling van 0,5 m/s die je een kwart minuut vol houdt. Hoe groot is je snelheid na die kwart minuut?

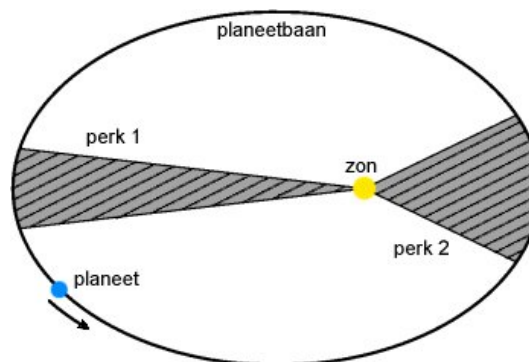
Anna en Kurt doen een hardlooptwedstrijd over honderd meter. Kurt scheidt op dat hij zelfs nog kan winnen als hij Anna een voorsprong van 3 seconden geeft. Anna vertrekt en doet er 3 seconden over om op haar topsnelheid van 9 m/s te komen. Kurt vertrekt drie seconden later en doet er ook 3 seconden over om zijn topsnelheid van 12 m/s te komen.

- 4\*\* Wat is de versnelling van beide hardlopers in hun eerste drie seconden?
- 5\*\* Hoe veel meter hebben ze tijdens die versnelling afgelegd?
- 6\*\*\* Zal het Kurt lukken om als eerste over de finish te komen?
- 7\*\*\*\* Welke maximale snelheid zou Kurt moeten hebben om precies gelijk met Anna te finishen?

## verdieping 2: snelheden en planetenbanen

Als de aarde steeds op dezelfde manier rond de zon beweegt, kun je dan nog wel van een beweging spreken? Het zelfde geldt voor de beweging van de maan rond de aarde of de ronddraaiende beweging van een gewicht dat aan een touw wordt rondgeslingerd. Er is beweging, maar tegelijkertijd verandert er niets. Als je de baan van de aarde rond de zon bekijkt, dan zie je een elliptische beweging. De zon staat dan in één van de twee brandpunten van de ellips. Omdat de ellipsvorm niet erg sterk is, kun je soms ook net doen of het om een cirkelvormige beweging gaat.

De beweging van de planeet rond de zon is voor het eerst als een ellips beschreven door Johannes Kepler. Als je een ellips tekent dan kun je vanuit de zon een lijn naar de aarde op die ellips tekenen. Als je dan **na een bepaalde vaste tijd** nog zo'n lijn tekent, kun je het gebied tussen de twee lijnen arceren zoals in onderstaande figuur. Zo'n arcering wordt een "perk" genoemd.



Kepler ontdekte dat elk perk dat je zo tekent eenzelfde oppervlak heeft. We noemen dat daarom de tweede wet van Kepler (hij had ook nog een andere wet ontdekt). Dat is best wel verwonderlijk want als je naar het door de aarde afgelegde stuk ellips kijkt, dan zie je dat die bij perk 1 veel kleiner is dan bij perk 2.

- 1\* Neem aan dat de aarde een cirkelvormige beweging rond de zon volgt. Als de aarde 150 miljoen kilometer van de zon vandaan staat, hoe veel meters legt de aarde dan per dag af?
- 2\* Pluto staat normaal gesproken verder bij de zon vandaan dan Neptunes. Toch zijn er momenten dat pluto dichterbij de zon komt te staan dan Neptunes. Met spreekt er dan over dat de banen van deze planeten "elkaar kruisen". Hoe kan het, dat sommige planeten elkaars banen kruisen?
- 3\*\* We gaan uit van een ellipsbaan. Waar is de snelheid van de planeet groter, in perk 1 of perk 2? Verklaar je antwoord.

- 4\*\* Verklaar waarom de snelheid van een planeet in een ellipsvormige baan niet steeds constant is.
- 5\*\*\* De aarde bevindt zich in een punt van de ellips die het verst van de zon vandaan is. Door toe doen van de één of andere magische kracht wordt de snelheid van de aarde plotseling gehalveerd. Beschrijf hoe de baan van de aarde vervolgens zal verlopen.



## Les 2: traagheid

Traagheid is niet te begrijpen zonder dat je snelheid begrijpt. Traagheid heeft namelijk te maken met hoe moeilijk het is om de snelheid van een voorwerp te veranderen. Daarbij kan het zowel om de richting als de grootte van die snelheid gaan.

Stel er komen twee voorwerpen met een snelheid van 20 m/s op je af. Dat is best snel. Als je het omrekent naar kilometer per uur (km/h) kom je al op 72 km/h. Het ene voorwerp is een auto met drie volwassen passagiers er in. Het andere voorwerp is een rollende skippybal. Jij kan niet beide voorwerpen tegelijk ontwijken. Je moet kiezen.

De kans is ongeveer honderd procent dat je er voor kiest om de auto te ontwijken. Maar hoe leg je in Natuurkundige termen uit waarom? In alledaags taalgebruik zou je kunnen zeggen dat je minder kneuzingen krijgt van een skippybal, of dat die bal minder hard aankomt. In de Natuurkunde is er eigenlijk maar één begrip dat verklaart waarom je voor de skippybal kiest. De skippybal heeft *minder traagheid*. Traagheid betekent dus niet dat iets een lage snelheid heeft. Je kan een enorm groot voorwerp met een kolossale traagheid hebben dat heel snel beweegt. De aarde zelf heeft een grote traagheid maar beweegt ondertussen wel met een snelheid van ongeveer 30.000 m/s rond de zon.

Als we zeggen dat de skippybal minder traagheid heeft bedoelen we dat het minder “moeite” kost om de skippybal af te remmen. En als het minder moeite kost om hem af te remmen, dan kost het ook minder moeite om hem weer op snelheid te brengen. Als je het heel algemeen wilt zeggen, dan kun je stellen dat de lage traagheid van de skippybal er voor zorgt dat men zijn snelheid makkelijk kan veranderen (zowel voor wat betreft grootte als richting).

Maar hoe komen we er dan achter hoeveel traagheid een voorwerp heeft? Hier op aarde doen we dat door een voorwerp te wegen. Door te wegen kun je de massa bepalen van een voorwerp. Daar komen we in latere lessen nog op terug. Een zak suiker kun je op een weegschaal wegen. Die weegschaal geeft dan bijvoorbeeld 1 kilogram (kg) aan. Als je dan vervolgens een zak aardappels pakt van 5 kg, dan weet je dat die zak 5 keer zo traag is als de zak suiker. En dan zou je er ook een vijf keer zo’n harde klap van krijgen als die zak met een snelheid van 20 m/s tegen je heen stuitert. Bij een zak suiker kom je er misschien nog met een blauwe plek van af, maar bij een zak van 5 kilo kan je bij die snelheid al een been breken.

Nu kan de snelheid van een voorwerp ook 0 m/s zijn. Als je dat voorwerp in beweging brengt dan speelt traagheid een zelfde rol. Eigenlijk kun je in zo’n geval ook gewoon zeggen dat je de snelheid verandert, namelijk van 0 m/s naar een andere waarde.

### basisvragen

- 1\* Als je een knikker over een keukenvloer laat rollen, dan gaat de knikker steeds langzamer rollen. Wie of wat doet er op dat moment “moeite” om de snelheid van de knikker te veranderen?
- 2\* Stel dat je een vriend hebt die twee keer zo veel weegt als jij. Je gaat om beurten van de duikplank in het zwembad. Hoe veel verder zal de springplank doorbuigen bij jouw vriend?
- 3\*\* Onderaan de slinger van een klok hangt een gewicht van 3 kg. Het gewicht wordt bij een verhuizing ernstig beschadigd. Men kan het originele gewicht niet meer bestellen. Het wordt niet meer gemaakt. Men hangt er daarom maar een gewicht van 5 kg aan. De klok wil echter niet meer lopen. Hoe komt dat denk je?
- 4\*\* De aarde beweegt met een snelheid van ongeveer 30.000 m/s rond de zon. Een komeet komt precies vanaf de andere kant en slaat met een snelheid van 100.000 m/s seconden in. Waarom wordt de snelheid die de aarde rond de zon heeft niet merkbaar beïnvloed door deze inslag?
- 5\*\*\* Een boot heeft normaal gesproken een draaicirkel van 30 meter in diameter bij een snelheid van 50 km/h. De boot heeft echter een lek en heeft flink wat water gemaakt. Er zit dus een hoop water in het onderdek. Wat gebeurt er met de draaicirkel?

## Verdieping 1: het verband tussen kracht en traagheid

In de Natuurkunde willen we alles wat er om ons heen gebeurt zo veel mogelijk in getallen beschrijven. We hebben al gezien dat we de hoeveelheid traagheid van een voorwerp kunnen beschrijven door te meten wat de massa van het voorwerp is. Je weet dan heel precies dat een radio een gewicht van bijvoorbeeld 1,237 kg heeft. Maar het interessante aan traagheid is nu juist dat het aangeeft hoe zeer een voorwerp zich “verzet” tegen pogingen om zijn snelheid te veranderen. Maar hoe weet je dan hoeveel die snelheid veranderd is? En hoe weet je hoeveel moeite je daar voor hebt gedaan?

Om deze vragen te kunnen beantwoorden hebben we het begrip “kracht” bedacht. Je gebruikt dat ook in het dagelijks leven. Een leeuw is krachtiger dan een muis. Met een breekijzer kun je meer kracht zetten dan met je duim. In de Natuurkunde gebruiken we kracht om aan te geven hoeveel “moeite” je moet doen om een voorwerp van snelheid te laten veranderen. Stel dat je een karretje met een bepaalde traagheid hebt. De wieltjes van het karretje lopen zo soepel, dat je van die wieltjes eigenlijk helemaal geen tegenwerking hebt. In zo’n situatie kan je de volgende formule gebruiken:

$$\text{kracht} = \text{traagheid} \times \text{versnelling}$$

Je kan zo’n formule op verschillende manieren lezen. Denk maar eens even mee, bijvoorbeeld door voor jezelf getalvoorbeelden te bedenken:

1. als de kracht op een voorwerp toeneemt, dan krijg je een grotere verandering van de snelheid (= versnelling)
2. als de traagheid van een voorwerp groter wordt, dan krijg je een kleinere verandering van de snelheid.
3. Als de versnelling van een voorwerp kleiner wordt, dan is dat een teken dat de kracht afneemt.

Al deze drie verbanden zijn verpakt in die ene formule, die nog korter kan als we symbolen gebruiken:

$$F = m a$$

Symbolen komen vaak uit het Latijn of het Engels. De a komt van acceleration = versnelling, de m komt van mass en de F komt van Force, hetgeen “kracht” betekent.

Hoe we massa en versnelling meten, dat is eerder al besproken. De kracht meten we in Newton (N), genoemd naar de beroemde Engelse Natuurkundige Isaac Newton. Als je een zak suiker van 1 kg op je hand houdt, dan voel je op je hand een kracht van ongeveer 10 Newton.

Merk op dat we hier de massa van een voorwerp genomen hebben als een maat voor de traagheid er van. Later zullen we zien dat er ook voorbeelden zijn waarbij traagheid en massa niet hetzelfde is.

Het is nu tijd om weer een aantal vragen te beantwoorden:

- 1\* Een raket met een massa van 10.000 kg wordt met een kracht van 150.000 N aangedreven. Hoe groot is de versnelling?
- 2\* Dezelfde raket ondervindt een tegenkracht van de luchtwrijving ter grootte van 45.000 N. Hoe groot is nu de versnelling?
- 3\* De bemanning van de raket vindt dat de versnelling niet groot genoeg is. De motor kan niet harder werken, dus de voortstuwende kracht blijft gelijk. Men wil de versnelling echter toch met twintig procent verhogen. Wat kan men doen?

- 4\*\* Een meteoriet met een massa van 100.000 kg slaat in op de aarde en oefent gedurende 2 seconden een kracht uit van 100.000.000.000 N. Wat moet je weten om de versnelling uit te rekenen die de aarde ondergaat?
- 5\*\* Bereken de versnelling van de aarde tijdens het inslaan van de meteoriet.
- 6\*\* Welke verandering van snelheid heeft de aard ondergaan? Denk je dat de baan van de aarde rond de zon er door verandert is?

Als jij op de fiets zit, dan ben jijzelf de krachtbron die de fiets voortstuwt. Op die manier kun je een voertuig versnellen, door de krachtbron aan boord van het voertuig te brengen. Een auto heeft zijn motor ook bij zich, namelijk onder de motorkap. Als je alleen de richting van een snelheid wilt veranderen, dan hoeft dat niet. Batman kan heel snel de bocht om door een kabel met een klauw er aan uit zijn auto te gooien. Die klauw blijft dan achter een gebouw haken en Batman kan dan snel de bocht om. Een zelfde effect heb je als jij rond een pilaar draait terwijl je de pilaar vast hebt. Wat je dan aan je hand voelt is een kracht. Die kracht komt tot stand door: jawel, door traagheid. Als je een voorwerp aan een touw van een bepaalde lengte vastbindt en je slingert dat gewicht rond, dan trekt het koord met een bepaalde kracht aan het voorwerp, om het in een cirkelvormige beweging te houden. Het voorwerp verzet zich **door zijn traagheid** voortdurend tegen de wijziging van de richting van zijn snelheid. En daarom is er voortdurend een kracht nodig. Die kracht kun je uitrekenen met de formule:

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

Symbolen komen vaak uit het Latijn of het Engels. De m komt van mass (massa), de F komt van Force, hetgeen “kracht” betekent, de v komt van velocity (snelheid) en de r komt van “radius” (de straal van de draaicirkel, dat is hier de lengte van het touw).

Het gaat hier om een kwadratische formule. Als de snelheid van het voorwerp verdubbelt, dan wordt de kracht op het touw vier keer zo groot.

- 7\*\*\* Beschouw de zon en de aarde als door een onzichtbaar touw met elkaar verbonden. De zon trekt zodanig aan de aarde dat de aarde in een cirkelvormige baan rond de zon blijft. Bereken hoe groot de kracht is waarmee de zon aan de aarde trekt. Verzamel zelf de benodigde gegevens hiervoor van internet.

## verdieping 2: impuls

In de vorige verdieping zagen we dat de versnelling die je wilt verkrijgen afhankelijk is van de kracht die je uitoefent. Maar ook de massa van het voorwerp dat je wilt versnellen speelt daarbij een grote rol. Omdat snelheid en massa zo sterk samenhangen heeft Isaac Newton het begrip impuls bedacht. Newton kwam op het idee dat je massa en snelheid van een voorwerp met elkaar kunt vermenigvuldigen. Je krijgt dan een waarde die alleen verandert als je de snelheid of de massa van het voorwerp verandert. Hij noemt die waarde het impuls van het voorwerp.

impuls = massa x snelheid

of in symbolen:

$p = mv$  [we meten impuls in  $kg \cdot m/s$ , weet jij waarom??]

De gedachte hierachter is dat je het impuls van een voorwerp alleen kunt veranderen door er van buiten een kracht op uit te oefenen. Andersom kun je dus ook constateren dat als het impuls van een voorwerp is verandert, dat er dan van een kracht sprake is geweest. Dit noemt men ook wel de wet van behoud van impuls.

Stel dat je een bak met honderd knikkers hebt die allemaal één gram wegen en een snelheid hebben van één m/s. Stel dat die knikkers zo soepel rollen dat ze niet worden afgeremd door de bodem of de rand van de bak. Een ideale situatie. Je zou dan alle impulsen van alle knikkers bij elkaar op kunnen tellen. Per knikker heb je een impuls van 0,001 kg keer 1 m/s is 0,001  $kg \cdot m/s$ . Dat doe je dan voor alle honderd knikkers en je hebt 0,1  $kg \cdot m/s$ . De wet van behoud van impuls houdt nu in dat de som van alle impulsen van alle knikkers altijd die waarde zal hebben. Als er in die bak vijf knikkers op elkaar botsen en ze gaan allemaal met verschillende snelheid uit

elkaar, dan is de impuls van elke knikker afzonderlijk veranderd, maar dan zal hun gezamenlijke impuls na de botsing nog steeds dezelfde zijn als ervoor.

Als je dan van boven de bak steeds een klodder sneldrogende verf op een knikker laat vallen, zodat de knikkers langzaam steeds meer massa krijgen, dan zul je zien dat de snelheid van de knikkers langzaam maar zeker afneemt. De impuls moet immers gelijk blijven!! Het handige van het begrip impuls is dus dat het dan niet uitmaakt of de massa van het voorwerp is veranderd of de snelheid. In beide gevallen is er sprake van een kracht. Je kan de kracht nu vinden door uit te rekenen hoe groot de impulsverandering in een bepaalde tijd was.

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

Lees: kracht = impulsverschil / tijdsverschil

Wie al differentiaalrekening gehad heeft, die weet dat je dit ook mag schrijven als  $F = dp/dt$

Beantwoord nu de volgende vragen:

- 1\* Een voorwerp heeft een impuls van 2 kg\*m/s. Bij een tweede meting blijkt daar nog maar de helft van over. De snelheid is echter ondertussen verdubbeld. Wat is er met de massa gebeurd?
- 2\* Een speelgoedtrein ondergaat een impulsverandering van 2 kg\*m/s bij een kracht van 0,25 Newton. Hoe lang duurde de impulsverandering?
- 3\*\* Een raketmotor werkt doordat gassen in tegenovergestelde richting van de gewenste verplaatsing worden uitgestoten. Als de gassen van een raket met een snelheid van 1 kg per 3 seconden worden uitgestoten, en als die gassen een snelheid van 8000 m/s hebben, wat is dan de kracht die de raketmotor kan ontwikkelen?
- 4\*\* Josien staat op een vlot. Het vlot beweegt met een snelheid van 0,4 meter per seconden door het water. Josien pakt een steen van 2 kg van het vlot en gooit die met een snelheid van 10 m/s weg in de richting waarin het vlot beweegt. Vervolgens blijkt het vlot nog maar 0,35 m/s beweegt. Hoeveel massa hebben Josien en het vlot?
- 5\*\*\* Een witte biljartbal stoot tegelijk tegen twee rode biljartballen. De witte bal komt stil te liggen en de rode ballen hebben dezelfde snelheid als de witte bal had. Wat concludeer je over de massa van de rode biljartballen?
- 6\*\*\* Stel dat de rode biljartballen in de vorige situatie precies dezelfde massa hebben als de witte. Stel dat de witte bal één rode bal raakt en dat beide ballen daarna dezelfde snelheid hebben. Hoe moet de witte bal dan de rode bal raken en welke snelheid hebben de ballen na het raakmoment?

## Les 3: wederkerigheid

Een groot vraagstuk uit de Natuurkunde is hoe het kan dat voorwerpen elkaar vanaf een afstand kunnen beïnvloeden. Newton bedacht weliswaar dat voorwerpen elkaar door hun massa vanaf een afstand aantrekken, maar hij vond dat ondertussen ook best een vreemd idee. Neem bijvoorbeeld de aarde en de zon. Het zijn twee bolletjes in een groot universum. Ze hebben allebei een bepaalde traagheid en dat betekent dat ze massa hebben. Het blijkt nu dat deze twee bolletjes elkaar aan trekken en dat dat afhangt van hoeveel massa ze hebben. Als de aarde niet in een vliegende vaart van zon 30 km/s om de zon heen draaide, dan zou de aarde naar de zon toe getrokken worden en in de zon verdwijnen. Laten we dus maar hopen dat er niet plotseling een ruimteschip met Aliens bij de aarde opduikt die als hobby hebben om planeten hun snelheid te ontnemen.

Het bijzondere van deze beïnvloeding is dat de zon niet alleen aan de aarde trekt, maar dat de aarde ook aan de zon trekt. Dat noemen we wederkerigheid. Iets is wederkerig als het van beide kanten komt. Als jij iemand een snoepje geeft dan is dat niet wederkerig. Als je er een muntje voor terug krijgt wel. Wederkerigheid heb je in veel vormen. Jij gaat naar school om wat te leren. De samenleving doet dus iets voor jou. Later kun jij dan iets terug doen voor de samenleving. Ook dat is wederkerigheid.

Het bijzondere van wederkerigheid in de Natuurkunde is dat door wederkerigheid alles in beweging komt. Stel dat je twee bolletjes klei van precies 1 kg in de ruimte hangt. We denken de aarde even weg. Die heeft erg veel massa en we willen even niet dat de aarde aan de blokken klei trekt. Nu is het Newton gelukt om uit te rekenen hoe veel kracht bolletje 1 op bolletje 2 uitoefent. Andersom werkt ook. Bolletje 2 oefent namelijk net zoveel kracht op bolletje 1 uit. De interactie tussen de twee massa's is immers "wederkerig"! We hebben eerder gezien dat voorwerpen in beweging komen als er een kracht op ze wordt uitgeoefend. Dat doen onze bolletjes klei ook. Ze komen dicht bij elkaar te staan. Maar doordat ze dicht bij elkaar komen te staan gaan ze elkaar ook meer beïnvloeden, ze oefenen dan een grotere kracht op elkaar uit. Daardoor komen ze nog meer in beweging. Daardoor komen ze nog dicht bij elkaar. Daardoor trekken ze nog harder aan. Enzovoort enzovoort.....

Later zullen we in deze leergang ingaan op de opbouw van deeltjes in de natuur, zoals elektronen en protonen. Van zulke deeltjes zijn atomen gebouwd. Ook zulke elektronen vertonen wederkerigheid. Als je twee elektronen bij elkaar in de buurt brengt, dan weten ze niet hoe snel ze weer bij elkaar weg moeten komen. Het zelfde geldt voor twee protonen. Maar als je een elektron en een proton bij elkaar vandaan haalt, dan weten ze niet hoe snel ze elkaar weer op moeten zoeken. Deze vorm van wederkerigheid wordt ook wel "lading" genoemd. We spreken er dan over dat we een positieve en een negatieve lading hebben. Het proton heeft een positieve lading en het elektron een negatieve. Twee gelijke ladingen stoten elkaar af en twee ongelijke ladingen trekken elkaar aan.

### basisvragen

- 1\* Een jongen en een meisje ontmoeten elkaar en vinden elkaar leuk. Kun jij het proces van verliefd worden als een wederkerigheid beschrijven?
- 2\*\* Tom heeft geen auto om naar zijn werk te gaan maar wel een hoop geld. Jan heeft geen geld om benzine voor zijn auto te kopen maar heeft wel veel tijd over. Bedenk een wederkerigheid tussen Tom en Jan.
- 3\*\*\* in de economie is sprake van vraag en aanbod. Als je de relatie tussen deze beiden als een wederkerigheid wilt beschrijven, dan moet je weten hoe vraag en aanbod elkaar beïnvloeden. Of hoe vrager en aanbieder elkaar beïnvloeden. Wellicht dat je eens aan je economie-leraar vraagt hoe dat zit? Of wellicht biedt wikipedia uitkomst! Beschrijf wat je hebt ontdekt!

## verdieping 1: statische wederkerigheid

De kracht tussen twee massa's wordt ook wel zwaartekracht ( $F_z$ ) genoemd. De sterkte van de kracht tussen twee ladingen wordt ook wel Coulombkracht ( $F_c$ ) genoemd. Net zoals de sterkte van de kracht tussen twee massa's afhankelijk is van de afstand tussen de twee massa's, zo is ook de sterkte van de kracht tussen twee ladingen afhankelijk van de afstand tussen de twee ladingen. De formules die hier bij horen vertonen dan ook zeer veel gelijkenis met elkaar:

$$\text{voor twee massa's } F_z = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad \text{en voor twee ladingen } F_c = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

De symbolen bij de linkerformule zijn al eerder gebruikt in deze leergang. Behalve de hoofdletter G. Die staat voor de Gravitatieconstante. Dat is een getal dat je nodig hebt om de uitkomsten van de rest van de formule aan te passen aan onze manier van krachten meten. Als je dat getal niet zou gebruiken, dan zou je op veel te grote krachten uitkomen. Hetzelfde geldt voor de k in de rechterformule. Je hebt deze k nodig om op de juiste krachtenschaal uit te komen.

Je kunt je zo'n constante ook als volgt voorstellen. Stel dat jij vijf boterhammen per dag eet. Je krijgt vijf gasten te logeren. Je kunt nu een formule bedenken voor het berekenen van het aantal boterhammen dat je nodig hebt:

$$\text{aantal boterhammen} = \text{aantal gasten} \times \text{aantal dagen} \times \text{mijn boterhammen per dag.}$$

Maar stel nu dat de gasten uit een streek komen waar men 3 keer zo veel brood per dag eet als jij. Je zou dat getal 3 dan als een streekconstante kunnen zien. Als we daar de letter C voor kiezen krijg de deze formule:

$$\text{aantal boterhammen} = C \times \text{aantal gasten} \times \text{aantal dagen} \times \text{mijn boterhammen per dag.}$$

Verder is de letter q in de rechterformule nog niet eerder gebruikt in deze leergang. Die staat voor de lading van een voorwerp. Zoals we de massa van een voorwerp in kg meten, zo meten we de hoeveelheid lading in Coulomb, genoemd naar de beroemde Franse wetenschapper die ook die formule voor het eerst voorstelde.

- 1\* als je de massa van twee voorwerp halveert, hoe verandert dan hun onderlinge aantrekking door de zwaartekracht?
- 2\* als je de afstand tussen twee voorwerpen verdubbelt, hoe verandert dan hun onderlinge aantrekking de zwaartekracht?
- 3\*\* zoek de waarden van G en k op in Binas of op internet. Vergelijk beide waarden met elkaar.
- 4\*\*\* een proton heeft een bepaalde massa en een bepaalde lading. Die kun je opzoeken. Vergelijk nu de onderlinge zwaartekracht en Coulombkracht tussen twee protonen met elkaar.

## verdieping 2: dynamische wederkerigheid

Er is sprake van dynamische wederkerigheid als de snelheid van de voorwerpen die elkaar wederzijds beïnvloeden ook een rol speelt. Bij de eerste verdieping zag je twee formules waarbij de kracht niet wordt beïnvloed door de snelheid van de voorwerpen. Daarom noemen we dat statische wederkerigheid. Er is echter ook een kracht in de natuur, die wel van de snelheid afhangt. Dat is de magnetische kracht. En dat is een kracht die je kent. Je voelt hem als je je koelkastdeur opent. Er zitten lange magneten in het rubber langs de uiteinden van de koelkastdeur. Daardoor blijft die deur zo goed dichtzitten!

Maar waarom is die kracht dan dynamisch? Dat komt doordat die kracht alleen ontstaat als elektronen gaan bewegen. Als ze stilstaan, dan is die magnetische kracht er niet. In de magneet van je koelkastdeur lopen vele kleine elektrische stroompjes. Dat zijn bewegende elektronen. Die zorgen voor de magnetische werking.

De dynamische kracht werkt op een ingewikkelder manier dan de statische kracht. Als je twee geladen voorwerpen hebt, dan werkt de dynamische kracht op het ene voorwerp vrijwel nooit precies in de richting van het andere voorwerp. Dat maakt rekenen aan dynamische krachten erg lastig. We zullen het daarom in deze les nog eenvoudig houden.

Zo'n eenvoudige situatie krijg je als je twee geladen voorwerpen allebei dezelfde kant op laat bewegen. Ze hebben een onderlinge afstand die we weer  $r$  noemen. Je kan dan in die situatie de kracht die de deeltjes op elkaar uitoefenen uitrekenen met deze formule:

$$F = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q_1 q_2 v_2 v_1}{r^2}$$

Zo ingewikkeld heb je de formules nog niet gehad in deze leergang. Toch valt het eigenlijk wel mee. Je zult veel overeenkomsten zien met de statische interactie tussen twee ladingen zoals die in de vorige verdieping is besproken. De constante  $k$  is nu alleen vervangen door een andere natuurconstante  $\mu_0$  die gedeeld wordt door 4 keer het getal  $\pi$ . Je kan dat hele stuk van de formule gewoon als een nieuwe constante zien die er voor zorgt dat we ook nu weer op de juiste krachterschaal uitkomen. Het grote verschil met de statische formule is nu dat naast de lading van de twee voorwerpen ook de snelheid van de voorwerpen een rol gaat spelen.

In deze eenvoudige situatie, waar beide voorwerpen dezelfde richting op bewegen, zal de kracht precies in de richting van het andere voorwerp wijssen. Of in de tegenovergestelde richting. Zoals je misschien uit de vorige verdieping nog kunt herinneren, kan een lading zowel positief als negatief zijn. Als je in bovenstaande formule een negatieve en een positieve lading invult, dan krijg je een negatieve kracht. En een negatieve kracht is naar buiten gericht. De twee voorwerpen zullen dan van elkaar weg geduwd worden. Heb je daarentegen twee gelijke ladingen, bijvoorbeeld twee negatieve ladingen, dan krijg je een positieve kracht. En die is naar binnen gericht. De ladingen zullen dan naar elkaar toe bewegen. Iets vergelijkbaars gebeurt ook als je de snelheid omkeert. Stel dat je de snelheid waarin ze bewegen als de positieve snelheid benoemt. Bij een omgekeerde snelheid krijg je dan een negatieve snelheid. Vul dat dan maar eens in de formule in en je zult zien dat de kracht ook van richting verandert.

- 1\* Redeneer naar welke kant twee geladen voorwerpen elkaar duwen als de ladingen verschillend zijn en de snelheden tegenovergesteld.
- 2\* De snelheden van beide voorwerpen worden verdubbeld. Hoe veel groter wordt de kracht?
- 3\*\* zoek de waarde van  $\mu_0$  op het internet op. Wat vind je van de grootte van dit getal?
- 4\*\* Ga er van uit dat de voorwerpen op een meter afstand van elkaar bewegen. Als de ladingen van de voorwerpen allebei 1 Coulomb zijn en de snelheden allebei 1 m/s, welke kracht krijg je dan?
- 5\*\*\* Stel dat de snelheden van de ladingen gelijk zijn aan de lichtsnelheid. Wat kun je dan zeggen over de grootte van de dynamische kracht in vergelijking met de statische kracht (uit de vorige verdieping)?

## Les 4: krachten – nog in ontwikkeling

Deze les is nog niet klaar.....

### *basis*

\*\*\*\*\*

### *verdieping 1*

\*\*\*\*\*

### *verdieping 2*

\*\*\*\*\*



## Bijlage 1: overzicht van Natuurkundige concepten

