

Ruimte! Veertien boekjes

Van het zonnestelsel tot de rand van het heelal, van de eerste raket tot leven op andere werelden. Elk boekje is een eigen avontuur met een crew, missies, vragen en proefjes. Lees ze in volgorde voor het hele verhaal, of kies het boekje dat je nu wil.

Alle boekjes

- | | |
|--------------------------------|-----------------------------|
| 1 Ons zonnestelsel | 2 De Zon |
| 3 De rots- planeten | 4 De reuzen |
| 5 Manen, kometen en asteroiden | 6 Aarde en Maan |
| 7 Sterren en sterrenbeelden | 8 Melkweg en heelal |
| 9 Zwarte gaten | 10 Ruimtevaart door de tijd |
| 11 Raketten en astronauten | 12 Telescopen en sondes |
| 13 Leven in de ruimte? | 14 Proefjes en ruimtequiz |

Over dit boekje. Alle personages zijn verzonnen. Cijfers zijn afgerond en kunnen veranderen als sterrenkundigen nieuwe metingen doen; zoek de nieuwste cijfers op bij NASA of ESA. Nooit rechtstreeks naar de Zon kijken. Vrij te kopiëren voor gebruik in de klas.

Tekst en opmaak: Brecht Corbeel · schoolium.me

RUIMTEBOEKJE

9

Zwarte gaten



Een panieklmpje, een bang broertje en een monsterboek vol echte kosmische reuzen

 **schoolium**

Brecht Corbeel · schoolium.me

Dit boekje is van _____

Jouw missie

Zwarte gaten, supernova's en andere bijzondere objecten

Om 22.41 uur deelt Lina een filmpje: een zwart gat komt de Aarde opslokken. Om 22.50 uur staat haar broertje van zes in tranen op de zoldertrap. Kiko de neusbeer geeft de crew één weekend en een leeg monsterboek om te bewijzen wat echt is en wat niet. Pak een zaklamp: jij vult de kaarten mee in.

- Jouw missie: leg aan een bang broertje uit wat een zwart gat is, wat het níet is, en hoe sterrenkundigen er in 2019 toch een foto van maakten.
- Jouw missie: leg uit waarom een zware ster als Betelgeuze ooit ontploft als supernova, en wat er daarna overblijft: een neutronenster (soms een pulsar) of een zwart gat.
- Jouw missie: vind de Orionnevel aan de winterhemel, leg Daan uit waarom daar sterren geboren worden en houd vijf soorten nevels uit elkaar.
- Jouw missie: bewijs in een paar zinnen dat een quasar en zwaartekrachtgolven geen sciencefiction zijn, en leg uit wat ze zijn.
- Jouw missie: toon met een lamp en een balletje hoe sterrenkundigen exoplaneten vinden, en leg uit wat de bewoonbare zone wel en niet betekent.
- Jouw eindbaas: vertel wat een team uit Luik rond de ster TRAPPIST-1 ontdekte, en zeg eerlijk wat we nog niet weten.



Vrijdag, 22.41 uur: elf seconden paniek



Het filmpje duurt elf seconden. Een pikzwarte bol slokt één voor één de planeten op. Er dreunt onheilspellende muziek, en in rode letters staat: 'Zwart gat op weg naar de Aarde. Deel dit voor het te laat is.' Lina zag het voorbijkomen en zette het meteen in de groepschat van de klas.

Het is midden in januari. Met z'n vieren liggen ze in slaapzakken op Lina's zolder, tussen dozen oud speelgoed en een stoffig hobbelpaard. Logeerweekend. Mats prutst aan een zaklamp die hij zelf ombouwde. Imane houdt de score van het tafeltennis bij: 3-0, voor haar.

Arno heeft zijn hond Pluis mee, een wollige bol die overal achteraan loopt. En Lina filmt alles. Haar kanaal telt 312 volgers, en dat moeten er duizend worden.

Dan kraakt de zoldertrap. In het trapgat staat Daan, Lina's broertje van zes, in zijn dinopyjama. Zijn onderlip trilt. 'Ik zag het filmpje op jouw tablet,' snikt hij. 'Worden we morgen opgeslokt?'

Lina wordt knalrood. Imane zucht diep. En tussen de slaapzakken beweegt iets met een gestreepte staart. Kiko, de neusbeer van de klas, logeert dit weekend ook bij Lina. Zodra er een volwassene in de buurt is, is hij een gewone knuffel. Maar alle volwassenen zitten beneden voor de tv. Kiko rekt zich uit.

Op de zolder, bij het licht van één zaklamp

Daan

Het staat op internet. Dus het is waar.

D

Lina

Ik heb niet gezegd dat het waar is. Ik zei dat het veel views heeft.

L

Imane

Dat is niet hetzelfde. Er staat ook een filmpje online van een koe die kan vliegen. Ook veel views.

I

Mats

Een zwart gat is toch gewoon een gat? Een gat kan niet bewegen.

M

Kiko

Fout en juist tegelijk, Mats. Het is geen gat. Maar bewegen kan het wel.

D

Daan

(verstopt zich achter Pluis) Zie je wel!

Kiko

Rustig, Daan. Wat in dat filmpje zit, klopt niet. Maar ik ga het niet gewoon zeggen. Deze vier gaan het bewijzen. Zondagavond krijg je het hele verhaal. Nu: bed.

A

Arno

Bewijzen? Kiko, het is bijna middernacht.

Kiko

Perfect. Monsters vang je in het donker.



Tip voor ouders en leerkrachten

Praat na over Lina's fout: waarom verspreiden angstfilmpjes over het heelal zich zo snel, en hoe check je ze? De websites van NASA, ESA en de Koninklijke Sterrenwacht van België zijn betrouwbare bronnen om samen na te kijken. In de winter vind je de Orionnevel met een gewone verrekijker, en volkssterrenwachten zoals Urania in Hove, MIRA in Grimbergen, Armand Pien in Gent en Beisbroek in Brugge, en het Planetarium in Brussel, organiseren publieksavonden en voorstellingen over zwarte gaten en exoplaneten. Gespreksvraag aan tafel: als we ooit sporen van leven op een exoplaneet vinden, hoe zeker moeten sterrenkundigen dan zijn voor ze het de wereld vertellen?

De antwoorden staan in het apart antwoordenboekje van dit boekje.



Jouw eindbaas: sturen we TRAPPIST-1 een bericht?

Stel: de wereld beslist om een radiob bericht naar TRAPPIST-1 te sturen. Het bericht reist met de snelheid van het licht en doet er ongeveer 40 jaar over. Een antwoord zou nog eens 40 jaar onderweg zijn. Ben jij voor of tegen? Zoek drie argumenten voor en drie tegen, en hou er een debat over in je klas of aan tafel. Reken ook uit hoe oud jij op zijn vroegst zou zijn als er een antwoord aankomt. En wat zou jij in dat bericht zetten?

Missie volbracht!

Wat neem ik mee?

- ✓ Een zwart gat is geen gat en geen stofzuiger. Het is heel veel massa op een piepkleine plek. Wat voorbij de waarnemingshorizon gaat, komt er nooit meer uit, zelfs licht niet.
- ✓ Als de Zon een zwart gat zou worden met dezelfde massa, draaide de Aarde gewoon verder. Maar dat gebeurt nooit: de Zon wordt later een witte dwerg.
- ✓ In 2019 zagen we de eerste foto van een zwart gat, M87*: een oranje ring van heet gas rond een donkere schaduw. In 2022 volgde Sagittarius A*, in het hart van onze Melkweg.
- ✓ Een zware ster sterft als supernova. Wat overblijft, is een neutronenster van ongeveer 20 km breed of, bij de zwaarste sterren, een zwart gat.
- ✓ Een pulsar is een draaiende neutronenster met bundels als een vuurtoren. Jocelyn Bell ontdekte de eerste in 1967, en ze knippert niet echt aan en uit.
- ✓ Nevels zijn kraamkamers en kerkhoven tegelijk. In de Orionnevel worden nu sterren geboren, en die kan ik in de winter zelf zien.
- ✓ Een quasar is een superzwaar zwart gat dat aan het eten is: het gas eromheen gloeit feller dan alle sterren van de Melkweg samen.
- ✓ In 2015 maten we voor het eerst zwaartekrachtgolven: rimpels in de ruimte van twee botsende zwarte gaten. Dat signaal klinkt als een tjirp.
- ✓ Exoplaneten vind je met de wiebelmethode en de transitmethode. We kennen er al meer dan 6 000. In de bewoonbare zone liggen betekent nog geen leven: kijk maar naar de Maan.
- ✓ Een team uit Luik vond zeven planeten zo groot als de Aarde rond TRAPPIST-1. Of er leven is, weet nog niemand. En regel 1: eerst checken, dan posten.

MISSIE

Dossier: het monsterboek van het heelal

Als Daan weer in bed ligt, haalt Kiko een dikke verzamelmap uit zijn rugzakje. Elke bladzijde is een lege kaart voor een 'monster' uit het heelal, met vakjes voor de naam, de grootte, het gewicht, de afstand, het gevaar voor de Aarde en het wezen waaruit het evolueerde. Jullie missie: vul elke kaart in met echte, gecontroleerde feiten. Elke volle kaart is een level-up. Zondag om 19 uur maakt Lina een nieuw filmpje, voor Daan en voor haar volgers, met alleen dingen die kloppen. En de allerlaatste kaart? Die is leeg, op één woord na: 'thuis?'

Level 1, 00.05 uur: hoe hard moet je gooien?



'Eerst de vraag van Mats,' zegt Kiko. 'Wat is een zwart gat?' Hij rolt een tennisbal naar Imane. 'Gooi die zo hoog als je kan.' De bal tikt tegen een balk en ploft terug in een slaapzak. 'De Aarde trekt hem terug,' zegt Imane. 'Zwaartekracht. Weet ik al sinds de kleuterklas.'

Hoe harder je gooit, hoe hoger de bal komt. Wie hard genoeg gooit, krijgt hem voorgoed de ruimte in. Die snelheid heet de ontsnappingssnelheid.

Voor de Aarde is dat ongeveer 11 kilometer per seconde, ongeveer 40 000 kilometer per uur. Een ruimtesonde die naar Mars vertrekt, moet minstens zo snel gaan.

'Nu een trucje,' zegt Kiko. 'Stel dat je de hele Aarde samenperst, zonder dat er iets af gaat. Ze wordt kleiner, maar ze blijft even zwaar. Aan haar oppervlak wordt de zwaartekracht dan sterker, en je moet harder gooien om weg te raken.' Hoe kleiner, hoe harder.

Pers je de Aarde samen tot ze ongeveer zo groot is als een knikker, dan zou je sneller dan het licht moeten gooien. En niets gaat sneller dan het licht, dat ongeveer 300 000 kilometer per seconde haalt. Dan ontsnapt er niets meer. Zelfs licht niet. Dan heb je een zwart gat.

Een zwart gat is dus geen gat en geen tunnel. Het is een enorme hoeveelheid massa, samengeperst op een piepkleine plek. Rondom ligt een onzichtbare grens: de waarnemingshorizon. Wat daarbinnen gaat, komt er nooit meer uit. Ook licht niet, en daarom kan je er niet in kijken.

'Een escape room zonder uitgang,' zegt Arno. Mats knikt traag. 'En als je er te dicht bij komt? Word je dan opgezogen?' Kiko schudt zijn snuit. 'Dat is mythe nummer één. Ze staat in het filmpje van Lina.'



Wist je dat... de Aarde als zwart gat in je broekzak zou passen?

Als je de hele Aarde zou samenpersen tot een zwart gat, zou het ongeveer 2 centimeter breed zijn: een knikker die even zwaar is als de hele Aarde. Gelukkig kan dat niet. Er bestaat niets dat de Aarde zo hard kan samenpersen.

1 MEERKEUZE

• ○ ○

Mats moet de eerste regel van de kaart 'zwart gat' invullen. Welke beschrijving klopt?

- ☐ A Een leeg gat in de ruimte, waar niets in zit.
- ☐ B Een tunnel naar een ander heelal.
- ☐ C Heel veel massa, samengeperst op een piepkleine plek, waar zelfs licht niet uit kan ontsnappen.
- ☐ D Een ster die zwart geworden is door stof.

2 INVULLEN

• • ○

Arno schrijft op de kaart: 'Rond een zwart gat ligt een onzichtbare grens. Wat daarbinnen gaat, komt er nooit meer uit, zelfs licht niet. Die grens heet de _____. ' Welk woord ontbreekt?

Woordenlijst

zwart gat

Plek waar massa zo samengeperst is dat niets eruit ontsnapt, zelfs licht niet.

waarnemingshorizon

Onzichtbare grens rond een zwart gat. Wat daarbinnen gaat, komt er nooit meer uit.

ontsnappingsnelheid

De snelheid die je minstens nodig hebt om voorgoed weg te raken van een planeet of ster.

spaghettificatie

Het uitrekken van iets dat te dicht bij een zwart gat komt, omdat de ene kant harder aangetrokken wordt.

neutronenster

Superzware rest van een ontplofte ster: meer massa dan de Zon in een bol van ongeveer 20 km.

pulsar

Snel draaiende neutronenster waarvan de stralingsbundels als een vuurtoren over de Aarde zwiepen.

supernova

Gigantische ontploffing van een zware ster, of van een witte dwerg die te zwaar werd.

nevel

Wolk van gas en stof in de ruimte, waar sterren ontstaan of die stervende sterren achterlaten.

quasar

Stralend hart van een ver sterrenstelsel, waar gas rond een superzwaar zwart gat gloeit.

zwaartekrachtgolf

Rimpel in de ruimte zelf, gemaakt door zware dingen die snel bewegen, zoals botsende zwarte gaten.

exoplaneet

Planeet die rond een andere ster dan de Zon draait.

transitmethode

Planeten vinden doordat een ster telkens heel even zwakker wordt als er een planeet voor schuift.

bewoonbare zone

Gebied rond een ster waar het op een planeet niet te heet en niet te koud is voor vloeibaar water.

rode dwerg

Kleine, koele, roodachtige ster. De meest voorkomende soort ster in de Melkweg.

Groepschat 'Zolderclub', maandag 7.42 uur

Imane

Eindstand van het weekend: acht kaarten vol. Eén kaart half.

I

M

Mats

Welke is half?

Imane

De laatste. Thuis. Met een vraagteken.

I

Arno

Pluis heeft de wiebelmethode uitgelegd. Ik vind dat hij een eigen kaart verdient.

A

L

Lina

1 024 views. Mijn eerlijkste filmpje ooit. En mijn best bekeken.

Daan

(via de tablet van Lina) ik ben niet meer bang. alleen nog voor spinnen.

D

M

Mats

Kiko, hoe zit jij in deze groep? Je hebt geen telefoon.



Kiko

Een neusbeer verklapt niet al zijn geheimen.

L

Lina

Nog één vraag dan. Kunnen wij ooit zelf gaan kijken, op zo'n planeet?



Kiko

Met de raketten van vandaag niet. Maar ik ken een paar uitvinders die nu in een groepschat zitten.

Level 2, 00.30 uur: mythe nummer één

Lina speelt het filmpje opnieuw af. 'Oké. Wat klopt er niet?' Kiko telt op zijn klauwtjes. 'Ten eerste: een zwart gat is geen stofzuiger. Op grote afstand trekt het niet harder dan elk ander ding met dezelfde massa. Omdat het zo klein is, kan je er alleen veel dichterbij komen. Pas daar wordt de zwaartekracht reusachtig.'



Stel: de Zon wordt morgen een zwart gat met precies dezelfde massa. Dan is ze nog maar ongeveer 6 kilometer breed. En de Aarde? Die draait gewoon verder in dezelfde baan, op dezelfde afstand. Er wordt niets opgezogen. Wel wordt het pikdonker en ijskoud, want zonlicht is er niet meer.

'Daan gaat vragen of dat kan gebeuren,' zegt Lina. 'Nooit,' zegt Kiko. 'De Zon is daar veel te licht voor. Een zwart gat ontstaat als een gigantische ster sterft, meestal een ster die bij haar geboorte meer dan twintig keer zo zwaar was als de Zon. Onze Zon wordt over miljarden jaren een witte dwerg.'

Ten tweede: het dichtstbijzijnde zwarte gat dat we kennen, heet Gaia BH1 en werd in 2022 gevonden. Het staat op ongeveer 1 560 lichtjaar. Een lichtjaar is de afstand die licht in één jaar aflegt, ongeveer 9 460 miljard kilometer. Gaia BH1 komt niet naar ons toe. En zelfs als het dat deed, zou de reis miljoenen jaren duren.

Ten derde, en dat klopt wél: wie te dicht bij een klein zwart gat komt, wordt uitgerekt. Je voeten worden harder aangetrokken dan je hoofd, omdat ze dichterbij zijn. Je wordt lang en dun als een sliert spaghetti. Sterrenkundigen noemen dat echt spaghettiëficatie. Bij een reusachtig zwart gat gebeurt het pas als je al voorbij de waarnemingshorizon bent.

Imane schrijft in het monsterboek: 'Gevaar voor de Aarde: nul.' 'Maar Kiko,' zegt Lina zacht, 'als er geen licht uitkomt, hoe weet iemand dan dat ze bestaan?' Kiko gaapt. 'Morgen bij het ontbijt. Dan toon ik je een foto van iets wat je niet kan zien.'

3 WAAR OF ONWAAR

Daan zal het zeker vragen: 'Als de Zon een zwart gat wordt met precies dezelfde massa, wordt de Aarde dan opgezogen?' Lina twijfelt en zegt ja. Waar of onwaar?

☐ waar

☐ onwaar

Kaart 1: zwart gat

ongeveer 2 cm

breedte van de Aarde, als je ze zou samenpersen tot een zwart gat

ongeveer 6 km

breedte van een zwart gat met de massa van de Zon

ongeveer 1 560 lichtjaar

afstand tot Gaia BH1, het dichtstbijzijnde bekende zwarte gat

ongeveer 4 miljoen zonnen

massa van Sagittarius A*, in het hart van de Melkweg

ongeveer 6,5 miljard zonnen

massa van M87*, het eerste zwarte gat op een foto

Jouw rechtzettingsfilmpje

SCHRIJVEN

30 minuten

Dit heb je nodig

- je logboek en een pen
- dit boekje, om feiten na te kijken
- eventueel een telefoon of tablet om te filmen, met toestemming van een volwassene

- 1 Kies een fabeltje over het heelal dat je ooit hoorde of las. Of neem er een uit dit boekje: het zwarte gat als stofzuiger, Betelgeuze die deze week ontploft, of leven dat zeker bestaat in de bewoonbare zone.
- 2 Schrijf in één zin wat er niet klopt. Schrijf daarna in drie zinnen wat wel klopt, met minstens één getal uit dit boekje.
- 3 Bedenk drie titels die nieuwsgierig maken zonder te liegen. Kies de beste.
- 4 Schrijf een script van ongeveer één minuut. Begin met een vraag, toon een bewijs (een proefje, een tekening of een echte telescoopfoto) en eindig met iets wat we nog niet weten.
- 5 Lees je script voor aan iemand thuis. Begreep die alles? Pas aan wat onduidelijk was.
- 6 Wil je filmen? Vraag eerst toestemming aan een volwassene, en film niemand die dat niet wil.

Waarom krijgt een panieklmpje vaak meer kliks dan een eerlijk filmpje, en wat kan jij doen om dat te veranderen?

Zondag, 19.00 uur: opname loopt

Om zeven uur zet Lina haar telefoon op een stapel boeken. Daan zit vooraan in kleermakerszit, met Pluis op zijn schoot. 'Opname loopt,' zegt Mats. Lina haalt diep adem. 'Vrijdag deed ik een filmpje over een zwart gat dat naar de Aarde kwam. Het was nep, en ik had het niet gecheckt. Sorry. Hier is wat wél klopt.'



Ze vertelt over de Aarde als knikker, over de oranje ring van 2019 en over de tikkende vuurtoren van Jocelyn Bell. Imane houdt de kaarten van het monsterboek één voor één omhoog. Arno toont zijn tekening van TRAPPIST-1 e, met bovenaan in grote letters: illustratie. Op het einde roept Daan, ongevraagd: 'En de Zon wordt nooit een zwart gat!'

Lina eindigt met wat niemand weet: of er leven is op TRAPPIST-1 e. 'Dat zoeken sterrenkundigen nu uit. Ik volg het voor jullie.' Ze drukt op stop. De volgende ochtend: 1 024 views en 341 volgers. Maar het liefst leest ze één reactie, van een meisje uit een andere klas: 'Mijn broertje was ook bang. Nu niet meer.'

4 REKENEN

Imane zet zwarte gaten op een ranglijst, zoals voetballers. Een zwart gat met de massa van de Zon is ongeveer 6 km breed. Is een zwart gat twee keer zo zwaar, dan is het ook twee keer zo breed. Gaia BH1 is ongeveer 10 keer zo zwaar als de Zon. Hoe breed is het ongeveer? Zou het binnen België passen, dat van De Panne tot Aarlen ongeveer 280 km meet?

Antwoord: _____

Level 3, zaterdag 9.00 uur: een foto van iets onzichtbaars

Bij het ontbijt ligt Kiko roerloos tussen de choco en de cornflakes, want Lina's mama zit mee aan tafel. Pas als zij naar de bakker vertrekt, tikt hij met zijn klauwtje op de tablet. Op het scherm: een wazige oranje ring rond een donker midden. 'De eerste foto van een zwart gat ooit,' zegt hij. 'Getoond op 10 april 2019.'

Dat zwarte gat heet M87*. Het zit in het midden van het reuzensterrenstelsel M87, op ongeveer 55 miljoen lichtjaar, en weegt ongeveer 6,5 miljard keer zoveel als de Zon. Zijn waarnemingshorizon is zo groot dat ons hele zonnestelsel, tot voorbij Neptunus, erin zou passen.

'Je zei dat er geen licht uitkomt,' zegt Imane. Klopt. Wat je ziet, is gas dat rond het zwarte gat kolkt, zoals water rond een putje. Het wordt miljarden graden heet en zendt daardoor straling uit. Het donkere midden is de schaduw van het zwarte gat: daar verdwijnt het licht naar binnen, in plaats van naar ons te komen.

En waarom een ring? Zwaartekracht buigt licht af. Vlak bij een zwart gat wordt het licht zo sterk gebogen dat het in een ring rond de schaduw lijkt te liggen. Albert Einstein rekende al meer dan honderd jaar geleden uit dat zwaartekracht licht afbuigt. Deze foto toonde dat zijn rekenwerk zelfs daar klopt.

Eén telescoop kon zo'n foto niet maken. Het zwarte gat staat zo ver dat het aan de hemel piepklein lijkt, en hoe breder een telescoop, hoe scherper hij kleine dingen ziet. Daarom werkten acht radiotelescopen op zes plekken over de wereld samen, als één telescoop zo groot als de Aarde: de Event Horizon Telescope.

In 2022 maakte hetzelfde team een foto van Sagittarius A* (spreek uit: Sagittarius A-ster), het zwarte gat in het hart van onze eigen Melkweg. Daar zie je nog op een andere manier dat er iets zit. Sterren scheuren er in strakke banen omheen. Eén ervan, S2, draait in ongeveer 16 jaar een rondje.

Alleen iets onzichtbaars van ongeveer 4 miljoen zonnen kan S2 zo vasthouden. Voor dat speurwerk kregen Reinhard Genzel en Andrea Ghez in 2020 de Nobelprijs. Imane schrijft: 'Kaart twee: superzwaar zwart gat.' Mats is al opgestaan. 'Ik wil zelf zien hoe massa de ruimte buigt. Lina, heeft je mama een emmer?'



Wist je dat... het internet te traag was voor de foto?

De telescopen verzamelden zoveel gegevens dat versturen via het internet veel te lang zou duren. Daarom gingen de harde schijven met het vliegtuig naar twee rekencentra. Samen wogen ze ongeveer een halve ton.

23 VERBINDEN



Eindcontrole van het monsterboek. Verbind elk monster met de tekst op zijn kaart.

1 zwart gat



2 neutronenster



3 pulsar



4 supernova



5 quasar



6 exoplaneet



A ronddraaiende neutronenster waarvan de stralingsbundel als een vuurtoren over de Aarde zwiept

B ontploffing van een zware ster, of van een witte dwerg die te zwaar werd

C massa zo samengeperst dat zelfs licht niet kan ontsnappen

D planeet die rond een andere ster dan de Zon draait

E E. stralend hart van een ver sterrenstelsel, rond een superzwaar zwart gat dat gas opslokt

F F. rest van een ingestorte sterkern: zwaarder dan de Zon en ongeveer 20 km breed

Mijn antwoord: _____

24 OPEN VRAAG



Eindbaas-vraag. Daan wil een eerlijk antwoord: 'Woont er iemand op TRAPPIST-1 e?' Schrijf wat je hem zegt. Gebruik wat we weten, wat we nog niet weten en hoe sterrenkundigen het willen uitzoeken.

.....

.....

.....

Een dag in de schemerstrook van TRAPPIST-1 e

TEKENEN

40 minuten

Dit heb je nodig

- een groot vel tekenpapier
- kleurpotloden of stiften, met veel rood, oranje en paars
- de tabel van TRAPPIST-1 uit dit boekje
- je logboek

- 1 Verdeel je blad in drie stroken: links de kant waar het altijd dag is, in het midden de schemerstrook, rechts de kant waar het altijd nacht is.
- 2 Teken de ster. Vanaf planeet e lijkt TRAPPIST-1 ongeveer vier keer zo breed als de Zon bij ons. Op de dagkant staat ze altijd op dezelfde plek aan de hemel: ze komt nooit op en gaat nooit onder. In de schemerstrook staat ze laag op de horizon.
- 3 Kies je kleuren. Het licht van de ster is zwak en oranje-rood. Hoe zien rotsen, water of planten er in dat licht uit?
- 4 Teken aan de hemel één of twee buurplaneten. Soms lijken ze groter dan onze Maan.
- 5 Ontwerp een wezen of een onderzoeksbasis voor de schemerstrook. Hoe gaat jouw ontwerp om met het eeuwige schemerlicht, met wind van de warme naar de koude kant en met de felle uitbarstingen van de ster?
- 6 Schrijf naast je tekening drie echte feiten uit dit boekje waarop je ontwerp steunt, en één ding dat je zelf verzoon. Zet bovenaan: illustratie.

Welk deel van je tekening is wetenschap en welk deel is fantasie? Waarom is het belangrijk dat je dat verschil duidelijk zegt, zeker als je je tekening online zou zetten?

5 MEERKEUZE

...

Lina wil het in haar nieuwe filmpje goed uitleggen. Er komt geen licht uit een zwart gat. Wat staat er dan op de foto van 2019?

- ☐ A Licht van binnenin het zwarte gat, dat er toch een beetje uit lekte.
- ☐ B Heet gas dat rond het zwarte gat kolkt en straling uitzendt, met in het midden de schaduw van het zwarte gat.
- ☐ C Een tekening, want van een zwart gat kan je nooit een beeld maken.
- ☐ D Een gewone ster die toevallig voor het zwarte gat stond.

6 OPEN VRAAG

...

Mats vraagt: 'Waarom gebruikten ze niet gewoon één supergoede telescoop, in plaats van telescopen verspreid over de hele wereld?' Leg het hem uit.

E1 OEFEN VERDER · MEERKEUZE

...

Kiko vraagt wat er bijzonder is aan een zwart gat. Welke uitleg klopt?

- ☐ A Het heeft geen zwaartekracht
- ☐ B Het is een gewone donkere planeet
- ☐ C Binnen de gebeurtenishorizon kan zelfs licht niet ontsnappen

Een zwaartekrachtkuil in een emmer

PROEFJE

25 minuten

Dit heb je nodig

- een grote emmer of een ronde wasmand
- een oude legging, panty of ander stuk rekbare stof
- een paar stevige elastieken of een touw
- een plastic zakje met ongeveer 500 gram rijst
- vijf knikkers
- een meetlat



Veiligheid

Ruim alle knikkers op: kleine kinderen en huisdieren kunnen ze inslikken.
Leg geen glas of harde voorwerpen op de stof die kunnen wegschieten.

- 1 Span de rekbare stof strak over de emmer, zo strak als een trommel, en zet ze vast met de elastieken of het touw.
- 2 Rol een knikker over de stof. Hij rolt in een rechte lijn: zonder zware massa is je 'ruimte' vlak.
- 3 Leg het zakje rijst losjes en plat in het midden. Dat is je ster. Meet hoe diep de stof in het midden zakt, en ook hoe diep ze zakt op 10 cm van het midden.
- 4 Rol knikkers langs de ster en kijk hoe ze afbuigen. Lukt het om er een paar rondjes te laten draaien voor hij naar het midden rolt?
- 5 Knijp nu het zakje strak dicht tot een kleine, harde bal. Het is dezelfde rijst, dus dezelfde massa: je ster is ineengestort. Meet opnieuw in het midden en op 10 cm.
- 6 Rol de knikkers op dezelfde afstand als eerst. Rol er daarna één heel dicht langs het midden. Wat verschilt er, en wat blijft hetzelfde?

In het midden werd de kuil dieper, maar verder weg veranderde er weinig: zag jij dat ook? En waarin is je model helemaal anders dan een echt zwart gat? Denk aan wat de knikkers in jouw emmer naar beneden trekt.

22 REKENEN

...

Daan wil meteen vertrekken naar TRAPPIST-1. Licht doet er ongeveer 40 jaar over. De ruimtesonde Voyager 1, een van de snelste sondes ooit, gaat ongeveer 17 km per seconde. Licht gaat ongeveer 300 000 km per seconde. Hoeveel keer trager dan het licht is Voyager 1 ongeveer? En hoe lang zou ze ongeveer over de reis doen, als ze die kant op zou vliegen?

Antwoord: _____

De zeven werelden van TRAPPIST-1 (afgerond; grootte = breedte vergeleken met de Aarde)

Planeet	Eén jaar duurt	Grootte (Aarde = 1)	In de bewoonbare zone?
b	1,5 dagen	1,1	nee, te heet
c	2,4 dagen	1,1	nee, te heet
d	4,0 dagen	0,8	aan de hete rand: twijfelgeval
e	6,1 dagen	0,9	ja
f	9,2 dagen	1,0	ja
g	12,4 dagen	1,1	ja
h	18,8 dagen	0,8	nee, eerder te koud



Wist je dat... Luik ook naar speculoosplaneten zoekt?

Hetzelfde team in Luik leidt SPECULOOS, een reeks robottelescopen die kleine, koele sterren afspeuren. De naam is een Engelse afkorting én een knipoog naar het Belgische koekje. In 2024 vonden ze SPECULOOS-3b: een planeet zo groot als de Aarde, op ongeveer 55 lichtjaar, met een jaar van maar 17 uur.

21

MEERKEUZE

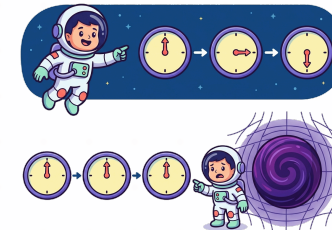


Imane snapt het niet: 'Planeet e draait veel dicht bij haar ster dan Mercurius bij de Zon. Hoe kan ze dan in de bewoonbare zone liggen?' Welk antwoord klopt?

- ☐ A Omdat TRAPPIST-1 veel heter is dan de Zon.
- ☐ B Omdat TRAPPIST-1 klein en koel is en weinig warmte geeft, zodat het gebied dat precies goed is heel dicht bij de ster ligt.
- ☐ C Omdat planeet e helemaal van ijs is, en ijs smelt nooit.
- ☐ D Omdat de bewoonbare zone bij elke ster even ver ligt als bij de Zon.

Level 4, zaterdag 14.20 uur: tik, tik, tik

Mats heeft op de zolder de oude radio van Lina's opa gevonden en draait al een uur aan de knoppen. Ruis. Een voetbalwedstrijd. Weer ruis. 'Wil je horen hoe een dode ster klinkt?' vraagt Kiko. Op de tablet speelt hij een opname af: radiogolven uit de ruimte, omgezet in geluid. Tik. Tik. Zo regelmatig als een klok.



'Een metronoom,' zegt Arno, die pianoles volgt. 'Aliens,' fluistert Lina, met haar camera al in de aanslag. Kiko grinnikt. 'Dat dacht iemand in 1967 ook. Heel even.'

In 1967 werkte Jocelyn Bell, een studente uit Noord-Ierland, met een nieuwe radiotelescoop bij Cambridge in Engeland. Die schreef zijn metingen met een pen op papierrollen, elke dag ongeveer 30 meter. Bell las alles na. Op een dag zag ze een vreemd krabbeltje: een signaal dat ongeveer elke 1,3 seconde terugkwam, altijd precies even regelmatig.

Niets op Aarde kon dat verklaren. Voor de grap noemde het team het signaal LGM-1, van 'Little Green Men': kleine groene mannetjes. Maar een paar weken later vond Bell een tweede tikker, op een heel andere plek aan de hemel. 'Twee groepjes aliens die tegelijk met zo'n soort ritme seinen?' zegt Kiko. 'Niet erg waarschijnlijk.'

Het was een neutronenster. Die blijft over als een zware ster ontploft en haar kern ineenstort. Alles wordt zo hard samengeperst dat zelfs de atomen geplet worden. Wat overblijft, weegt meestal ongeveer anderhalve keer zoveel als de Zon, in een bol van ongeveer 20 kilometer breed. Een ster zo groot als een stad.

Een neutronenster draait razendsnel rond en is een supersterke magneet. Uit haar magnetische polen spuiten twee bundels straling. Omdat die polen een beetje scheef staan, zwiepen de bundels rond als het licht van een vuurtoren. Zwiept een bundel over de Aarde, dan vangen wij een flits op. Zo'n neutronenster heet een pulsar.

Een pulsar knippert dus niet aan en uit. Ze straalt voortdurend, maar wij zien haar bundel alleen als die langs ons zwaait. Sommige pulsars tikken zo regelmatig dat ze met de beste klokken op Aarde kunnen wedijveren. De snelste die we kennen, draait ongeveer 716 keer per seconde rond: sneller dan het mes van een keukenmixer.

En Jocelyn Bell? Voor de ontdekking kreeg haar begeleider in 1974 een Nobelprijs. Zij niet. Veel mensen vinden dat nog altijd oneerlijk. Imane kijkt op van het monsterboek. 'Kaart drie: neutronenster. Evolveerde uit een ontplofte ster. Hoe ziet zo'n ontploffing eruit?' Kiko kijkt naar buiten, waar het al schemert. 'Mensen zagen er ooit eentje overdag.'



Wist je dat... een suikerklontje neutronenster een berg weegt?

Een stukje neutronenster zo groot als een suikerklontje zou op Aarde ongeveer een miljard ton wegen. Dat is ongeveer zoveel als een hele berg.

7

WAAR OF ONWAAR



Lina zegt voor de camera: 'Een pulsar is een ster die aan en uit gaat, zoals een kerstlichtje.' Waar of onwaar?



waar



onwaar



Wist je dat... Jocelyn Bell haar prijzengeld weggaf?

In 2018 won Jocelyn Bell Burnell alsnog een grote wetenschapsprijs van 3 miljoen dollar. Ze gaf het hele bedrag weg, om studenten te helpen die minder kans krijgen om natuurkundige te worden.

Eindbaas, zondag 15.00 uur: zeven werelden uit Luik



In 2016 en 2017 deed een team onder leiding van de Belgische sterrenkundige Michaël Gillon, van de Universiteit van Luik, een ontdekking die de wereld rondging. Met TRAPPIST, een kleine robottelescoop in Chili, keken ze naar een piepkleine, koele rode dwerg. Telkens weer werd die ster een fractie zwakker. Transits. Planeten.

Met extra metingen, onder meer van een ruimtetelescoop van NASA, telden ze er in februari 2017 zeven. Alle zeven zijn ongeveer zo

groot als de Aarde en waarschijnlijk van rots. De ster heet sindsdien TRAPPIST-1, naar de telescoop. Die naam is een Engelse afkorting, maar ook een knipoog naar de Belgische trappistenabdijen.

TRAPPIST-1 staat op ongeveer 40 lichtjaar, in het sterrenbeeld Waterman. Met het blote oog zie je haar niet. Ze is maar iets groter dan Jupiter en met ongeveer 2 300 °C veel koeler dan de Zon. Haar licht is zwak en oranje-rood, en ze geeft vooral infrarood: warmtestraling die je ogen niet zien.

Omdat de ster zo zwak is, draaien de planeten er heel dicht omheen. Alle zeven banen passen ruim binnen de baan van Mercurius. Een jaar duurt er anderhalve tot negentien dagen. Minstens drie planeten, e, f en g, draaien in de bewoonbare zone. Wie daar staat, ziet de buurplaneten soms groter dan onze Maan aan de hemel.

Zo dicht bij hun ster keren de planeten haar waarschijnlijk altijd dezelfde kant toe, zoals de Maan altijd dezelfde kant naar de Aarde keert. Dan is het aan de ene kant altijd dag, en aan de andere kant altijd nacht. Daartussen ligt een strook met eeuwige schemer. Misschien is het daar precies goed.

Is er leven? Dat weet niemand. Net als Proxima barst ook TRAPPIST-1 af en toe fel uit, en dat is slecht nieuws voor een dampkring. De James Webb-ruimtetelescoop onderzoekt of de planeten een dampkring hebben. Voor de twee binnenste, b en c, lijkt het er niet op: geen dikke dampkring. Voor planeet e is het antwoord nog onduidelijk, en er komen meer metingen. 'Dus deze eindbaas is nog door niemand verslagen,' zegt Imane. 'Nog niet,' zegt Kiko.

Maar let op: in de bewoonbare zone liggen, betekent niet dat er water of leven is. Kijk naar de Maan. Ze draait samen met de Aarde rond de Zon, dus ook midden in de bewoonbare zone. Toch ligt er nergens vloeibaar water op, want ze heeft geen dampkring om het vast te houden. Ook grootte, dampkring en geschiedenis tellen mee.

Bij een kleine, koele ster, een rode dwerg, ligt de bewoonbare zone heel dicht bij de ster. De dichtstbijzijnde ster na de Zon, Proxima Centauri, is zo'n rode dwerg, op ongeveer 4,2 lichtjaar. Rond haar draait een planeet in de bewoonbare zone: Proxima b. Alleen spuwt Proxima vaak felle uitbarstingen uit, en dat is slecht nieuws voor een dampkring.

Imane tekent op de laatste kaart drie vakjes: zo groot als de Aarde, in de bewoonbare zone, niet te ver. 'Bestaat dat?' Kiko grijnst van oor tot oor. 'Zeven planeten zo groot als de Aarde, rond één ster. Een paar ervan in de bewoonbare zone. En een team onder leiding van een Belg vond ze.'

19 WAAR OF ONWAAR

• • •

Lina twijfelt over een nieuwe titel: 'Planeet gevonden in de bewoonbare zone: daar woont zeker leven!' Waar of onwaar?

☐ waar

☐ onwaar

20 OPEN VRAAG

• • •

Daan vraagt waarom de Maan droog is, terwijl ze even ver van de Zon staat als de Aarde. Leg het hem uit in twee of drie zinnen, zodat een kind van zes het snapt.

Level 5, zaterdag 18.00 uur: de gastster van 1054



Kiko vertelt over de zomer van 1054. Chinese sterrenkundigen, die de hemel nauwkeurig bijhielden, zagen toen plots een nieuwe ster in het sterrenbeeld dat wij de Stier noemen. Ze noemden haar een gastster. Ruim drie weken lang was ze zelfs overdag te zien. 's Nachts bleef ze bijna twee jaar zichtbaar. Daarna verdween ze.

Het was een supernova: de ontploffing van een zware ster. 'Elke ster is een gigantische bal gas,' zegt Kiko, en hij tikt op de ballon die Daan net opblies. 'Haar zwaartekracht duwt alles naar binnen, zoals het rubber van een ballon. De hitte van de kernfusie in haar binnenste duwt naar buiten, zoals de lucht erin. Zolang die twee elkaar in evenwicht houden, leeft de ster. Wat er gebeurt als dat evenwicht breekt, speel ik na met wat er op zolder ligt.'

Zo sterft een zware ster

- 1 Kiko spreidt een grijze deken uit over de slaapzakken: een nevel, een wolk van gas en stof. 'Hier word ik geboren,' zegt hij. 'Ik ben een ster en bij mijn geboorte minstens ongeveer acht keer zo zwaar als de Zon.'
- 2 Mats legt een tennisbal midden op de deken: de kern van de ster. 'Miljoenen jaren lang smelt ik in mijn kern waterstof samen tot helium,' zegt Kiko. 'Dat geeft licht en warmte.'
- 3 Arno blaast zijn opblaasbare reiskussen op en legt het als een dikke ring rond de bal. 'Is de waterstof in mijn kern op, dan smelt ik steeds zwaardere stoffen samen, zoals koolstof, zuurstof en silicium. Ik zwel op tot een rode superreus.'
- 4 Imane vindt tussen het oude speelgoed een ijzeren sleutel en legt hem op de bal. 'Uiteindelijk ligt er ijzer in mijn kern. IJzer samensmelten levert geen energie meer op, dus de duw naar buiten valt weg.'
- 5 Lina haalt de tennisbal weg en legt een knikker in het midden. 'In minder dan een seconde stort mijn kern ineen tot een superharde bol van ongeveer 20 kilometer,' zegt Kiko.
- 6 Daan stopt zijn vingers in zijn oren, en Mats klappt de ballon kapot: KNAL. 'De buitenlagen vallen erop en worden met een gigantische schokgolf de ruimte in geblazen: de supernova,' zegt Kiko. 'Een paar weken lang schijn ik zo fel als honderden miljoenen zonnen samen.'
- 7 Op de deken blijven een knikker en een paar ballonflarden liggen. 'Van mij blijft een neutronenster over, of bij de zwaarste sterren een zwart gat,' zegt Kiko. 'De weggeblazen resten vormen een nieuwe nevel.'

Level 10, zondag 13.00 uur: niet te heet, niet te koud



Terug op de zolder haalt Daan drie plastic kommetjes uit zijn speelkeuken en zet ze op een rij: zijn vraag is hij niet vergeten. 'Waar je wil wonen?' herhaalt Kiko. 'Dat is de vraag van elke planetenjager. En ze beginnen altijd bij water.' Al het leven dat we kennen, heeft vloeibaar water nodig. En water is alleen vloeibaar als het niet te heet en niet te koud is.

Rond elke ster ligt een ring waar het op een planeet precies goed kan zijn voor vloeibaar water aan de oppervlakte: de bewoonbare zone. Kiko zet Mats' zaklamp in het midden als ster en schuift de kommetjes heen en weer. 'Te dichtbij: te heet. Te ver weg: te koud. Hier ergens: precies goed.' Sommigen noemen het de Goudlokjezone, naar het sprookje waarin de pap niet te heet en niet te koud mocht zijn. Dichter bij de ster kookt het water weg. Verder weg bevriest het.

In ons zonnestelsel draait de Aarde in de bewoonbare zone. Venus staat dicht bij de Zon en is met ruim 460 °C een oven, ook door haar dikke dampkring. Mars staat aan de koude kant en heeft maar een dunne dampkring. Water vind je er vooral nog als ijs.

Een planeet vangen met een lamp (vervolg)

METEN

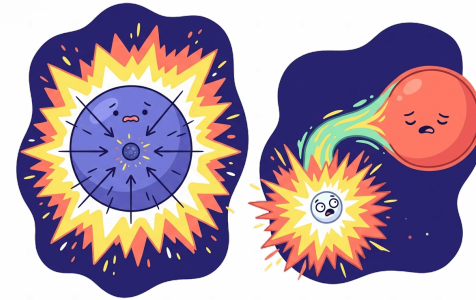
- 4 Laat de helper één balletje telkens even snel in een rondje rond de lamp bewegen. Meet met de stopwatch de tijd tussen twee dips. Wat vertelt die tijd over de planeet?
- 5 Moeilijk level: laat de helper in het geheim een balletje kiezen. Kan jij alleen aan de cijfers (of aan de schaduw) zien welk het was?
- 6 Tweede route, ook als je geen lichtmeter hebt: zet een vel wit papier achter de balletjes en kijk naar hun schaduw. Dan zie je welke planeet het meeste licht tegenhoudt, maar niet hoeveel.

Waarom vinden telescopen met deze methode het makkelijkst grote planeten die dicht bij hun ster draaien, en het moeilijkst kleine planeten ver weg?

.....

.....

Twee soorten knallen en een dode ster in de Stier



'Ontploft elke ster op die manier?' vraagt Mats. 'Nee,' zegt Kiko. 'Er bestaat ook een tweede soort supernova. Soms draait een witte dwerg, de hete rest van een gewone ster zoals de Zon, rond een buurster. Hij steelt gas van die buur, tot hij te zwaar wordt en in één keer helemaal ontploft. Van de witte dwerg blijft dan niets over, alleen een wolk van rondvliegende resten.'

Lina tekent pijlen in het monsterboek. 'Het is een evolutie!' roept ze. 'Zware ster, rode superreus, supernova, en dan neutronenster of zwart gat. Zoals in een spel waarin je wezens laat evolueren.' 'Alleen kan je hier niet terug,' zegt Arno. 'Eén richting. Voor altijd.'

En de gastster van 1054? Op die plek zie je vandaag de Krabnevel, een wolk van uitdijende resten op ongeveer 6 500 lichtjaar. In het midden zit een pulsar die ongeveer 30 keer per seconde ronddraait. 'Kaart vier,' zegt Imane tevreden. 'Met een glimmend randje.'

In onze Melkweg gebeurt er ongeveer één tot drie keer per eeuw een supernova, en de meeste gaan schuil achter stof. De laatste die mensen zeker met het blote oog in de Melkweg zagen, was in 1604. Sterrenkundigen wachten dus al ruim vierhonderd jaar op de volgende. 'En Betelgeuze?' vraagt Lina. Ze heeft al een titel in haar hoofd.

Beroemde supernova's (afgerond)

Wanneer gezien?	Waar?	Hoe ver?	Wat blijft er over?
1054	in de Stier, in de Melkweg	ongeveer 6 500 lichtjaar	de Krabnevel, met een pulsar in het midden
1604	in de Slangendrager, in de Melkweg	ongeveer 16 000 tot 20 000 lichtjaar	alleen een wolk van resten: hier ontplofte een witte dwerg
1987	in de Grote Magelhaense Wolk, een klein buurstelsel	ongeveer 168 000 lichtjaar	een ring van gloeiend gas, en waarschijnlijk een neutronenster
nog niet	Betelgeuze, de oranje schouder van Orion	ongeveer 550 tot 700 lichtjaar	nog niets: ze ontploft ooit, waarschijnlijk ergens in de komende 100 000 jaar



Jij beslist: welke titel kiest Lina?

Lina wil een filmpje maken over Betelgeuze. Titel A: 'Betelgeuze ontploft deze week! De hemel staat in brand!' Titel B: 'Betelgeuze ontploft ooit. Misschien morgen, misschien over 100 000 jaar. Zo zou het eruitzien.' Titel A krijgt vast meer kliks. Titel B klopt. Wat zou jij posten? Kies eerst, en lees dan wat Lina deed.



Echte foto of tekening?

Veel beelden van zwarte gaten en exoplaneten die je online ziet, zijn tekeningen van kunstenaars. Ze zijn gemaakt op basis van metingen, maar het zijn geen foto's. Een echte foto van een exoplaneet is meestal maar een klein lichtstipje. Kijk dus altijd naar het onderschrift: staat er 'artistieke impressie' of 'illustratie', dan is het een tekening. Ook de afbeeldingen in dit boekje zijn illustraties. Dat had Lina's panieklimpje er ook bij moeten zeggen.

Een planeet vangen met een lamp

METEN

30 minuten

Dit heb je nodig

- een lamp zonder kap of een felle zaklamp: je ster
- een pingpongbal, een knikker en een kraal, elk met wat plakgom op een satéstokje met afgeknipte of afgeplakte punt (de pingpongbal en de kraal kunnen ook aan een draadje hangen)
- een lichtmeter: die van de school, of een smartphone of tablet met een lichtmeter-app (vraag hulp aan een volwassene, want niet elk toestel heeft een bruikbare lichtsensor)
- een kamer die je donker kan maken
- een stopwatch of klok
- je logboek



Veiligheid

Een lamp kan heet worden: raak het peertje niet aan en houd papier en stof uit de buurt. Kijk nooit lang recht in een felle lamp. Satéstokjes zijn scherp: knip of plak de punt af (of hang de balletjes aan een draadje) en houd de stokjes uit de buurt van gezichten, zeker in het donker.

- 1 Maak de kamer donker en zet de lamp op tafel. Leg het toestel op ongeveer een meter afstand, met de voorkant naar de lamp gericht. Noteer het getal van de lichtmeter: zo fel is je ster zonder planeet.
- 2 Laat een helper de pingpongbal langzaam tussen de lamp en het toestel door bewegen, dicht bij de lamp en op gelijke hoogte. Lees af hoe ver het getal zakt. Dat is je transit.
- 3 Herhaal met de knikker en daarna met de kraal. Welke planeet maakt de diepste dip in het licht? Een kraal is misschien zo klein dat je geen dip meer meet. Dat is geen mislukking: kleine planeten zijn ook voor echte telescopen het moeilijkst te vangen.

De tweede manier is de transitmethode. Schuift een planeet voor haar ster langs, dan wordt de ster heel even een klein beetje zwakker. Telkens weer, op een vast ritme: één keer per jaar van die planeet. Voor een verre waarnemer zou Jupiter de Zon ongeveer 1 procent zwakker maken, de Aarde nog geen tienduizendste.

De ruimtetelescoop Kepler keek van 2009 tot 2018 naar ongeveer 150 000 sterren tegelijk en vond meer dan 2 600 planeten. Zijn opvolger TESS speurt sinds 2018 bijna de hele hemel af. Soms lukt het ook een planeet echt te fotograferen, door het felle sterlicht af te dekken. Dat lukt vooral bij grote, jonge planeten ver van hun ster.

Uit al die metingen blijkt dat de meeste sterren planeten hebben. 'Dus er zijn in de Melkweg meer planeten dan sterren?' vraagt Imane. 'Waarschijnlijk wel,' zegt Kiko. 'Maar op de meeste zou je niet willen wonen. Te heet, te koud, of helemaal van gas.' Daan trekt aan Lina's mouw. 'Waar wil ik dan wel wonen?'

17 MEERKEUZE



Mats bekijkt metingen van een verre ster. Elke 12 dagen wordt ze een paar uur lang een heel klein beetje minder fel, telkens even veel. Wat is de beste verklaring?

- ☐ A De ster gaat elke 12 dagen een beetje uit.
- ☐ B Een planeet schuift elke 12 dagen voor de ster langs, dus een jaar duurt op die planeet 12 dagen.
- ☐ C Er drijft elke 12 dagen een wolk boven de telescoop.
- ☐ D De ster krimpt elke 12 dagen en groeit dan weer.

18 REKENEN



Stel: een ster geeft 10 000 lichtpuntjes. Een planeet zo groot als Jupiter houdt er ongeveer 1 procent van tegen. Hoeveel lichtpuntjes blijven er over tijdens de transit? En een planeet zo groot als de Aarde houdt nog geen tienduizendste tegen. Hoeveel puntjes is dat ten hoogste?

Antwoord: _____

Zaterdag, 20.15 uur: 47 reacties



Lina koos A. Ze postte het filmpje om half acht, met dramatische muziek en een tekening van een brandende hemel. Om kwart over acht stonden er 47 reacties onder. Niet de reacties die ze wilde. 'Klopt niet, niemand weet wanneer.' 'Clickbait.' 'Ik dacht dat jij dingen checkte.'

Haar volgers zakken van 312 naar 298. Lina legt haar telefoon met het scherm naar

beneden en kruipt diep in haar slaapzak. Kiko kruipt tegen haar aan. 'Wat klopte er wel?' vraagt hij zacht.

Ze denkt na. 'Betelgeuze is een rode superreus, ongeveer 550 tot 700 lichtjaar ver. Ze gaat ooit ontploffen, waarschijnlijk ergens in de komende 100 000 jaar. Dan wordt ze misschien even fel als de halve maan, zelfs overdag te zien.' 'En gevaarlijk?' 'Nee. Een supernova is pas gevaarlijk op een paar tientallen lichtjaar, en zo dichtbij staat er geen.'

'Dus je wist het eigenlijk,' zegt Kiko. Lina knikt in het donker. 'Ik wou gewoon views.' Ze haalt het filmpje offline. Dan schrijft ze voorin het monsterboek, in grote letters: 'Regel 1. Eerst checken, dan posten.' Imane steekt haar duim op. 'Gaan we nog naar buiten? Het is helder.'



Wist je dat... Betelgeuze in 2020 de hele wereld liet schrikken?

Eind 2019 werd Betelgeuze plots veel zwakker. Op internet ging het gerucht dat ze ging ontploffen. Het bleek een wolk stof te zijn die de ster zelf had uitgestoten en die een deel van haar licht tegenhield.

8 IN VOLGORDE

Lina's evolutiepijlen zijn uitgeveegd. Zet het leven van een heel zware ster in de juiste volgorde, van begin tot einde.

supernova

zwart gat

nevel van gas en stof

rode superreus

zware ster die waterstof samensmelt

Jouw volgorde:

9 MEERKEUZE

Kiko test Arno: 'Een witte dwerg steelt gas van zijn buurster, wordt te zwaar en ontploft. Wat blijft er van de witte dwerg over?'

- ☐ A Een neutronenster.
- ☐ B Een zwart gat.
- ☐ C Niets: hij wordt helemaal weggeblazen.
- ☐ D Een nieuwe rode superreus.

10 REKENEN

Imane rekent graag in voetbalmatches. De pulsar in de Krabnevel draait ongeveer 30 keer per seconde rond. Een match duurt 90 minuten. Hoeveel keer draait de pulsar rond tijdens één match?

Antwoord: _____

Level 9, zondag 10.30 uur: een hond aan de leiband



Om half elf wandelen ze met Pluis aan de leiband door het bos. Daan huppelt voorop. 'Een andere Aarde?' fluistert Kiko vanuit Lina's rugzak. 'Dan moeten we eerst planeten bij andere sterren vinden.' Zo'n planeet, die rond een andere ster dan de Zon draait, heet een exoplaneet. Lang wist niemand of ze bestonden. De eerste vonden sterrenkundigen in 1992, en wel rond een pulsar, zo'n vuurtoren uit level 4. De zwaartekracht van de planeten bracht het tikken van de pulsar een heel klein beetje uit de maat. Zo verraadden ze zich.

In 1995 vonden de Zwitsers Michel Mayor en Didier Queloz de eerste exoplaneet rond een gewone ster zoals de Zon: 51 Pegasi b. Een reuzenplaneet, ongeveer half zo zwaar als Jupiter, die in ruim vier dagen rond haar ster raast. Zo'n hete reus had niemand verwacht. In 2019 kregen ze er de Nobelprijs voor.

Vandaag kennen we er meer dan 6 000. Maar hoe zie je iets wat miljarden keren zwakker is dan zijn ster? Arno snapt het tijdens de wandeling. Pluis rent aan de leiband rondjes rond hem, en Arno wiebelt telkens mee. Een planeet en haar ster trekken ook aan elkaar. Daardoor wiebelt de ster een beetje heen en weer.

Dat heet de wiebelmethode. Het wiebelen zelf zie je niet, maar het licht van de ster verschuift telkens een tikje: naar blauw als ze naar ons toe komt, naar rood als ze weg beweegt. Jupiter laat de Zon zo met ongeveer 45 kilometer per uur wiebelen, de Aarde maar met ongeveer 9 centimeter per seconde: trager dan jij wandelt.



Wist je dat... het goud in een ring uit een sterrenbotsing kan komen?

Toen in 2017 twee neutronensterren botsten, toonde het licht van de botsing dat er een grote hoeveelheid zware stoffen ontstond. Sterrenkundigen denken dat een flink deel van het goud en het platina in het heelal zo gemaakt wordt.

15 INVULLEN

Imane noteert de highscore van het weekend: 'Zwaartekrachtgolven werden voor het eerst gemeten in het jaar _____, door LIGO.' Welk jaartal ontbreekt?

16 WAAR OF ONWAAR

Mats zegt: 'Als er een zwaartekrachtgolf door mijn kamer gaat, word ik heel even een tikje langer en smaller, en daarna korter en breder. Maar ik merk er niets van.' Waar of onwaar?

☐ **waar**

☐ **onwaar**

E2 OEFEN VERDER · INVULLEN

Noor benoemt een enorme sterexplosie: een _____.

E3 OEFEN VERDER · OPEN VRAAG

Yara noemt een neutronenster "klein, dus licht". Wat is er mis met die redenering?

.....
.....

11 OPEN VRAAG

Lina wil haar fout goedmaken. Schrijf drie dingen over Betelgeuze die ze in een eerlijk filmpje wél mag zeggen, en één ding dat ze nooit meer mag beweren.

.....
.....
.....

Level 6, zaterdag 21.30 uur: kraamkamers en kerkhoven

Om half tien is de lucht kraakhelder. Met een dikke jas over hun pyjama staan de vier in de tuin, Pluis snuffelend tussen hun benen. Lina's papa heeft de buitenlamp uitgedaan, zijn verrekijker uitgeleend en is weer naar binnen gegaan. Kiko zit in Arno's kraag. 'Zuiden,' fluistert hij. 'Drie sterren op een rij.'



'De gordel van Orion,' zegt Imane. 'Kijk eronder,' zegt Kiko. 'Een kortere rij zwakke sterretjes, het zwaard. In het midden zit een vlekje dat niet scherp wil worden.' Mats richt de verrekijker. Het vlekje wordt een zacht, grijsgroen wolkje. 'De Orionnevel,' zegt Kiko. 'Daarin worden op dit moment sterren geboren.'

Een nevel is een wolk van gas en stof in de ruimte, vaak vele lichtjaren groot. De Orionnevel staat op ongeveer 1 300 tot 1 400 lichtjaar. Het is een emissienevel: hete, jonge sterren laten het gas eromheen gloeien. Op foto's is die gloed vaak roze of rood, de kleur van gloeiend waterstofgas.

Er zijn nog andere soorten, en Kiko laat de crew ze nadoen. 'Lina, doe Mats' zaklamp aan. Arno, adem uit.' Arno blaast een wolkje in de lichtstraal, en het wolkje licht op. 'Een reflectienevel,' zegt Kiko. 'Stof kaatst het licht van sterren in de buurt terug. Zulke nevels zien er meestal blauwachtig uit.' Dan houdt Mats zijn zwarte muts voor de lamp: de lichtvlek is weg. 'En dit is een donkere nevel: een dikke stofwolk die het licht van de sterren erachter tegenhoudt, zoals de Paardenkopnevel in Orion, een zwart paardenhoofd tegen een rode gloed.'

Nevels zijn niet alleen kraamkamers, maar ook kerkhoven. Een ster als de Zon blaast op het einde van haar leven haar buitenlagen weg. Die vormen een gloeiende schil: een planetaire nevel. Met planeten heeft die niets te maken. In de kleine telescopen van vroeger leken ze op ronde schijfjes, net planeten, en de naam bleef plakken.

Ook de resten van een supernova, zoals de Krabnevel, zijn nevels. Ze zitten vol stoffen die in de ster gemaakt werden, zoals koolstof, zuurstof en ijzer. Die stoffen mengen zich met andere wolken, en daaruit ontstaan later nieuwe sterren en planeten. Het heelal recycleert. Ook de stoffen waaruit jij bestaat, zaten ooit in zo'n wolk.

'Waarom is het in de verrekijker grijs, en op foto's knalroze?' vraagt Lina. 'In het donker zien je ogen bijna geen kleuren,' zegt Kiko. 'Een telescoop verzamelt urenlang licht, ook licht dat jij niet kan zien, zoals infrarood. Sterrenkundigen geven elk soort licht een kleur, zodat je de gassen uit elkaar houdt. Geen bedrog: een vertaling.'

Arno noteert: 'Kaart vijf: nevel.' Mats richt de verrekijker op Betelgeuze, de oranje schouder van Orion. 'Kiko. Welk monster is het felste van allemaal?' Kiko kijkt omhoog, voorbij Orion, voorbij alles wat je kan zien. 'Een zwart gat dat aan het eten is.'



Wist je dat... licht vier jaar nodig heeft om een stofzuil te beklimmen?

In de Arendnevel, op ongeveer 6 500 lichtjaar, staan de beroemde Zuilen van de Schepping: torens van gas en stof. De hoogste is ongeveer 4 lichtjaar hoog, dus licht doet er vier jaar over om van onder naar boven te gaan. Binnenin worden sterren geboren.

Level 8, zondag 8.30 uur: een tjirp uit het donker

De tuin is wit van de rijp. Pluis staat op de trampoline en Mats springt aan de andere kant. Bij elke sprong deint de hond mee. 'Zie je dat?' zegt Kiko. 'Mats beweegt, en de golven lopen door het doek tot bij Pluis. Zware dingen die snel bewegen, doen dat ook met de ruimte zelf.'



Albert Einstein voorspelde in 1916 dat zware, snel bewegende dingen rimpels maken in de ruimte, die met de snelheid van het licht wegdeinen. Die rimpels heten zwaartekrachtgolven. Einstein dacht dat ze veel te zwak waren om ooit te meten. Bijna honderd jaar later lukte het toch.

Op 14 september 2015 ving LIGO, twee meetstations in de Verenigde Staten, zo'n golf op. Elk station heeft twee buizen van 4 kilometer lang, haaks op elkaar, met laserlicht erin. De voorbijkomende golf rekte de ene buis een heel klein beetje uit en drukte de andere samen. Het verschil was kleiner dan de kern van één atoom.

De golf kwam van twee zwarte gaten, ongeveer 29 en 36 keer zo zwaar als de Zon, die om elkaar heen tolden en samensmolten. Dat gebeurde zo ver weg dat de golf ongeveer 1,3 miljard jaar onderweg was. Zet je het signaal om in geluid, dan hoor je een kort, stijgend tjirpje. Dat bedoelde Kiko met horen.

In 2017 kreeg het team de Nobelprijs. Intussen zijn er al meer dan honderd zulke botsingen gemeten. In 2017 botsten zelfs twee neutronensterren, en die botsing zagen telescopen ook als een lichtflits. 'Kaart zeven,' zegt Imane. 'Botsende zwarte gaten. Gevaar: nul. Coolheid: tien.'

Europa wil een nog gevoeliger detector bouwen, diep onder de grond: de Einstein Telescope. De grensstreek van België, Nederland en Duitsland, bij Luik, Maastricht en Aken, is een van de kandidaten. De keuze wordt over een paar jaar gemaakt.

Bij het ontbijt zit Daan met grote ogen naar de verhalen van de crew te luisteren. Dan zegt hij iets wat iedereen stil maakt. 'Als er overal monsters zijn... is er dan ook ergens een andere Aarde? Waar wij naartoe kunnen?' Imane slaat het monsterboek open op de laatste kaart. Het woord staat er nog altijd: thuis?

De meeste quasars staan heel ver. Je ziet ze zoals ze miljarden jaren geleden waren, toen het jonge heelal nog veel gas had om op te eten. In 2024 maten sterrenkundigen een quasar waarvan het zwarte gat elke dag ongeveer de massa van één zon opslokt. 'Gevaar voor de Aarde?' vraagt Imane. 'Nul,' zegt Kiko. 'Veel te ver.'

Arno slaapt al half. Net voor de zaklamp uitgaat, fluistert Kiko nog iets. 'Morgen laat ik jullie twee zwarte gaten horen die botsen.' Mats schiet recht. 'Horen? In de ruimte is er toch geen geluid?' Maar Kiko is alweer een knuffel.



14 INVULLEN

Mats vult kaart zes in: 'Een _____ is het stralende hart van een ver sterrenstelsel. Gas kolkt er rond een superzwaar zwart gat en gloeit feller dan alle sterren van het stelsel samen.' Welk woord ontbreekt?



Wist je dat... een zwart gat een toon zingt die niemand kan horen?

In de lege ruimte is er geen geluid. Maar rond het zwarte gat in de Perseuscluster, een grote groep sterrenstelsels, hangt dun, heet gas, en daarin lopen drukgolven, net als geluidsgolven. Hun toon ligt ongeveer 57 octaven lager dan de middelste do van een piano: veel te laag voor elk mensenoar.

12 VERBINDEN

Arno maakt een bladzijde 'nevels' in het monsterboek. Verbind elk soort nevel met wat het is.

1 emissienevel

2 donkere nevel

3 reflectienevel

4 planetaire nevel

5 supernovarest

A stof dat het licht van sterren in de buurt terugkaatst, meestal blauwachtig

B gloeiende schil die een stervende ster zoals de Zon wegblijst

C gas dat gloeit door hete jonge sterren, zoals de Orionnevel

D resten van een ontplofte zware ster, zoals de Krabnevel

E E. dikke stofwolk die het licht erachter tegenhoudt, zoals de Paardenkopnevel

Mijn antwoord: _____

13 OPEN VRAAG

Arno schrijft op de kaart 'nevel': kraamkamer én kerkhof. Leg uit waarom allebei klopt, en wat het kerkhof met de kraamkamer te maken heeft.

Op jacht naar de kraamkamer van Orion

BUITEN

30 minuten op een heldere avond tussen half december en eind februari

Dit heb je nodig

- warme kleren
- een zaklamp met rood cellofaan erover
- een verrekijker, als je er een hebt
- je logboek en een potlood
- een volwassene die meegaat



Veiligheid

Ga 's avonds nooit alleen op pad en blijf weg van wegen en water. Richt een verrekijker nooit naar de Zon, ook niet als ze laag staat: dat kan je ogen in een flits blijvend beschadigen.

- 1 Kies een heldere avond tussen half december en eind februari, liefst zonder felle maan. Zoek samen met een volwassene een plek met zo weinig mogelijk lampen, en laat je ogen minstens een kwartier wennen aan het donker.
- 2 Kijk rond 21 uur naar het zuiden of zuidoosten. Half december staat Orion op dat uur nog laag in het oosten tot zuidoosten, eind februari al in het zuiden tot zuidwesten. Zoek drie heldere sterren dicht bij elkaar op een rij: de gordel van Orion.
- 3 Zoek de vier hoeksterren rond de gordel. Linksboven staat de oranje Betelgeuze, rechtsonder de blauwwitte Rigel. Welke van de twee is de rode superreus die ooit kan ontploffen?

Op jacht naar de kraamkamer van Orion (vervolg)

BUITEN

- 4 Kijk onder de gordel. Daar hangt een kortere, zwakkere rij sterretjes: het zwaard van Orion. In het midden zit een vlekje dat niet scherp wil worden. Dat is de Orionnevel.
- 5 Bekijk het vlekje met een verrekijker, als je er een hebt. Teken in je logboek wat je ziet: de vorm, de kleur, en hoe groot het is vergeleken met de sterren ernaast.
- 6 Tel ten slotte alle sterren die je ziet binnen de vier hoeksterren van Orion. Hoe meer je er ziet, hoe donkerder jouw hemel.

Het licht van de Orionnevel dat vanavond in je oog valt, vertrok ongeveer 1 300 tot 1 400 jaar geleden. Wat gebeurde er toen in onze streken? Zoek het op in de bib of samen met een volwassene.

.....

.....

Level 7, zaterdag 22.30 uur: het felste monster

In hun slaapzakken, met de zaklamp op het monsterboek, vertelt Kiko verder. In het midden van bijna elk groot sterrenstelsel zit een superzwaar zwart gat, van miljoenen tot miljarden zonnen. Meestal is het rustig, zoals Sagittarius A* in onze Melkweg. Maar soms stroomt er heel veel gas naartoe.

Dat gas draait in een platte schijf rond het zwarte gat en wordt onvoorstelbaar heet. Het gloeit zo fel dat het honderd keer of meer zoveel licht geeft als alle sterren van de Melkweg samen. Zo'n stralend hart van een sterrenstelsel heet een quasar. 'Licht uit een zwart gat?' zegt Mats. 'Dat zei je vanochtend toch niet?' 'Klopt,' zegt Kiko. 'Het komt niet uit het zwarte gat zelf, maar uit het gas dat erin valt.'

In 1963 ontdekte de Nederlandse sterrenkundige Maarten Schmidt dat een 'sterretje' met de naam 3C 273 ongeveer 2,4 miljard lichtjaar ver staat. Om op die afstand nog zichtbaar te zijn, moest het ongelooflijk fel zijn. Zulke dingen lijken op een ster, maar zijn er geen. Daarom heten ze quasars: 'bijna-sterren'.