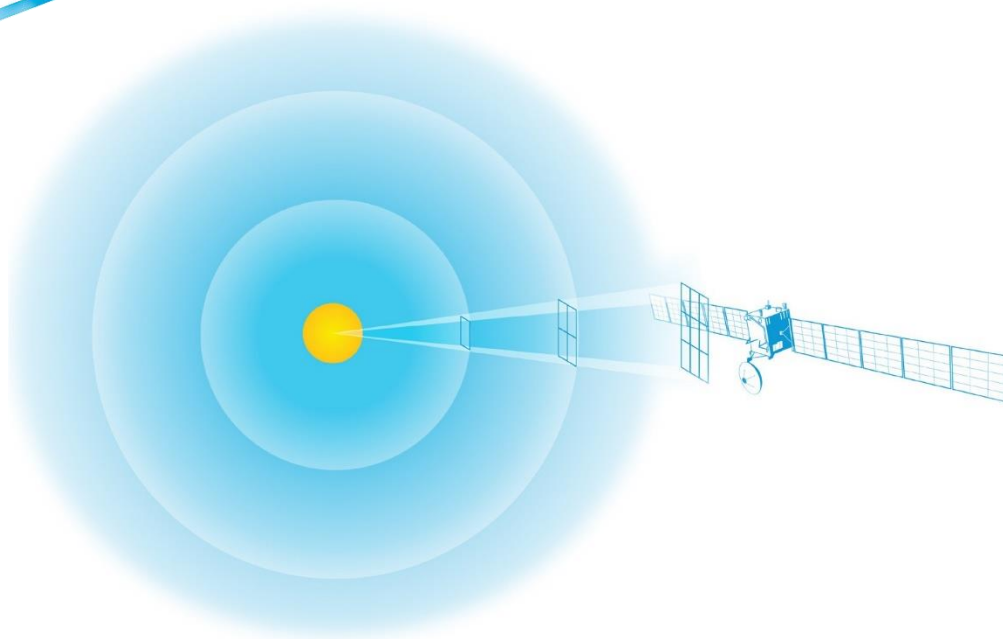


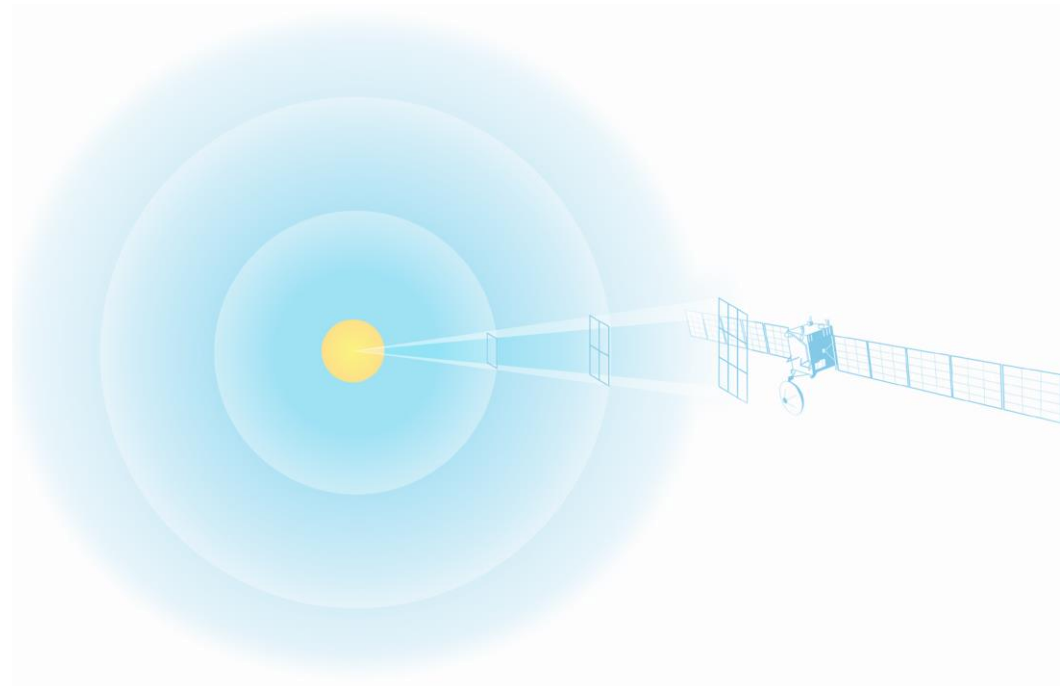
teach with space

→ ENERGIE UIT ZONLICHT

Ruimteonderzoek met zonne-energie

PILOT





Lerarengids

Info over het lespakket	pagina 3
Eindtermen	pagina 4
Samenvatting activiteiten	pagina 5
Inleiding	pagina 6
Activiteit 1: De omgekeerde kwadratenwet	pagina 8
Activiteit 2: De invalshoek	pagina 10
Activiteit 3: De ruimte verkennen met	pagina 12
Werkblad	pagina 14
Links	pagina 22
Bijlage 1: Omgekeerde kwadratenwet	pagina 23
Bijlage 2: De invalshoek	pagina 25

teach with space – power from sunlight | P09
www.esa.int/education

The ESA Education Office welcomes feedback and comments
teachers@esa.int

An ESA Education production
Copyright 2018 © European Space Agency

→ ENERGIE UIT ZONLICHT

Ruimteonderzoek met zonne-energie

Info over het lespakket

Vak: Fysica

Doelgroep: 2^{de} graad doorstroomfinaliteit (2^{de} jaar), 3^{de} graad doorstroomfinaliteit

Type: leerlingenactiviteit

Moeilijkheidsgraad: middelmatig

Kost: laag

Vorbereidingstijd: 1 uur

Lestijd: 1 uur en 40 minuten (plus 20 minuten om experimenten op te stellen)

Locatie: klaslokaal

Benodigdheden: zonnecellen

Sleutelwoorden: Fysica, zonne-energie, omgekeerde kwadratenwet, lichtintensiteit, Invalshoek, Zonnestelsel

Korte samenvatting

In deze reeks activiteiten leren leerlingen over twee concepten die van invloed zijn op het ontwerp van zonnepanelen voor ruimtemissies: de omgekeerde kwadratenwet en de invalshoek. De leerlingen voeren twee eenvoudige onderzoeken uit met een fotonvoltaïsche cel (zonnecel) en een lichtbron. Eerst meten ze hoe het door de zonnecellen geproduceerde vermogen varieert met de afstand tot de lichtbron en proberen ze experimenteel de omgekeerde kwadratenwet voor lichtintensiteit te achterhalen. Vervolgens voeren de leerlingen een tweede experiment uit om de afhankelijkheid van het vermogen van de zonnecel van de invalshoek te onderzoeken. Ten slotte zullen ze deze concepten toepassen op echte ESA-ruimtemissies.

Leerdoelen

- De lichtintensiteit begrijpen en berekenen.
- De invalshoek begrijpen.
- Leren over zonnecellen.
- Praktische experimenten uitvoeren om de omgekeerde kwadratenwet van licht en het effect van de invalshoek van licht te onderzoeken.
- Gegevens analyseren en uitzetten.
- Construeren van eenvoudige elektrische circuits met behulp van zonnecellen.
- Leren over elektrisch potentiaalverschil, elektrische stroom, vermogen en lichtintensiteit.
- Onderzoeken welke zonne-energie nodig is voor ruimtemissies.

Eindtermen

3^{de} graad Minimumdoelen basisvorming (230327) (doorstroomfinaliteit):

- 06.01
De leerlingen rekenen met reële getallen.
 - Machten met rationale exponent, n-de machtswortels en logaritmen met willekeurig grondtal met rekenregels en eigenschappen met symbolen
- 06.02
De leerlingen brengen met behulp van de grafiek, kenmerken van een functie in verband met de betekenisvolle situatie die door de functie beschreven wordt.
- 06.03
De leerlingen rekenen met reële getallen.
 - Optelling, aftrekking, vermenigvuldiging, deling, machtsverheffing met gehele exponenten, vierkantsworteltrekking met rekenregels en eigenschappen met symbolen
 - Schatting grootteorde, afronding
- 06.07
De leerlingen gebruiken de goniometrische getallen sinus, cosinus en tangens in rechthoekige driehoeken om meetkundige problemen op te lossen.
Grondformule van de goniometrie
- 06.20
De leerlingen lossen vraagstukken en problemen op door te mathematiseren en demathematiseren en door gebruik te maken van heuristieken.
- 06.46
De leerlingen analyseren de wisselwerking tussen wetenschappen, technologie, wiskunde en de maatschappij aan de hand van maatschappelijke uitdagingen.

→ Samenvatting activiteiten

Samenvatting activiteiten					
	Titel	Omschrijving	Resultaat	Vereisten	Tijd
1	De omgekeerde kwadratenwet	Het bestuderen van de omgekeerde kwadratenwet van lichtintensiteit door middel van een experiment.	Inzicht in de omgekeerde kwadratenwet en hoe die het vermogen van zonnecellen beïnvloedt.	Geen	20 minuten om het experiment klaar te zetten ; 40 min voor de activiteit
2	De invalshoek	Het onderzoeken van de invalshoek door middel van een experiment.	Inzicht in de hoek van invalshoek en hoe het invloed heeft op de vermogen van zonnecellen.	Voltooiing van activiteit 1 wordt geadviseerd	30 minuten
3	Ruimte-onderzoek met zonne-energie	Oefen het gebruik van de omgekeerde kwadratenwet op echte ESA-ruimtemissies.	Inzicht in de voor- en nadelen van zonne-energie voor ruimteverkenning.	Voltooiing van activiteit 1 wordt geadviseerd	30 minuten

→ Inleiding

Zonne-energie wordt vaak gebruikt voor ruimtemissies, omdat het de enige energiebron is die niet met het ruimteschip hoeft te worden gelanceerd en het ruimteschip jarenlang van energie kan voorzien. In deze bron onderzoeken we twee belangrijke factoren waarmee rekening moet worden gehouden bij het ontwerpen van zonnepanelen voor ruimtemissies: de omgekeerde kwadratenwet en de invalshoek.

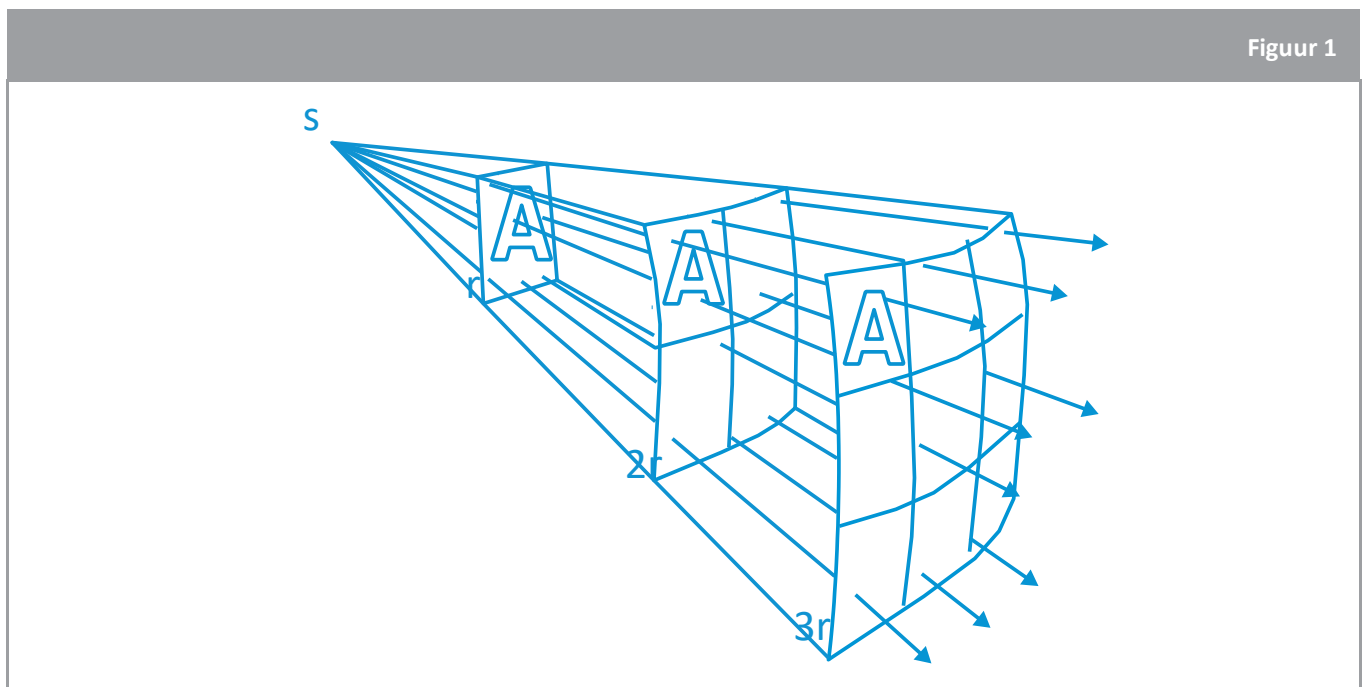
Omgekeerde kwadratenwet

De omgekeerde kwadratenwet stelt dat de waarde van een fysische grootte omgekeerd evenredig is met het kwadraat van de afstand tot de bron van die fysische grootte. Een van de bekendste voorbeelden hiervan is de omgekeerde kwadratenwet van licht; de flux die wordt ontvangen van een lichtbron is omgekeerd evenredig met de gekwadraterde afstand tot de lichtbron. Voor licht is de flux de hoeveelheid energie die door een bepaald gebied wordt uitgestraald. Voor een bolvormige lichtbron, zoals de zon, is de flux gelijk aan de intensiteit van de straling (I). De zon straalt in alle richtingen gelijkmatig licht uit, zodat de intensiteit van de straling de omgekeerde kwadratenwet volgt met de afstand tot de zon. De omgekeerde kwadratenwet voor dit geval wordt samengevat in de volgende vergelijking:

$$I \propto \frac{1}{r^2}$$

I = intensiteit van de straling van de zon, r = afstand tot de zon

Dit betekent dat, als een planeet of ruimtevaartuig zich tweemaal zo ver van de zon bevindt als de aarde, de intensiteit van de zonnestraling slechts een kwart zal zijn van die welke op aarde wordt gemeten (figuur 1).



Figuur 1

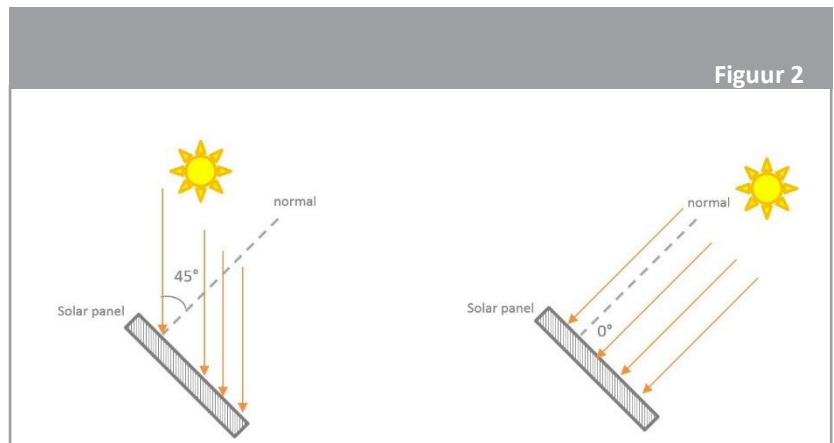
↑ De zon in punt S straalt gelijkmatig licht uit in alle richtingen. Op een afstand r gaat het licht door een gebied A , wanneer de afstand verdubbelt ($2r$) verviervoudigt het gebied ($4A$) en wanneer de afstand verdrievoudigt wordt het gebied $9A$.

Inzicht in de omgekeerde kwadratenwet heeft belangrijke gevolgen voor ruimtemissies die door zonnepanelen worden aangedreven. Hoe verder een ruimtevaartuig op zonne-energie van de zon is verwijderd, hoe groter de oppervlakte van de zonnepanelen moet zijn om aan dezelfde energiebehoefte te voldoen.

Invalshoek

De invalshoek van het zonlicht op een zonnepaneel is ook een belangrijke factor voor het opwekken van energie. Een zonnepaneel zal het meest efficiënt zonne-energie opvangen wanneer de zonnestralen loodrecht op het oppervlak van het paneel staan, met een invalshoek van 0° , omdat dit het effectieve opvanggebied maximaliseert (zie figuur 2).

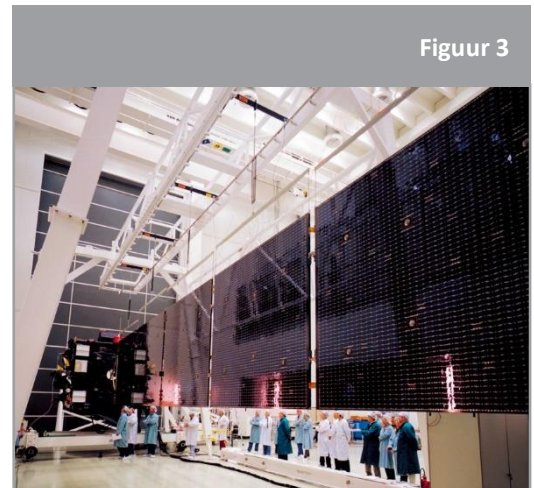
Voor ruimtemissies is de invalshoek van het zonlicht een kritieke factor. Veel ruimtevaartuigen zijn uitgerust met draaibare zonnepanelen om de invalshoek van het zonlicht te verkleinen en zo de energieproductie te maximaliseren.



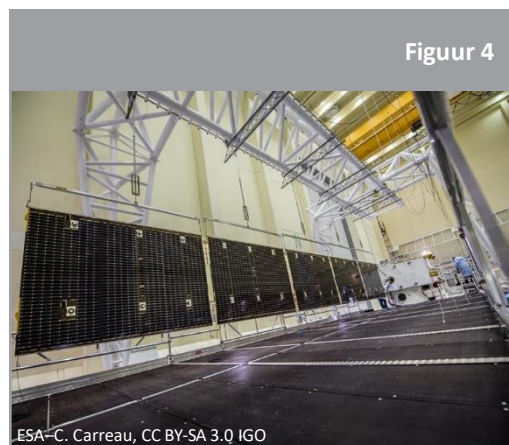
↑ Een invalshoek van 45° (links) en 0° (rechts). De invalshoek is de hoek tussen de invallende zonnestralen en de normaal van het zonnepaneel (met lengte L). Wanneer de zonnestralen loodrecht op het zonnepaneel staan, hebben ze een invalshoek van 0° . Op het linker zonnepaneel is de effectieve opvangoppervlakte gelijk aan $L \cdot \cos(45)$, dus is de op het zonnepaneel invallende intensiteit ook $L \cdot \cos(45)$.

Zonne-energie voor ruimtemissies Rosetta

De Rosetta-missie van ESA heeft meer dan 10 jaar gereisd om komeet 67P/Churyumov-Gerasimenko te ontmoeten. Op het verste punt van zijn reis bevond Rosetta zich op 800 miljoen kilometer van de zon, waar de hoeveelheid zonlicht slechts 4% bedraagt van wat de aarde ontvangt. Het is de eerste missie die voorbij de belangrijkste asteroidengordel reist en voor haar energievoorziening uitsluitend op zonnecellen vertrouwt. De zonnepanelen waren 32 meter breed en hadden een totale oppervlakte van 64 m^2 (zie figuur 3).



BepiColombo



↑ BepiColombo Mercury Transfer Module met zonnevleugel.

↑ Rosetta ruimtevaartuig met een van zijn twee zonnevleugels volledig uitgeklapt.

De BepiColombo-missie van ESA naar Mercurius zal zeer dicht bij de zon vliegen. Niet al het licht dat een zonnepaneel bereikt, kan worden omgezet in elektriciteit - een deel van het licht veroorzaakt in plaats daarvan opwarming. Als de zonnepanelen van BepiColombo langer dan een paar seconden rechtstreeks op de zon zouden zijn gericht, zouden de materialen beschadigd raken en zouden de zonnepanelen niet meer werken. Om de panelen koeler te houden (ongeveer 200°C) zijn de zonnepanelen van de zon afgekeerd. Dit betekent dat de zonnepanelen groter moeten zijn dan wanneer we de oppervlakte alleen met de omgekeerde kwadratenwet zouden berekenen. Voor BepiColombo moeten de zonnepanelen 42 m^2 groot zijn (zie figuur 4).

→ Activiteit 1 – De omgekeerde kwadratenwet

In deze praktische activiteit berekenen de leerlingen het vermogen van een zonnepaneel door de elektrische stroom en het elektrische potentiaalverschil te meten en proberen zij uit hun experimentele metingen de wet van het omgekeerde kwadraat af te leiden.

Benodigheden

- Studentenwerkblad en bijlage 1 uitgeprint voor elke groep
- Een donkere doos (aan één kant open)
- Elektrische kabels
- Plakband
- Lichtbron (kleine gloeilamp; 4,5 V; 0,3 A)
- Meetlat
- Staaf van 30 cm (bijvoorbeeld een houten stok)
- Materiaal om het licht te blokkeren (Bijvoorbeeld een spons of doek)
- Ampèremeter en voltmeter (of een multimeter)
- Krokodillenklemmen

Opdracht

Verdeel de leerlingen in groepjes van 3 à 4 leerlingen. Verdeel het werkblad en bijlage 1 over elke groep. Alvorens met het experiment te beginnen, laat je de leerlingen kennismaken met het begrip stralingsintensiteit.

Opzetten van het experiment

Eerst moeten de leerlingen het experiment opzetten. Vraag hen de stappen 1 tot en met 9 van bijlage 1. Zorg ervoor dat de leerlingen in stap 9 de afstand nul markeren wanneer de lichtbron de zonnecel raakt. Na afloop van de opzetfase moeten de leerlingen controleren of alle apparatuur werkt en goed is aangesloten.

Experiment

De leerlingen meten het elektrische potentiaalverschil (U) en de elektrische stroom (I) volgens de stappen 10 tot en met 12 in bijlage 1 en noteren hun gegevens in tabel 1 van het leerlingenwerkblad.

Voor de eerste meting moeten de leerlingen de staaf minstens 5 cm terugtrekken. Voor elke volgende meting moeten de leerlingen de lichtbron 1 cm terugtrekken tot ongeveer 30 cm is bereikt. Idealiter meten de leerlingen 20 tot 30 verschillende afstanden. Het is mogelijk om grotere intervallen te gebruiken, maar de afname van het vermogen kan te snel zijn om de omgekeerde kwadratenwet waar te nemen, de variatie is afhankelijk van de lichtbron en de zonnecellen. Wij raden je aan de optimale afstanden te testen voordat je het experiment met je leerlingen uitvoert.

De leerlingen moeten hun metingen nog twee keer herhalen en het gemiddelde berekenen. Bespreek de betrouwbaarheid van de resultaten en het wetenschappelijk proces met de leerlingen.

Vraag de leerlingen tabel 1 van hun werkblad in te vullen door het uitgangsvermogen te berekenen:

$$P(W) = I (A) * U (V)$$

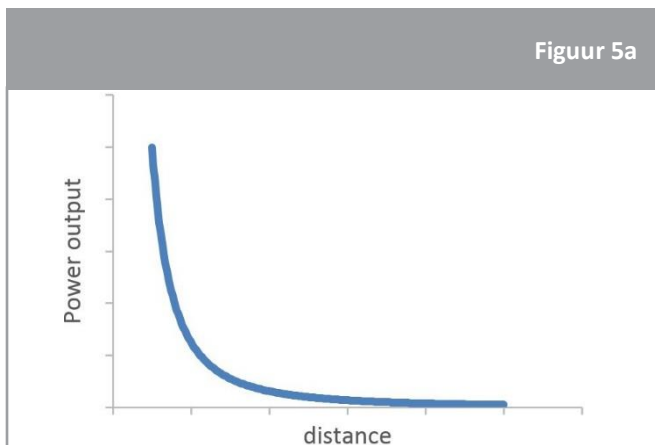
Resultaten

Bij de analyse van deze resultaten gaan wij ervan uit dat het door de zonnecellen geproduceerde vermogen recht evenredig is met het door de zonnecel ontvangen vermogen (geproduceerd vermogen = ontvangen vermogen x rendement van de cel). Het ontvangen vermogen is evenredig met de lichtintensiteit van de lichtbron (want intensiteit = vermogen/oppervlak, en het oppervlak blijft gedurende het hele experiment hetzelfde). Daarom kunnen we zeggen dat het door de fotovoltaïsche cel geproduceerde vermogen evenredig is met de lichtintensiteit.

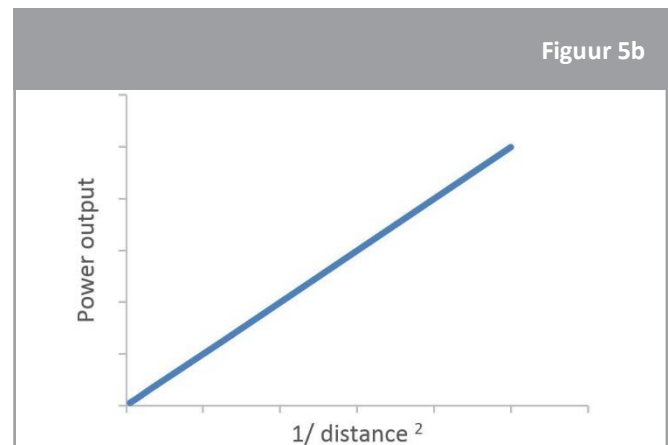
Om te voldoen aan de omgekeerde kwadratenwet moet het door het zonnepaneel geproduceerde vermogen (P) evenredig zijn met het omgekeerde van de afstand in het kwadraat (r).

$$P \propto \frac{1}{r^2}$$

Om hun gegevens te analyseren moeten de leerlingen het vermogen uitzetten als functie van de afstand (figuur 5a) en het vermogen als functie van 1/afstand² (figuur 5b); de tweede plot moet een rechte lijn opleveren.



↑ Verwachte grafiek voor vermogen tegen afstand.



↑ Verwachte grafiek voor afgegeven vermogen tegen 1/afstand².

The students may not retrieve exactly an inverse square law. These are some of the factors that may influence the results:

- De doos is mogelijk niet volledig donker en schommelingen van het buitenlicht beïnvloeden de metingen.
- In deze opzet kan de meting van de afstand een grote fout hebben.
- Er kan interne lichtverstrooiing zijn.
- De interne weerstand van de zonnecel kan gedurende het experiment variëren.
- De metingen dicht bij de zonnecel volgen mogelijk niet de omgekeerde kwadratenwet omdat de lichtbron niet kan worden benaderd als een puntbron.

Als conclusie moeten de leerlingen vaststellen dat als we de afstand tot de lichtbron verdubbelen, we 4 keer grotere zonnepanelen nodig hebben om dezelfde hoeveelheid energie op te wekken.

→ Activiteit 2: De invalshoek

In deze activiteit leren de leerlingen over het belang van de invalshoek en de voordelen van een optimale plaatsing van zonnecellen. Via een experiment zullen ze meten hoe de invalshoek het vermogen beïnvloedt.

Benodigheden

- Studentenwerkblad en bijlage 2 uitgeprint voor elke groep
- Experimentele opstelling van activiteit 1 (zie bijlage 2)
- Stokje om de zonnecel te draaien (BBQ-stokje bijvoorbeeld)
- Schuifmaat

Opdracht

Voor deze activiteit moeten de leerlingen weer in groepjes van 3 tot 4 zitten. Verdeel het werkblad en bijlage 2 over elke groep.

Alvorens met het experiment te beginnen, laat je de leerlingen kennismaken met het begrip invalshoek.

Opstelling van het experiment

Activiteit 2 is een voortzetting van activiteit 1. De leerlingen moeten hun experimentele instelling aanpassen zodat ze het zonnepaneel in een specifieke hoek kunnen kantelen. De leerlingen moeten het experiment van activiteit 1 aanpassen volgens stap 1 tot en met 7 in bijlage 21. Alvorens met de metingen te beginnen, moeten de leerlingen ervoor zorgen dat alle apparatuur werkt en goed is aangesloten.

Experiment

De leerlingen verrichten de metingen zoals beschreven in stappen 8 tot 10 in bijlage 2 en noteren ze in tabel 2 van het leerlingenwerkblad. De leerlingen herhalen de metingen nog twee keer, waarbij ze ervoor zorgen dat alle omstandigheden gelijk blijven, en berekenen het gemiddelde vermogen voor elke invalshoek.

¹Als de leerlingen activiteit 1 nog niet eerder hebben gedaan, moeten zij de instructies in bijlage 1 volgen om het experiment in elkaar te zetten, van stap 1 tot en met 7, waarbij stap 5 wordt overgeslagen, en vervolgens de instructies in bijlage 2 volgen.

Resultaten

Vraag de leerlingen het gemiddelde vermogen uit te zetten als functie van de invalshoek.

De leerlingen moeten uit hun gegevens afleiden dat het afgegeven vermogen het grootst is wanneer het zonnepaneel loodrecht op de lichtstralen staat (invalshoek = 0°).

Hoewel de verwachte aflezing wanneer de zonnecel parallel aan de lichtbron staat (invalshoek = 90°) in principe nul zou moeten zijn, wordt dit niet gehaald, voornamelijk door de lichtverstrooiing binnen de doos.

Zelfs wanneer de lamp is uitgeschakeld, kan er nog een meetbare reststroom in het circuit aanwezig zijn (donkerstroom). Bij wetenschappelijke experimenten die precisie metingen vereisen, moeten de waarden worden gecorrigeerd door deze fout van de metingen af te trekken.

Als de leerlingen hun zonnecellen zo kantelen dat de invalshoeken -30° , -60° en -90° zijn, moeten ze vergelijkbare waarden vinden, omdat het systeem symmetrisch is. Experimenteel hangt dit af van hoe goed het systeem is uitgelijnd.

Sommige foutenbronnen zijn al in activiteit 1 genoemd. In deze activiteit moeten we ook de onzekerheid in de meting van de hoek en de uitlijning van het zonnepaneel in de doos als mogelijke foutenbronnen beschouwen.

Ter afsluiting moeten de leerlingen vraag 9 van het werkblad beantwoorden en vaststellen dat de invalshoek dicht bij 0° moet liggen om het vermogen van het zonnepaneel te maximaliseren. Ze kunnen een zon-tracking mechanisme voorstellen met zonnepanelen die draaien en kantelen volgens de schijnbare beweging van de zon.

Bij deze experimenten heeft het voor BepiColombo zo belangrijke verwarmingseffect een verwaarloosbare invloed op de resultaten omdat het vermogen van de lamp veel lager is dan het vermogen van de zon. Op aarde worden zonnepanelen ook gekoeld door de lucht, maar in de ruimte is er geen lucht.

→ Activiteit 3: De ruimte verkennen met zonne-energie

In deze activiteit oefenen leerlingen het gebruik van de omgekeerde kwadratenwet bij toepassing op echte ESA-ruimtemissies. De leerlingen ontdekken hoe de eigenschappen van de omgekeerde kwadratenwet bepalen hoe groot de zonnepanelen moeten zijn en hoe de invalshoek van cruciaal belang is voor missies die zich dicht bij de zon wagen.

Resultaten

1. De lichtintensiteit die wordt ontvangen op de gemiddelde afstand van de aarde tot de zon (I_{Earth}) kan worden berekend met behulp van de omgekeerde kwadratenwet en de waarden op het werkblad van de leerling:

$$I_{\text{Earth}} = \frac{3.828 * 10^{26} \text{ W}}{4\pi(1.5 * 10^{11} \text{ m})^2} = 1354 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

2. Op een afstand van 45 miljoen km van de zon wordt de lichtintensiteit berekend als:

$$I_{\text{BepiColombo}} = \frac{3.828 * 10^{26} \text{ W}}{4\pi(4.5 * 10^{10} \text{ m})^2} = 15043 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$I_{\text{BepiColombo}} = 11 I_{\text{Earth}}$$

Op deze afstand van de zon is de lichtintensiteit 11 keer groter dan op aarde. De warmteschade aan de zonnepanelen zal aanzienlijk zijn, wat betekent dat ze permanent van de zon moeten worden gekanteld. permanent van de zon af moeten staan. Dit betekent dat de werkelijke oppervlakte van de zonnepanelen, 42m^2 , veel groter is dan wanneer de zonnepanelen direct naar de zon gericht zouden zijn.

3. ESA's Rosetta ruimtevaartuig volgde een baan die het op 800 miljoen km van de zon bracht. Op deze afstand wordt de lichtintensiteit berekend als:

$$I_{\text{Rosetta}} = \frac{3.828 * 10^{26} \text{ W}}{4\pi(8 * 10^{11} \text{ m})^2} = 47.6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Compared to I_{Earth} :

$$I_{\text{Rosetta}} = 0.035 I_{\text{Earth}}$$

De intensiteit van licht op 800 miljoen km van de zon is ongeveer 3,5% van de intensiteit van licht op de afstand van de aarde tot de zon.

4. Hoewel de zonnepanelen van Rosetta worden aangedreven door zeer efficiënte zonnecellen, varieerde de efficiëntie... tussen 18% en 26%. Gecombineerd met de lage lichtintensiteit op het verste punt in de baan, moesten de zonnepanelen van Rosetta een zeer groot oppervlak van 64m^2 hebben. Aangenomen dat de enige variabele het verschil in lichtintensiteit zou zijn als Rosetta in een baan op de afstand van de aarde, zou de oppervlakte van de zonnepanelen slechts:

$$A_{\text{Earth}} = 0.035 * 64 \text{ m}^2 = 2.24 \text{ m}^2$$

5. Met behulp van de omgekeerde kwadratenwet wordt de lichtintensiteit op de afstand van Saturnus gegeven door:

$$I_{\text{Saturn}} = \frac{3.828 * 10^{26} \text{ W}}{4\pi(1.4 * 10^{12} \text{ m})^2} = 15.5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Similar to the calculation for the Earth's distance: $I_{\text{Rosetta}} = 3.1 I_{\text{Saturn}}$

This means that the solar panels would have to be 3.1 times bigger, at a distance of 1.4 billion km, compared to 800 million km from the Sun

$$A_{\text{Saturn}} = 3.1 * 64 \text{ m}^2 = 198.4 \text{ m}^2$$

6. De energiebehoefte van Cassini-Huygens is 2,2 keer groter dan die van Rosetta (885 W /395 W= 2,2) en daarom werd een radio-isotopische thermo-elektrische generator gebruikt. Als het in plaats daarvan zonnepanelen had gebruikt, zou de oppervlakte van de zonnepanelen 2,2 keer zo groot moeten zijn als de in vraag 4 berekende waarde.

$$A_{\text{Cassini-Huygens}} = 2.2 * 198.4 \text{ m}^2 = 436.5 \text{ m}^2$$

7. De zonnepanelen hebben een massa per vierkante meter van:

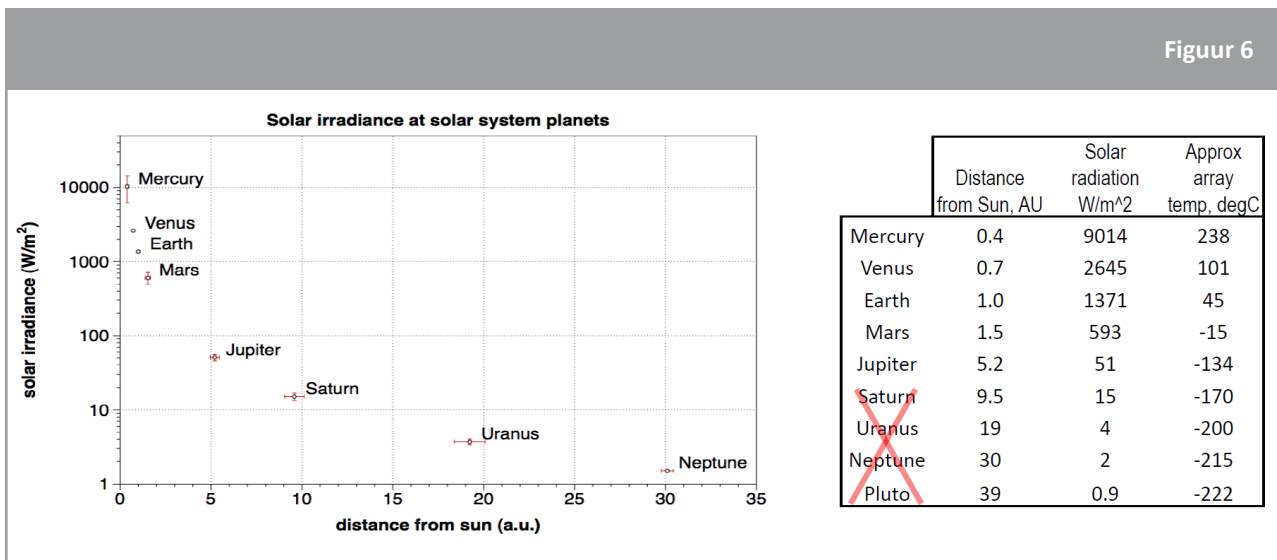
$$\frac{51.2\text{kg}}{64\text{m}^2} = 0.8\text{ kg m}^{-2}$$

De totale massa van de zonnepanelen die nodig zijn om Cassini van energie te voorzien zou dus ongeveer:

$$0.8\text{ kg m}^{-2} * 436.5\text{ m}^2 = 349.2\text{ kg}$$

De radio-isotopische thermo-elektrische generatoren wogen 56,4 kg De toename van de massa zou 292,8 kg bedragen.

8. Zonne-energie is zeer belangrijk omdat het een hernieuwbare energiebron is en omdat zij niet met het ruimtevaartuig wordt gelanceerd. Door de omgekeerde kwadratenwet neemt de lichtintensiteit snel af met de afstand tot de zon (zie figuur 6). Dit betekent dat grotere zonnepanelen nodig zijn om verder van de zon in de nodige energie te voorzien en dat het op afstanden voorbij Jupiter in feite te donker is om zonne-energie te gebruiken.



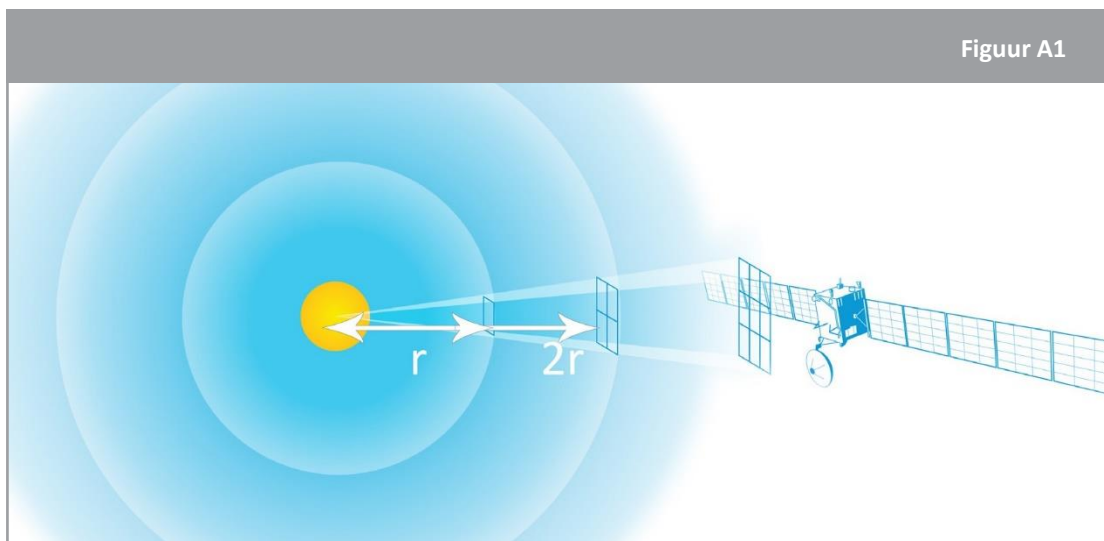
↑ Zonne-instraling (lichtintensiteit) op planeten van het zonnestelsel.

Zoals berekend in vraag 6, zouden zonnepanelen, indien Cassini-Huygens zonnepanelen nodig zou hebben, een massa hebben die meer dan zes keer zo groot is als de massa van de radio-isotopische thermo-elektrische generatoren! Aandacht voor de massa is zeer belangrijk voor de verkenning van de ruimte, want voor elke extra kilogram is meer brandstof nodig om aan de zwaartekracht van de aarde te ontsnappen. Er moet echter rekening worden gehouden met de beperkingen inzake veiligheid en beveiliging die met name aan kernenergie zijn verbonden.

→ ENERGIE UIT ZONLICHT

Ruimteonderzoek met zonne-energie

→ Activiteit 1: De omgekeerde kwadratenwet



↑ De zon zendt in alle richtingen gelijkmatig licht uit. Op een afstand r gaat het licht door een gebied A , wanneer de afstand verdubbelt ($2r$) zal dezelfde hoeveelheid licht een vier keer zo groot gebied bestrijken ($4A$)

De zon zendt licht gelijkmatig uit in alle richtingen (zie figuur A1), en dus is de lichtintensiteit (I) op een bepaalde afstand (r) gelijk aan het totale door de zon uitgezonden vermogen, verdeeld over een bol met straal (r) en oppervlakte $4\pi r^2$.

$$\text{Intensity of radiation from the Sun (W/m}^2\text{)} = \frac{\text{Power emitted from the Sun (W)}}{4\pi r^2(\text{m}^2)} \quad (1)$$

Afhankelijk van hun afstand tot de zon ondervinden ruimtevaartuigen in het zonnestelsel enorme verschillen in de hoeveelheid zonlicht die zij ontvangen.

Wist je dat?

SMART-1 werd in september 2003 gelanceerd en was de eerste ESA-missie naar de maan. Het was de eerste missie die de baan om de aarde uitsluitend op zonne-energie verliet, zij het langzaam, en die een record vestigde van 13 maanden voor de langste reis naar de maan. SMART-1 brak het record van het laagste brandstofverbruik per km voor welke maanreis dan ook en haalde het grootste deel van zijn elektrische energie uit zijn vleugels met zonnepanelen, die elk ongeveer 7 m lang waren.



Experiment

In dit experiment probeer je de omgekeerde kwadratenwet te achterhalen voor het vermogen van een zonnecel.

1. Zet het experiment op volgens de instructies in bijlage 1, van stap 1 tot en met stap 10.
2. Controleer of alle apparatuur is aangesloten en goed werkt.
3. Begin met de metingen. Volg de instructies in stap 11 en 12 (in bijlage 1).
4. Noteer uw metingen van het elektrische potentiaalverschil (U) en de elektrische stroom (I) in tabel 1.
5. Herhaal de metingen nog twee keer.
6. Bereken het afgegeven vermogen (P) van de zonnecel en vul tabel 1 in.

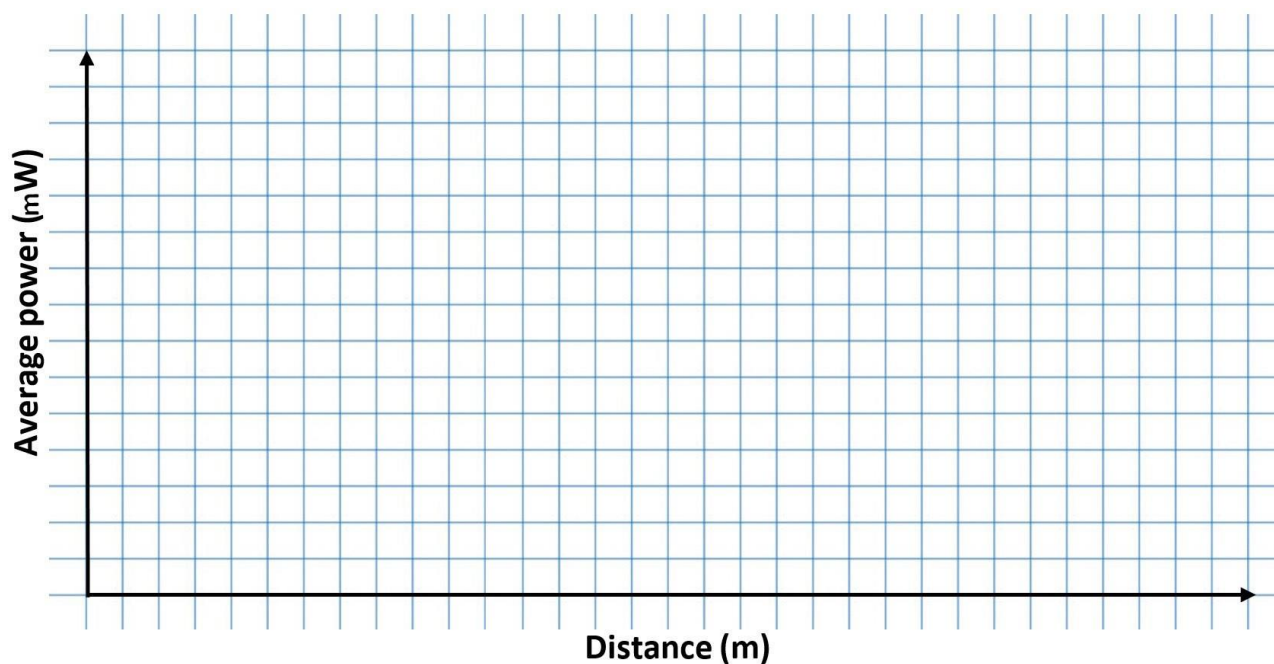
$$P(W) = I (A) *U (V)$$

7. Bereken het gemiddelde vermogen voor elke afstand.

Tabel 1										
Afstand	Experiment 1			Experiment 2			Experiment 3			Gem. P (mW)
	U (V)	I (mA)	P (mW)	U (V)	I (mA)	P (mW)	U (V)	I (mA)	P (mW)	

↑ Tabel voor de registratie van het elektrische potentiaalverschil (U), de stroom (I) en het bijbehorende uitgangsvermogen (P)

8. Zet het gemiddelde vermogen uit als functie van de afstand van de lichtbron:



9. Volgt de opbrengst van de zonnecel de omgekeerde kwadratenwet? Leg uit.

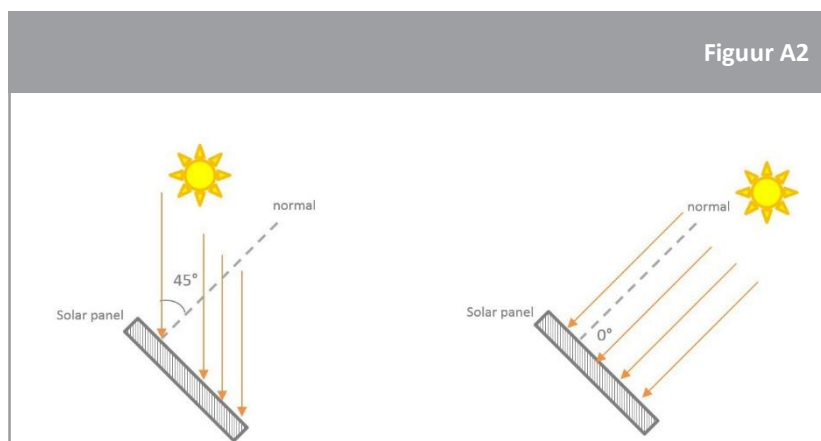
10. Welke onzekerheden zijn er in je experiment? Hoe beïnvloeden ze je resultaat?

11. Als we de afstand tot de lichtbron verdubbelen, hoe groot moeten de zonnepanelen dan zijn om hetzelfde vermogen te produceren?

- a. Ze zouden kleiner moeten zijn
- b. Ze zouden 2 keer zo groot moeten zijn
- c. Ze zouden 4 keer zo groot moeten zijn
- d. Ze zouden 9 keer zo groot moeten zijn

→ Activiteit 2: De invalshoek

De invalshoek van het zonlicht op de zonnepanelen is een belangrijke factor. De invalshoek is de hoek tussen de invallende zonnestralen en de normaal van de zonnepanelen. Wanneer de zonnestralen loodrecht op het zonnepaneel staan, hebben ze een invalshoek van 0°.



↑ Weergave van een invalshoek van 45° (links) en 0° (rechts)

1. Voor je met de metingen begint, moet je voorspellen welke invalshoek het grootste vermogen zal genereren. Verklaar je vermoedens.

Experiment

In dit experiment ga je meten hoeveel de invalshoek het vermogen van je zonnecellen beïnvloedt.

2. Pas de proefopstelling van activiteit 1 aan door stap 1 tot en met 7 te volgen in de instructies van bijlage 2.
3. Voer het experiment uit volgens de aanwijzingen in de stappen 8 tot en met 10 van bijlage 2. Noteer uw metingen van het elektrisch potentiaalverschil (U) en de elektrische stroom (I) voor verschillende invalshoeken in onderstaande tabel 2.
4. Herhaal de metingen nog twee keer.
5. Bereken het vermogen van de zonnecel en vul tabel 2 in.

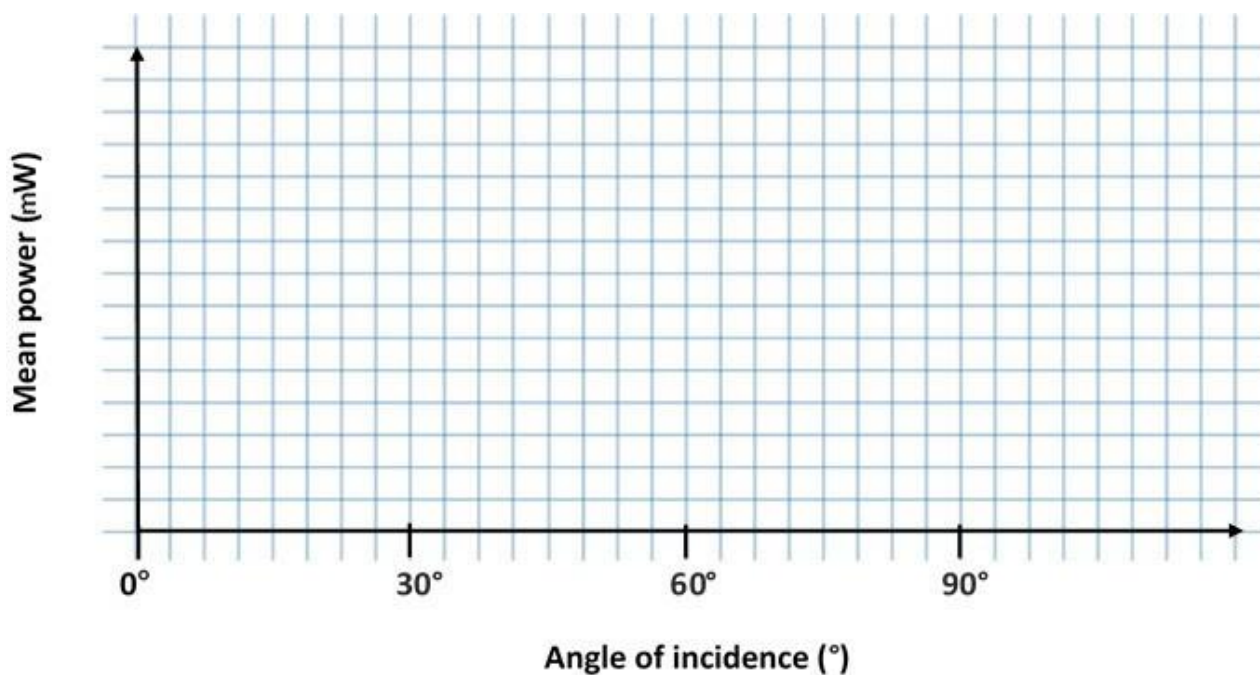
$$P(W) = I(A) * U(V)$$

6. Bereken het gemiddelde vermogen voor elke invalshoek.

Tabel 2										
Afstand	Experiment 1			Experiment 2			Experiment 3			Gem. P (mW)
	U (V)	I (mA)	P (mW)	U (V)	I (mA)	P (mW)	U (V)	I (mA)	P (mW)	
0°										
30°										
45°										
60°										
90°										

↑ Opnames van elektrisch potentiaalverschil (U), elektrische stroom (I) en afgegeven vermogen (P) voor verschillende invalshoeken.

7. Zet het gemiddelde vermogen uit als functie van de invalshoek:



8. Welke invalshoek levert het grootste vermogen op?

9. Was uw voorspelling in vraag 1 juist? Zo niet, kan je uitleggen waarom het anders was?

10. Waarom denk je dat het vermogen niet nul is als de zonnecel evenwijdig aan de lichtbron staat? (Invalshoek = 90°)

11. Verwacht je enig vermogen als je het experiment uitvoert met de lamp uit? Test je vermoedens en verklaar je bevindingen.

12. Welke vermogenswaarden zou je verwachten als je het experiment zou uitvoeren met de invalshoek op -30° , -45° , -60° en -90° ? Leg je antwoord uit.

13. Wat zijn de belangrijkste onzekerheden in het experiment? Zijn er fouten in je metingen?

14. Je hebt gemeten hoe het vermogen afhangt van de invalshoek. Hoe zou je je zonnepanelen construeren om het vermogen te maximaliseren?

Wist je dat?

Het internationale ruimtestation (ISS) wordt aangedreven door zonnepanelen. De afbeelding rechts toont enkele van de zonnepanelen op het ISS, dat plaats biedt aan maximaal zes astronauten tegelijk. Terwijl het ISS in een baan om de aarde draait, kunnen de zonnepanelen worden gedraaid om ze directer op de zon te richten. De panelen beslaan een oppervlakte van 2500 m^2 - dat komt overeen met de grootte van een half voetbalveld!



→ Activiteit 3: De ruimte verkennen met zonne-energie

Wanneer is het een goed idee om zonne-energie te gebruiken voor ruimteverkenning en hoe kunnen we onze kennis van de omgekeerde kwadratenwet en de invalshoek in ons voordeel gebruiken?

Voor de **Rosetta-missie van ESA**, die 800 miljoen km van de zon verwijderd is, waren enorme zonnepanelen nodig om voldoende energie te produceren voor de boordsystemen. De BepiColombo-missie van ESA naar Mercurius reist daarentegen zo dicht bij de zon dat zij enorme hoeveelheden straling zal ontvangen die zeer schadelijk kan zijn voor de zonnepanelen.

Opdracht

1. De aarde bevindt zich op een gemiddelde afstand van ongeveer 150 miljoen km van de zon. Het gemiddelde vermogen dat door de Zon wordt uitgezonden is $3,828 \cdot 10^{26} \text{W}$. Gebruik vergelijking (1) in activiteit 1 om de lichtintensiteit op de afstand van de Aarde te berekenen (I_{Earth}).

2. De maximale afstand van Rosetta tot de zon was 800 miljoen km. Bereken de lichtintensiteit (I_{Rosetta}) op deze afstand. Vergelijk het met I_{Earth} .

3. Gezien de behoefte aan stroom in combinatie met de lage lichtintensiteit op het verste punt in de baan, moesten de zonnepanelen van Rosetta een zeer groot oppervlak hebben, namelijk 64m^2 . Wat zou de vereiste oppervlakte van de zonnepanelen zijn als Rosetta in plaats daarvan op de afstand van de aarde was? Houd alleen rekening met het verschil in lichtintensiteit en neem aan dat alle andere variabelen constant blijven.

4. Stel nu dat Rosetta Saturnus gaat verkennen, op 1,4 miljard km van de zon. Hoe groot zouden de zonnepanelen op deze afstand moeten zijn? Houd alleen rekening met het verschil in lichtintensiteit en neem aan dat alle andere variabelen constant blijven.

5. De laatste missie naar Saturnus, Cassini-Huygens, werd aangedreven met behulp van radio-isotopen thermo-elektrische generatoren (RTG's). Cassini-Huygens had 885 W vermogen nodig, terwijl Rosetta slechts 395 W nodig had. Bereken de grootte van de zonnepanelen die nodig zouden zijn om Cassini-Huygens van stroom te voorzien (op de afstand van Saturnus), ervan uitgaande dat ze vergelijkbaar zijn met de zonnepanelen van Rosetta.

6. De radio-isotopische thermo-elektrische generatoren die voor Cassini-Huygens werden gebruikt, hadden een massa van 56,4 kg. De zonnepanelen van Rosetta hadden een massa van 51,2 kg. Hoeveel zou de massa van Cassini-Huygens toenemen als de missie zonnepanelen had gebruikt, zoals berekend in vraag 5?

7. Wat zijn de voor- en nadelen van het gebruik van zonne-energie voor de verkenning van de ruimte?

→ Links

Resources

ESERO Belgium lesmateriaal: <https://eserobelgium.be/index.php/nl/bibliotheek-met-lesmateriaal-voor-het-secundair-onderwijs/>

ESA classroom resources:
esa.int/Education/Classroom_resources

ESA extra information

ESA Rosetta mission esa.int/rosetta

ESA/JAXA BepiColombo mission
esa.int/Our_Activities/Space_Science/BepiColombo_overview2

Cassini-Huygens mission
esa.int/Our_Activities/Space_Science/Cassini-Huygens

Information on the mass of the Rosetta solar panels (page 10)
lpi.usra.edu/opag/nov_2007_meeting/presentations/solar_power.pdf

Effective power generated at 5.25 AU by Rosetta (395 W, 64 m²)
esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/The_Rosetta_orbiter

Specifications for the Cassini spacecraft
fas.org/nuke/space/bennett0706.pdf

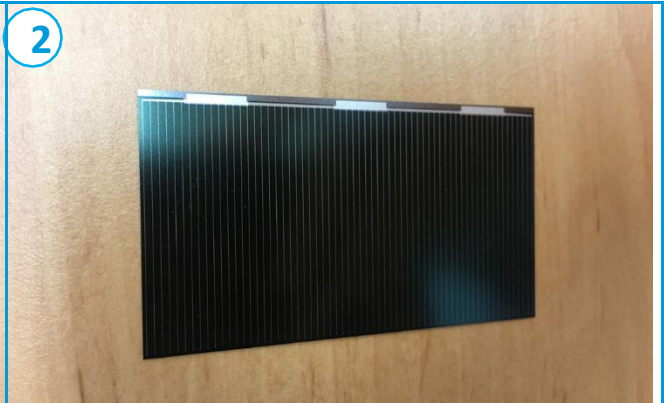
Information about the mass of solar panels estimated from slide 10
lpi.usra.edu/opag/nov_2007_meeting/presentations/solar_power.pdf

BepiColombo solar wing deployment
youtube.com/watch?v=Lhw4aojbkvs

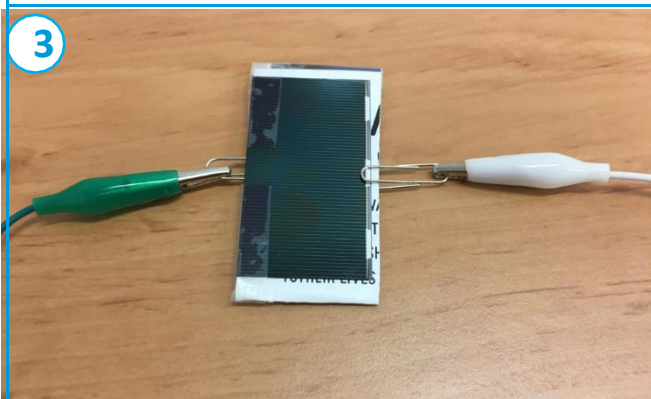
→ Bijlage 1 – Omgekeerde kwadratenwet



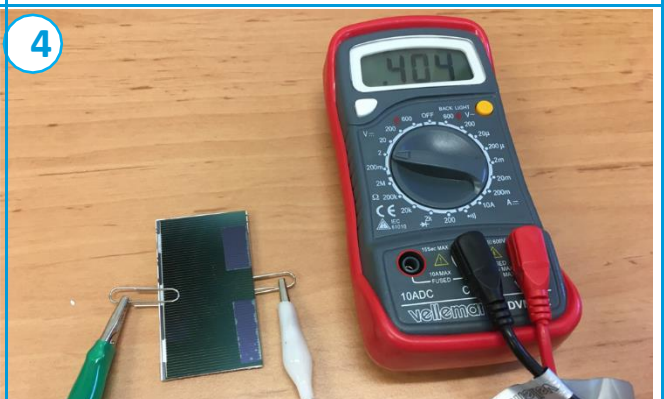
1 Je hebt een donkere doos nodig (20-30 cm lang is voldoende voor een kleine lamp).



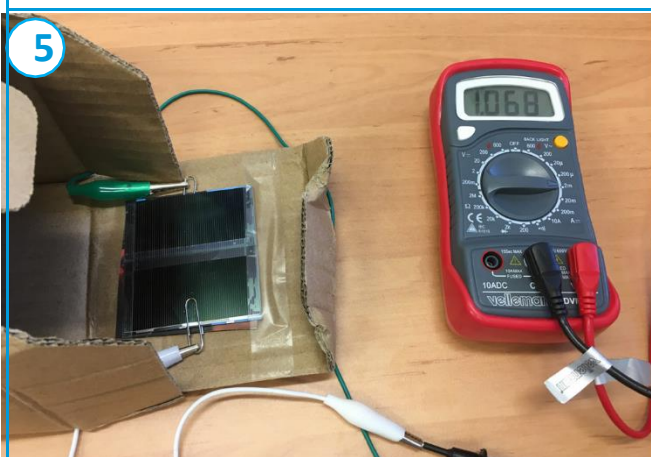
2 Je hebt ook een zonnecel nodig.



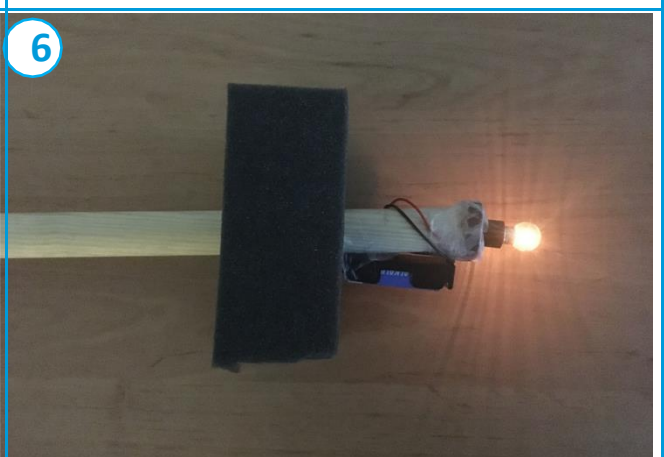
3 Sluit de krokodillendraden aan op de zonnecel. Afhankelijk van de zonnecel die je hebt, moet je misschien verbindingpunten maken voor de krokodillendraden. Een eenvoudige manier om dit te doen is met paperclips.



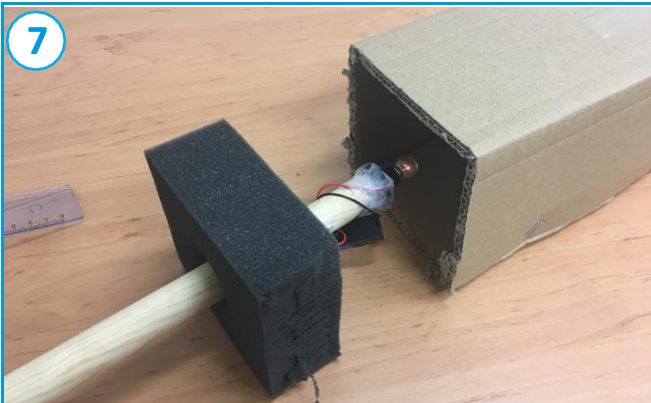
4 Test of je zonnecel goed werkt door een ampèremeter in serie en een voltmeter parallel aan te sluiten (of door een multimeter aan te sluiten). De stroom en het elektrische potentiaalverschil moeten worden afgelezen.



5 Bevestig de zonnecel aan de binnenkant van de doos zoals aangegeven in de afbeelding. Sluit de doos.



6 Plaats het kleine lampje met een batterij aan het uiteinde van een staaf. Knip een stuk materiaal uit in de afmetingen van de doorsnede van de doos om het licht dat van achter de lichtbron komt te blokkeren, zoals op de afbeelding.



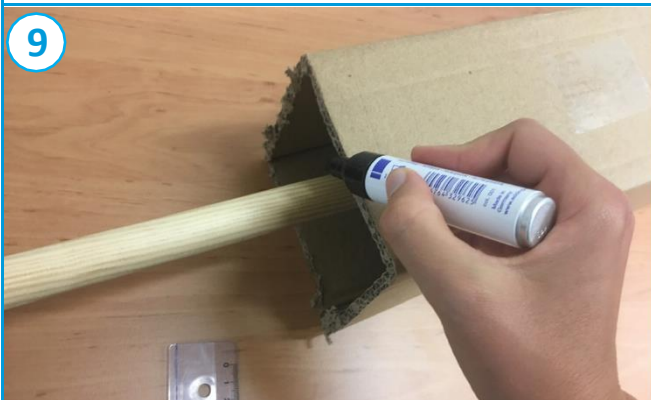
7

Zet de lichtbron aan en steek de staaf in de doos. Laat het donkere schuim zo strak mogelijk in de doos passen, indien nodig de doos licht isoleren met donkere sellotape of voer de metingen uit in een donkere kamer.



8

Steek de staaf voorzichtig in de doos totdat de lichtbron de zonnecel raakt. Pas op dat de zonnecel niet breekt.



9

Noteer deze beginpositie op de staaf met een stift of bevestig een meetlint aan de staaf en noteer de waarde.



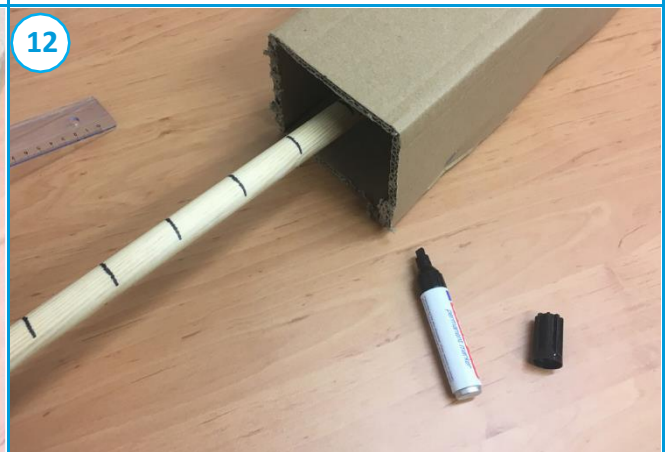
10

Je bent klaar met het opzetten van het experiment. Controleer of alle apparatuur werkt en goed is aangesloten.



11

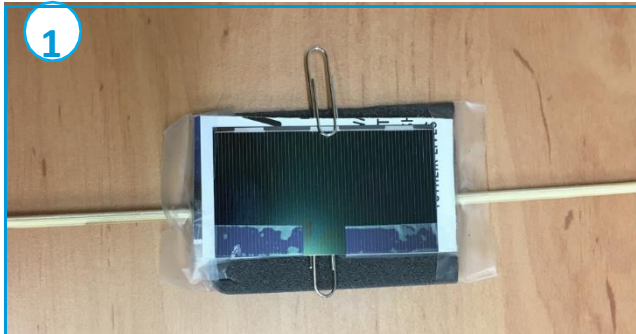
Beweeg de lichtbron 5 cm van de zonnecel vandaan. Noteer de meting van de stroom en het elektrische potentiaalverschil in tabel 1 op je werkblad.



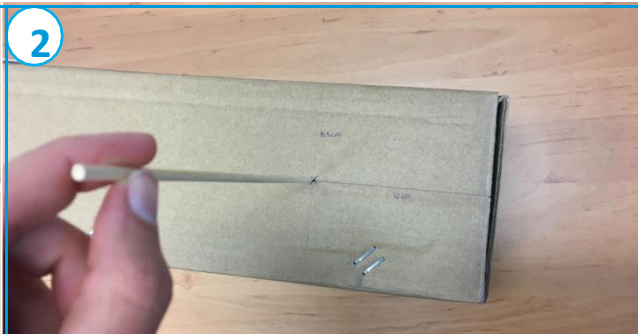
12

Verplaats de lichtbron telkens 1 cm van het zonnepaneel totdat de lichtbron zich aan het einde van de doos bevindt. Noteer het elektrische potentiaalverschil en de stroom op elke plaats. Herhaal de metingen twee keer met dezelfde omstandigheden en afstanden.

→ Bijlage 2 – Invalshoek



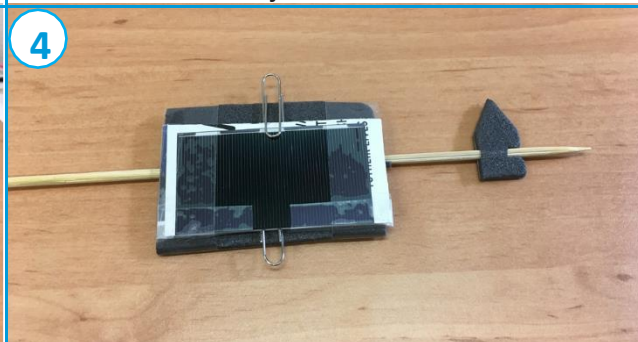
1 Gebruik de uitrusting van activiteit 1. Bevestig de zonnecel aan een klein stokje. Zo kan hij in de doos worden gedraaid. De draaias moet in het midden van de zonnecel liggen.



2 Gebruik de doos van activiteit 1. Markeer een punt op de zijkant van de doos waar het stokje doorheen moet. Zorg ervoor dat het verticaal gecentreerd is met dezelfde afstand tot de boven- en onderkant. Zorg ervoor dat de zonnecel genoeg ruimte heeft om vrij te draaien.



3 Markeer de hoeken 0°, 30°, 45°, 60° en 90° graden met de verticale as aan één kant van de doos (of bevestig een gradenboog).



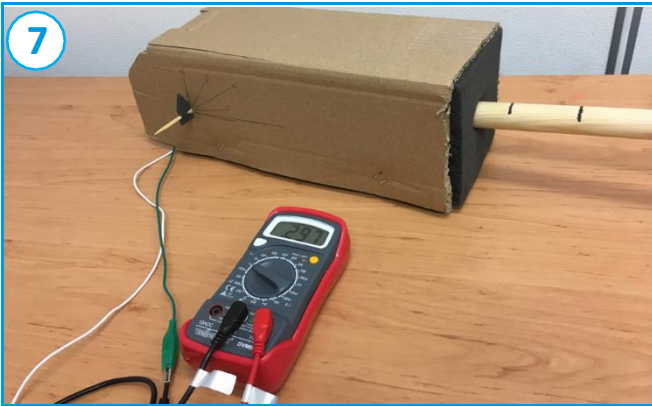
4 Bevestig een stuk karton op de stok met dezelfde oriëntatie als de zonnecel. Dit zit aan de buitenkant van de doos en geeft de hoek van de zonnecel in de gesloten doos aan.



5 Plaats de zonnecel in de doos en sluit een ampèremeter in serie en een voltmeter parallel aan (of sluit een multimeter aan). Sluit de doos.



6 Zet de lichtbron aan en plaats hem in de doos. De afstand tussen de lichtbron en de zonnecel moet ongeveer 10 cm bedragen. Deze afstand moet gedurende het hele experiment constant blijven (de staaf mag niet worden bewogen).



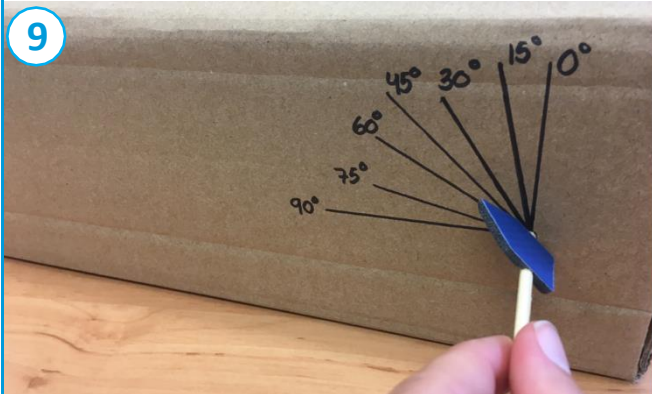
7

Test of het werkt.



8

Meet de stroom en het elektrische potentiaalverschil wanneer de zonnecel loodrecht op de lichtbron staat (invalshoek 0°). Noteer je metingen in tabel 2 van je werkblad.



9

Kantel de zonnecel geleidelijk door het stokje te draaien en de hoek op de zijkant af te lezen. Meet bij elke hoek de stroom en het elektrische potentiaalverschil en noteer ze in tabel 2 van het werkblad.



10

Verdraai de zonnecel totdat deze parallel staat met de lichtbron (invalshoek 90°). Meet de stroom en het elektrische potentiaalverschil op deze plaats en noteer ze in tabel 2. Herhaal het experiment nog twee keer.