

MUZIEK VAN ZWARTE GATEN



Een lesplan van het Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit
In samenwerking met Béatrice Bonga

Radboud Universiteit



wetenschapsknooppunt
Radboud Universiteit



Beste leerkracht,

Voor je ligt de lesbeschrijving van de les 'de muziek van zwarte gaten', waarbij leerlingen van groep 7 en 8 op een interactieve manier kennis maken met onderzoek naar zwarte gaten. De les bestaat uit een korte uitleg video (~10 min) en drie activiteiten. In totaal duurt dit ongeveer 1-1,5 uur.

In de video die bij deze les hoort legt onderzoeker Béatrice aan een publiek van kinderen uit wat zwarte gaten zijn en hoe zij die onderzoekt. Dit is een opname van één van de kinderlezingen die gegeven is tijdens de uitreiking van de Radboud Science Awards 2024.

Bij de les hoort ook een begeleidende PowerPoint die je kunt gebruiken. Deze is te downloaden op www.wkru.nl/zwartegaten en leidt je door de opdrachten heen. Op deze website vind je ook een link naar de introductie video. In deze lerarenhandleiding staan instructies om de les aan de hand van de begeleidende PowerPoint zelf te geven. De presentatie icoontjes met nummers vertellen je telkens welke slide van de PowerPoint bij dat stukje tekst hoort.

Tip: Voor activiteit 3 is wat voorbereiding nodig, het is handig dit van te voren te doen!

Doelen

- Leerlingen leren wat zwarte gaten zijn en hoe er onderzoek naar wordt gedaan;
- Leerlingen krijgen inzicht in hoe wetenschappers onderzoek doen naar iets dat niet zichtbaar is;
- Leerlingen leren conclusies te trekken op basis van observaties;
- Leerlingen ontdekken hoe onderzoekers een beeld van het heelal krijgen op basis van beperkte informatie.

Deze les is ontwikkeld door onderzoeker Béatrice Bonga in samenwerking met Jan van Baren-Nawrocka en Lianne Leenheer van het WKRU (Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit) en met hulp van Masterstudent Anna van Asselt. De les was in eerste instantie bedoeld als eenmalige gastles, gegeven door Béatrice zelf. Naar aanleiding van het enthousiasme van zowel leerlingen als leerkrachten hebben we besloten hier ook een korte lesomschrijving voor te maken, zodat de les ook door leraren kan worden gegeven.

Introductie: De muziek van zwarte gaten



Begin de les door te vertellen dat de leerlingen vandaag iets gaan leren over hoe wetenschappers onderzoek doen naar zwarte gaten. Je kunt ze, om het onderwerp te introduceren, vragen wat ze allemaal al weten over zwarte gaten. Zo kan er bijvoorbeeld op het bord een snelle *mindmap* worden gemaakt.



Ter introductie van het thema laat je daarna de begeleidende video van deze les zien. Leid deze eerst in: in de video zullen de leerlingen straks een kinderlezing te zien krijgen van onderzoeker Béatrice Bonga. Zij mocht deze lezing geven aan een publiek van groep 7 en 8 leerlingen uit drie Nijmeegse basisscholen omdat ze in 2024 samen met twee andere toponderzoekers de Radboud Science Award heeft gewonnen. De Radboud Science Awards zijn prijzen die jaarlijks wordt uitgereikt voor het beste onderzoek dat wordt gedaan aan de Radboud Universiteit in Nijmegen. Béatrice ontving deze prijs voor haar onderzoek naar zwarte gaten, waarover ze vertelt in de lezing. De lezing duurt ongeveer 10 minuten.

Activiteit 1: Fotografeer het *niet*

Een zwart gat kun je niet direct zien of fotograferen. Hoe zetten wetenschappers dit dan toch op de foto?

Werkvorm: Groepjes van 3

Benodigheden (per groepje): Een camera (kan ook een mobieltje of tablet zijn)

Duur: 30 minuten



Introductie

Vertel de leerlingen dat je een zwart gat niet direct kan zien of fotograferen, omdat een zwart gat een object is dat alles, ook het licht, naar binnen zuigt en niet meer laat gaan. Een foto van een zwart gat is daarom een foto van het licht in de buurt van het zwarte gat. Door te observeren hoe dat licht rondom zwarte gaten zich gedraagt leren onderzoekers meer over zwarte gaten zelf. De leerlingen gaan dit tijdens deze opdracht actief ervaren door voorwerpen te fotograferen, zonder het voorwerp zelf in beeld te brengen.



Activiteit

Geef leerlingen de opdracht om in groepjes van drie voorwerpen te fotograferen, zonder dat het voorwerp direct zelf in beeld komt. Ze fotograferen dus eigenlijk de *effecten* van dat voorwerp. Groepjes mogen zelf een voorwerp kiezen om (niet) te fotograferen op minstens twee verschillende manieren. Hoe origineler de manier om het in beeld te brengen hoe beter!

Laat leerlingen in eerste instantie zelf met de opdracht aan de slag gaan, geef dus nog geen voorbeelden. Als ze er niet uitkomen dan kun je ze op weg helpen door suggesties te doen: denk aan een waterstraal (voorwerp: kraan), de schaduw van een appel (voorwerp: appel), een gat van een punaise (voorwerp: punaise), een afdruk van een voorwerp in het zand, een voorwerp met een doek eroverheen etc.

Afronding

Ieder groepje mag één foto aanleveren. De foto's worden op het digibord getoond en de andere leerlingen in de klas proberen er in overleg achter te komen wat het is. In klassen waar geen digibord is kunnen de foto's geprint worden.

Het is *geen* raadspelletje: laat leerlingen als tussenstap ook proberen om (vermoedelijke) kenmerken van het voorwerp te benoemen. Waar zie je dat aan (kleur, vorm, etc.)? Denkt iedereen aan een zelfde voorwerp of verschillen ze van mening, en waarom dan? Zo gaat het ook vaak in de wetenschap: het is vaak niet makkelijk om helemaal zeker te weten wat iets is, maar door te overleggen en zo veel mogelijk informatie mee te nemen krijg je een completer beeld.

Link met het thema

Vertel de leerlingen dat onderzoekers, tijdens hun onderzoek naar zwarte gaten, gebruik moeten maken van indirecte observaties, want een zwart gat kan je niet direct zien. Naast de drie voorbeelden genoemd in de kinderlezing door Béatrice Bonga (kijken naar de paden van sterren, accretieschijven, of zoals Béatrice zelf doet: zwaartekrachtsgolven bestuderen), is er *nóg* een manier waarop wetenschappers onderzoek kunnen doen naar zwarte gaten door middel van indirecte observaties. Namelijk: door zwarte gaten te bestuderen met 'zwaartekrachtlenzen'.



Hoe werken zwaartekrachtlenzen? Licht gaat normaal gesproken in een rechte lijn van een ster naast ons toe. Als er een zwart gat tussen de ster en ons in zit, dan wordt het licht als het ware opgegeten door het zwarte gat. Er zijn ook lichtstralen die ons normaal gesproken niet zouden bereiken, maar die door de zwaartekracht van het zwarte gat worden omgebogen en ons daardoor toch bereiken (zie de afbeelding 1, blz. 5, slide 5).

Het gevolg? Je ziet de ster achter het zwarte gat dan als een ring in plaats van als een punt in je telescoop. Zo'n ring noemen we een Einstein ring. Aan de hand van de grootte en de vorm van een Einsteinring kan je dan weer dingen leren over het zwarte gat, bijvoorbeeld hoe groot het zwarte gat is. Zo kan je dus indirect het zwarte gat onderzoeken, door naar de *effecten* van het zwarte gat te kijken. Op de zelfde manier hebben de leerlingen indirect naar objecten gekeken, door de *effecten* van die voorwerpen vast te leggen (schaduw, weerspiegeling, etc.)



Afbeelding 1, bron: ESA/HUBBLE & NASA

Activiteit 2: Ontbrekende informatie

Leerlingen ervaren bij deze activiteit hoe het is om gaten in informatie aan te vullen met behulp van gegevens die wel al bekend zijn, net zoals onderzoekers dat soms moeten doen.

Werkvorm: Individueel

Duur: 20 minuten

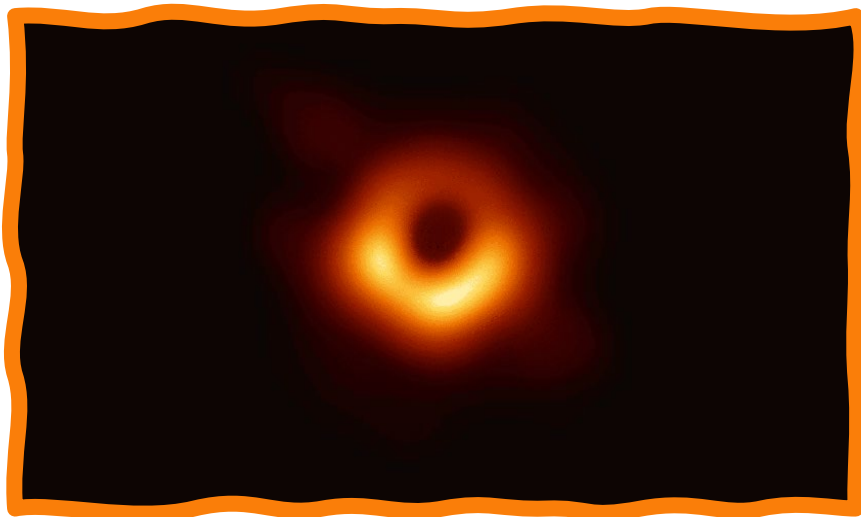
Benodigheden per leerling:

- Een van de drie werkbladen (bij voorkeur in kleur geprint). Deze werkbladen zijn te downloaden op www.wkru.nl/zwartegaten
- Potloden & stiften



Introductie

Vertel de leerlingen dat de informatie die onderzoekers kunnen gebruiken soms beperkt is. Op basis van deze beperkte informatie probeer je als onderzoeker toch een zo goed mogelijk beeld te krijgen van het object dat je wilt bestuderen door de informatie zo goed mogelijk aan te vullen vanuit de kennis die je al hebt. Bij de beroemde foto van het zwarte gat bijvoorbeeld (zie afbeelding 2, blz. 6, slide 6), is een deel van de foto zulke aangevulde informatie. Het is dan ook heel belangrijk voor wetenschappers om zich er bewust van te zijn hoe groot de kans is dat het klopt wat ze hebben berekend.



Afbeelding 2, bron: Event Horizon Telescope



Activiteit

Geef de leerlingen ieder een werkblad. Verdeel ze zo over de leerlingen dat de leerlingen naast hen of aan dezelfde tafel zoveel mogelijk een ander werkblad hebben. Vraag de leerlingen om het vage deel van de afbeelding aan te vullen. Eerst de grove lijnen en als er tijd voor is kunnen ze ook wat meer details invullen. Ze kunnen gebruik maken van de informatie die er is: de vage contouren, de rest van het plaatje, eventueel eigen fantasie. Maar vraag ze te proberen om wel echt te tekenen hoe ze denken dat het eruit zou kunnen zien.

Afronding

Groeppeer de tekeningen, zodat tekeningen met dezelfde afbeeldingen bij elkaar liggen. Misschien weten de leerlingen wel welke ruimteschepen ze zojuist hebben getekend: Hubble, International Space Station (ISS), en James Webb Space Telescope. Ga in gesprek met de leerlingen: zit er verschil in de manier waarop de vage delen zijn aangevuld door de leerlingen? Als er verschil tussen zit en je dus niet precies de echte tekening kan ontdekken, is het dan toch zinvol om het te proberen?



In de begeleidende PowerPoint kun je op slide 8, 9 en 10 de volledige afbeeldingen laten zien, om te kijken of en hoe de tekeningen van de leerlingen overeenkomen met de werkelijkheid.

*Wij kregen in de klas na het laten zien van de volledige afbeeldingen van de ruimteschepen vaak opmerkingen zoals “oh, ik had het per ongeluk op de kop getekend!”. Maar vraag je eens af: is er wel iets als boven of onder in de ruimte?
Kan je een ruimteschip ‘verkeerd om’ tekenen?*



Link met het thema

Neem het voorbeeld van afbeelding 3 (blz. 8, slide 11). Wat zien de leerlingen? Het is hoogst waarschijnlijk een foto van een grote stad aan het water, dat kun je zien aan de contouren van hoge flatgebouwen en de reflectie in het water. Maar welke stad? Doordat de foto wazig is kan je niet alles zien. Je kan dat oplossen op twee manieren: door (1) betere gegevens te verzamelen, of door (2) een beter model te gebruiken. Voor de eerste oplossing zou je bijvoorbeeld een betere foto kunnen maken door een betere camera te gebruiken, de foto te maken op een heldere dag zonder mist, meerdere foto's vanuit verschillende hoeken te maken, etc.

Helaas is deze oplossing niet altijd mogelijk. Misschien heb je bijvoorbeeld geen geld beschikbaar voor een beter camera, of misschien heb je al de beste camera en bestaat simpelweg de techniek nog niet om een betere camera te maken. De tweede oplossing is om een beter model te gebruiken. Zo kan je bijvoorbeeld deze foto vergelijken met foto's van alle grote steden met een rivier/vijver/meer, en kijken op welke foto deze foto het meeste lijkt. Hoe beter je model is waarmee je vergelijkt, hoe zekerder je ook van je conclusies kan zijn.



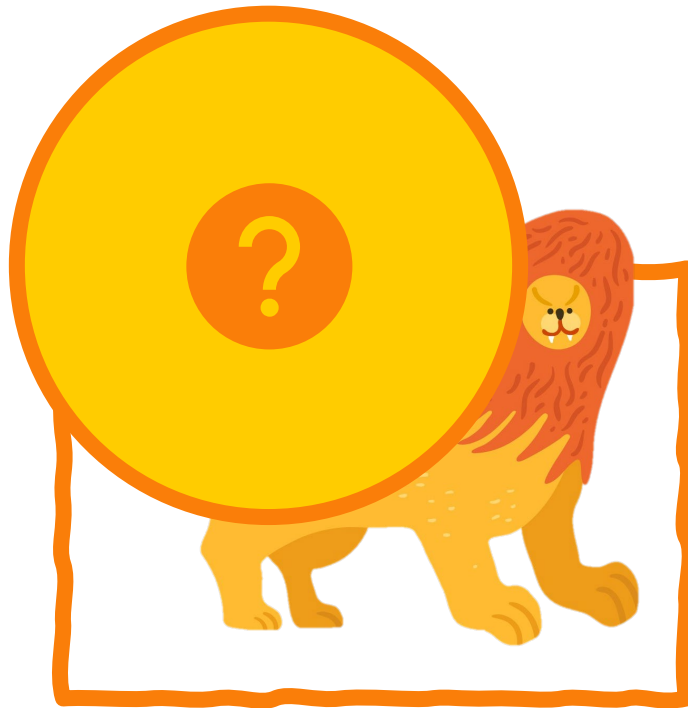
Afbeelding 3



Afbeelding 4 (blz. 9, slide 12) laat een ander voorbeeld zien. Hier is het object wel scherp, maar je kunt er maar een deel van zien, net zoals bij de opdracht met de ruimteschepen. Leg uit aan de leerlingen dat dit ook vaak gebeurt in de natuur- en sterrenkunde: een deel van de ster die je bestudeerd zit achter 'stof', of het licht valt net buiten je telescoop. Je probeert dan als onderzoeker aan de hand van je model een realistisch beeld te maken van hoe de rest van het object er uit ziet. Dit werkt meestal heel goed, maar soms kan je er ook compleet naast zitten. Het is dus heel belangrijk voor wetenschappers om ook de grenzen van het 'weten' aan te geven. Daarom zouden wetenschappers over deze afbeelding zeggen: "Het is hoogstwaarschijnlijk een leeuw, maar het zou ook een ander wezen kunnen zijn".



Je kunt de leerlingen op slide 13 laten zien dat het belangrijk is om te beseffen dat je er met een voorspelling altijd naast kunt zitten, ook al lijkt het antwoord duidelijk te zijn. Het is bij onderzoek belangrijk je daarvan bewust te zijn.



Afbeelding 4

Activiteit 3: Onderzoek naar het onzichtbare

Bij deze activiteit gaan leerlingen ervaren hoe het is om iets te kunnen onderzoeken zonder het te kunnen zien.

Werkvorm: In groepjes van 3

Duur: 20 minuten

Voorbereiding leerkracht: 30 minuten (zie kopje *voorbereiding*)

Benodigdheden:

- Per groepje: vier identieke glazen potjes met deksel of glazen flessen met dop (minimaal 400 ml)
- Water
- Aluminiumfolie of zwarte verf
- Watervaste stift
- Knikkers (minstens één per groepje)
- Per groepje: uitgeprint invulblad (www.wkru.nl/zwartegaten)
- Optioneel: een smartphone of tablet met daarop een app geïnstalleerd die de frequentie van geluiden kan meten en dit visueel laat zien (bijvoorbeeld: Sonic Tools SVM voor Apple, of Spectroid voor Android).
- Voor elk groepje een rustig plekje (denk bijvoorbeeld aan maximaal vier of vijf groepjes in het klaslokaal, en enkele verdeeld over de gang).

Voorbereiding

Tip: Je kunt eventueel de eerste twee stappen van de voorbereiding door leerlingen laten uitvoeren.

- Wikkel de lege potjes strak(!) in aluminiumfolie, zodat je de inhoud niet meer kunt zien. Het verven van de potjes met zwarte verf werkt ook goed.
- Maak setjes van vier identieke potjes en label deze, bijvoorbeeld op het deksel, van A t/m D. Schrijf ook het nummer van het setje erbij (1A, 1B, 1C, 1D, 2A, 2B, 2C, 2D, 3A, etc.)
- *Let op:* vanaf hier kunnen de leerlingen niet meer helpen met de voorbereiding, anders weten ze de antwoorden al. Vul voor ieder groepje de identieke potjes met een verschillende hoeveelheid water. Gebruik hiervoor het antwoordmodel op blz. 12 (deze staat ook op slide 17 van de PowerPoint). De activiteit werkt het best als er minstens 100 ml verschil zit tussen de hoeveelheid water in de verschillende potjes.
- Let er bij het verdelen van de setjes over de groepjes op dat de leerlingen het gewicht niet mogen voelen. Zet daarom de potjes voor ze klaar, op een rustig plekje.



Introductie

Vertel de leerlingen dat je alleen dingen kan zien waar licht vandaan komt. Omdat niets, dus ook licht niet, uit een zwart gat kan ontsnappen, kun je een zwart gat niet zien. Je onderzoekt dus eigenlijk iets dat onzichtbaar is! Vertel dat de leerlingen tijdens deze activiteit gaan ervaren hoe het is om iets te kunnen onderzoeken zonder het te kunnen zien. Ze gaan proberen te achterhalen hoeveel water er in de potjes zit, zonder de potjes aan te raken. Ze krijgen knikkers en mogen de potjes alleen aanraken met de knikkers. Hoe ze de hoeveelheid water gaan onderzoeken, mogen ze zelf bedenken.



Activiteit

Vraag de leerlingen om, zonder de potjes aan te raken en met behulp van de knikker, te bepalen wat de volgorde is van het minste naar het meeste water. Vertel ze in eerste instantie niet om de knikkers te rollen en naar het geluid (toonhoogte) te luisteren, maar laat ze dit zelf ontdekken. Als ze hier niet achter komen kun je ze wat op weg helpen. Deel per groepje het invulblad uit. Ze gaan in drie rondes bepalen hoeveel water ze denken dat er in de potjes zit, en schrijven hun bevindingen telkens na elke ronde op. Voor de eerste ronde gebruiken ze alleen de knikker. Ze moeten daarbij dus zelf proberen te redeneren of een hoger of een lager geluid een voller potje betekent.

Optioneel: Als de leerlingen met hun gehoor de volgorde hebben bepaald en opgeschreven, dan geef je ieder groepje een telefoon met de geïnstalleerde app om de frequentie te bepalen van het geluid van knikkers die tegen het potje rollen of tikken. Dit is ronde twee. Verwachten ze, met deze nieuwe informatie, nog steeds dezelfde volgorde? Benadruk dat ze de antwoorden niet moeten verbeteren, maar de nieuwe antwoorden eronder moeten opschrijven, zodat ze kunnen vergelijken.

Als laatst mogen de leerlingen de potjes wel aanraken: vraag ze de potjes op te tillen en opnieuw de volgorde te bepalen. Moeten ze, nu ze meer data (gegevens) hebben, hun voorspellingen van de eerste ronde(s) aanpassen of blijft deze hetzelfde? Ook hier is het de bedoeling dat ze niet eerdere antwoorden verbeteren, maar het nieuwe antwoord eronder zetten.



Afronding

Bespreek de activiteit na: was het moeilijk de volgorde te bepalen? Hadden ze een andere volgorde met alleen hun gehoor, met de app of het optillen? Klopte de volgorde die ze uiteindelijk hadden opgeschreven? Ze kunnen dit nakijken met behulp van het antwoordmodel op de volgende pagina, deze is ook te vinden op slide 17. Hoe vonden ze het om iets te onderzoeken zonder het te kunnen zien?

Setje	Minste Water			Meeste Water
1	A	C	B	D
2	C	D	B	A
3	D	A	B	C
4	A	D	B	C
5	B	A	D	C
6	C	B	A	D
7	D	C	A	B
8	B	A	C	D
9	A	B	D	C
10	B	C	D	A
11	A	B	C	D

Antwoordmodel voor activiteit 3



Link met het thema

Vertel de leerlingen dat ze net iets hebben onderzocht wat ze niet konden zien (hoeveelheid water) door gebruik te maken van geluidsgolven; want die zijn anders afhankelijk van hoeveel water er in het potje zit. Je kunt dit verder uitleggen: geluidsgolven zijn trillingen in de lucht. Als de lucht sneller trilt, en dus als de golf sneller op en neer gaat, horen we een hogere toon.

Bespreek ook met de leerlingen dat een licht voorwerp door een tik van de knikker snel gaat trillen, daarom klinkt dit hoog. Een zwaarder voorwerp, zoals een potje met veel water, is moeilijker in beweging te krijgen en trilt dus traag als een knikker er tegenaan botst. Dan hoor je een lagere klank.

Zo kun je dus horen in welk potje meer of minder water zit, zonder dat je het kunt zien. Je kunt dit weer terugbrengen naar het onderwerp door te vertellen dat Béatrice ook onderzoek doet naar iets wat ze niet direct kan zien. Ze gebruikt daarbij geen geluidsgolven, maar zwaartekrachtsgolven. Door de zwaartekrachtsgolven van zwarte gaten te bestuderen leert ze over de eigenschappen van zwarte gaten.



Als je een hele lage toon hoort komen uit een snaarinstrument, welke zou het dan zijn? Waarschijnlijk eerder een contrabas dan een viool. Hoe lager de toon, hoe groter het instrument. Jullie hebben net hetzelfde principe gevonden: hoe lager de toon hoe zwaarder het potje, hoe meer water er in het potje zat. Op de zelfde manier 'luistert' Béatrice naar de tonen van zwarte gaten: de muziek van zwarte gaten. Die golven kun je niet daadwerkelijk horen, maar je kunt ze wel met speciale machines opvangen en je als je ze bestudeert kan je er veel van leren. Zo kunnen wetenschappers zoals Béatrice bepalen hoe zwaar een zwart gat is, hoe groot het is en hoe snel het ronddraait.