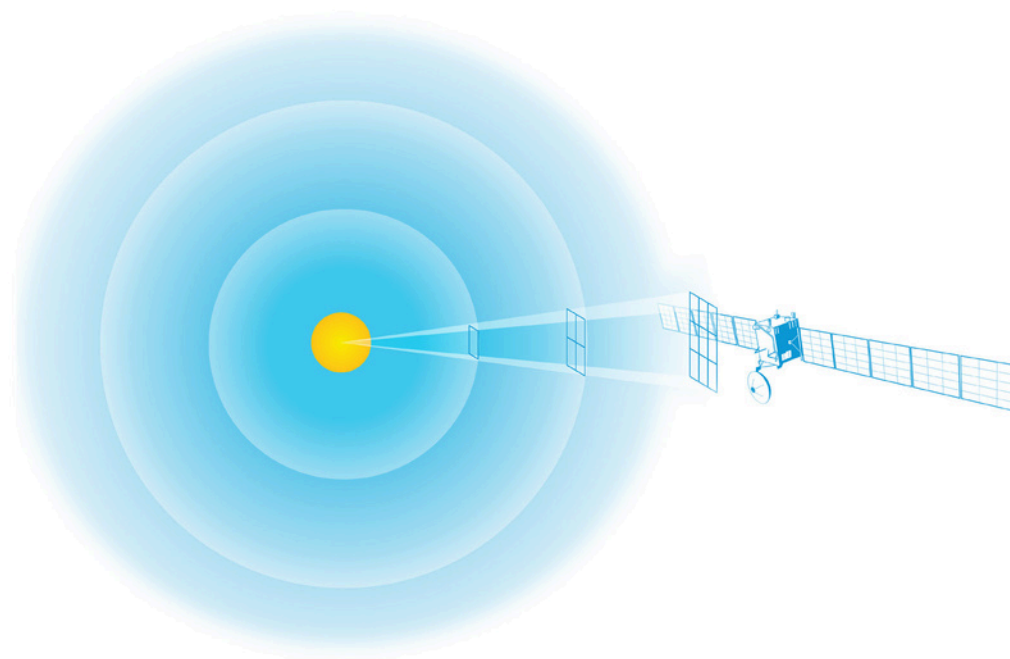
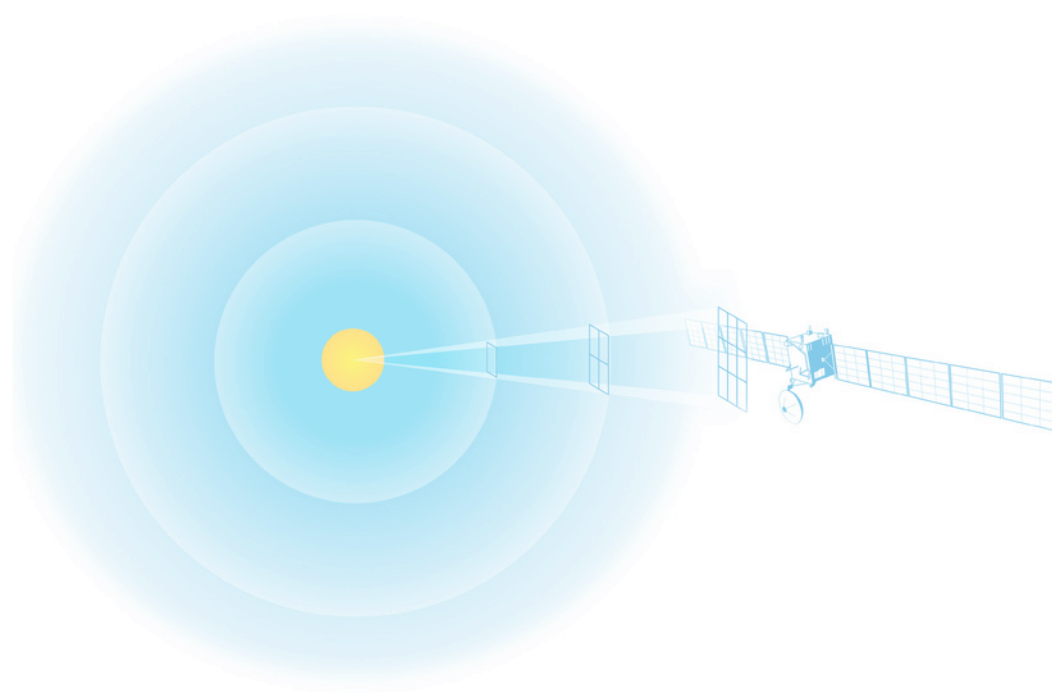


să învățăm prin spațiu

→ ENERGIA SOLARĂ

Explorarea spațiului cu ajutorul energiei solare





Ghid pentru profesori

Informații esențiale	pagina 3
Prezentarea activităților	pagina 4
Introducere	pagina 5
Activitatea 1: Legea inversului pătratului	pagina 7
Activitatea 2: Unghiul de incidență	pagina 9
Activitatea 3: Explorarea spațiului cu ajutorul energiei solare	pagina 11
Fișe de lucru pentru elevi	pagina 13
Resurse online	pagina 21
Anexa 1: Legea inversului pătratului	pagina 22
Anexa 2: Unghiul de incidență	pagina 24

Să învățăm prin spațiu - Energia solară | P09
www.esa.int/education

Biroul pentru Educație al ESA așteaptă cu interes sugestiile și comentariile dumneavoastră

teachers@esa.int

Material realizat de Biroul pentru Educație al ESA
Copyright 2018 © Agenția Spațială Europeană

→ ENERGIA SOLARĂ

Explorarea spațiului cu ajutorul energiei solare

Pe scurt

Disciplina: Fizică

Vârsta: 14 - 18 ani

Tip: activitate pentru elevi

Nivel de dificultate: mediu

Cost: redus

Timp de pregătire pentru profesor: 1 oră

Durata lecției: 1 oră și 30 de minute (plus 20 de minute pentru pregătirea experimentului)

Locul desfășurării: sala de clasă

Include utilizarea: celulelor solare

Cuvinte-cheie: fizică, energie solară, legea inversului pătratului, intensitatea luminii, unghiul de incidență, Sistemul Solar

Brief description

În această serie de activități, elevii vor învăța despre două concepte care influențează proiectarea panourilor solare pentru misiunile spațiale: legea inversului pătratului și unghiul de incidență. Elevii vor realiza două experimente simple, folosind o celulă fotovoltaică (celulă solară) și o sursă de lumină. Mai întâi, vor măsura modul în care puterea produsă de celula solară variază în funcție de distanța față de sursa de lumină și vor încerca să determine experimental legea inversului pătratului pentru intensitatea luminii. Apoi, vor realiza un al doilea experiment pentru a investiga modul în care puterea produsă de celula solară depinde de unghiul de incidență al luminii. La final, elevii vor aplica aceste concepte în contextul unor misiuni spațiale reale ale ESA.

Learning objectives

- Înțelegerea și calcularea intensității luminii.
- Înțelegerea unghiului de incidență.
- Familiarizarea cu celulele solare.
- Realizarea unor experimente practice pentru a investiga legea inversului pătratului în cazul luminii și influența unghiului de incidență.
- Analizarea datelor și reprezentarea lor grafică.
- Realizarea unor circuite electrice simple folosind celule solare.
- Familiarizarea cu noțiunile de diferență de potențial electric, intensitate a curentului electric, putere și intensitate a luminii.
- Investigarea necesarului de energie solară pentru misiunile spațiale.

→ Prezentarea activităților

Prezentarea activităților					
	Titlu	Descriere	Rezultate așteptate	Materiale	Durată
1	Legea inversului pătratului	Studierea experimentală a legii inversului pătratului pentru intensitatea luminii.	Înțelegerea legii inversului pătratului și a modului în care aceasta influențează puterea produsă de celulele solare.	Niciunul	20 de minute pentru pregătire 30 de minute pentru activitate
2	Unghiul de incidență	Studierea experimentală a unghiului de incidență.	Înțelegerea unghiului de incidență și a modului în care acesta influențează puterea produsă de celulele solare.	Se recomandă parcurgerea în prealabil a Activității 1	30 de minute
3	Explorarea spațiului cu ajutorul energiei solare	Aplicarea legii inversului pătratului în contextul unor misiuni spațiale reale ale ESA.	Înțelegerea avantajelor și dezavantajelor utilizării energiei solare în explorarea spațiului.	Se recomandă parcurgerea în prealabil a Activității 1	30 de minute

→ Introducere

Energia solară este utilizată frecvent pentru alimentarea misiunilor spațiale, deoarece este singura sursă de energie care nu trebuie transportată în spațiu odată cu vehiculul spațial și care îi poate furniza energie timp de mai mulți ani. În acest material, vom investiga doi factori importanți care trebuie luați în considerare la proiectarea panourilor solare pentru misiunile spațiale: legea inversului pătratului și unghiul de incidență.

Legea inversului pătratului

Legea inversului pătratului afirmă că valoarea unei mărimi fizice este invers proporțională cu pătratul distanței față de sursa acelei mărimi fizice. Unul dintre cele mai cunoscute exemple este legea inversului pătratului aplicată luminii: fluxul primit de la o sursă de lumină este invers proporțional cu pătratul distanței față de aceasta. În cazul luminii, fluxul reprezintă puterea radiantă care traversează o anumită suprafață. Pentru o sursă de lumină sferică, precum Soarele, fluxul este echivalent cu intensitatea radiației (I). Soarele emite lumină uniform în toate direcțiile, astfel încât intensitatea radiației respectă legea inversului pătratului în funcție de distanța față de Soare. În acest caz, legea inversului pătratului poate fi exprimată prin următoarea ecuație:

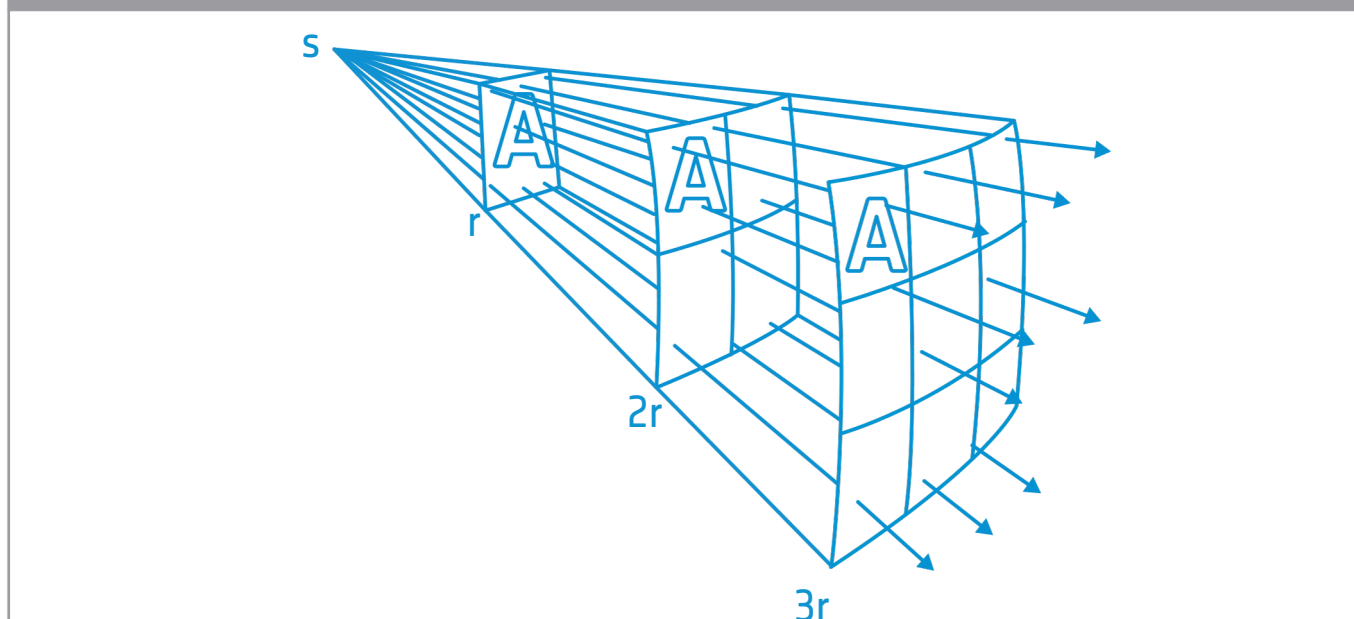
$$I \propto \frac{1}{r^2}$$

I = intensitatea radiației solare

r = distanța față de Soare

Aceasta înseamnă că, dacă o planetă sau un vehicul spațial se află la o distanță de două ori mai mare față de Soare decât Pământul, intensitatea radiației solare va fi de numai un sfert din cea măsurată pe Pământ (Figura 1).

Figura 1

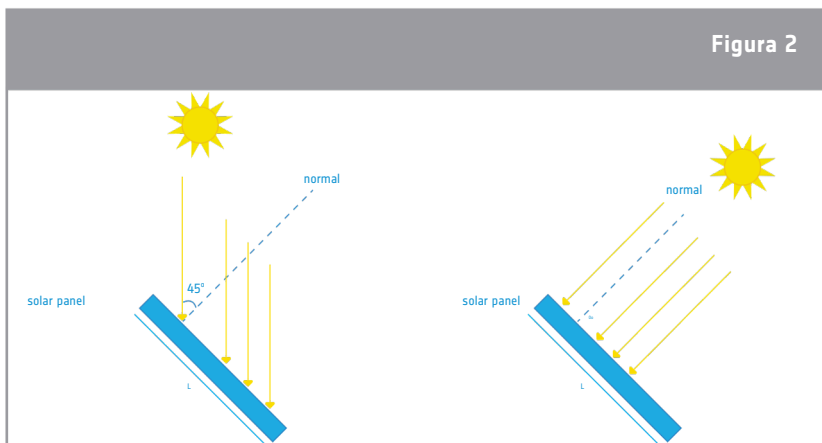


↑ Soarele, aflat în punctul S, emite lumină uniform în toate direcțiile. La distanța r , lumina se distribuie pe o suprafață A . Când distanța se dublează ($2r$), suprafața devine de patru ori mai mare ($4A$), iar când distanța se triplează, suprafața devine de nouă ori mai mare ($9A$).

Înțelegerea legii inversului pătratului are implicații importante pentru misiunile spațiale care utilizează energia solară. Cu cât un vehicul spațial alimentat cu energie solară se află mai departe de Soare, cu atât suprafața panourilor sale solare trebuie să fie mai mare pentru a asigura același necesar de putere.

Unghiul de incidență

Unghiul de incidență, θ , al luminii solare pe un panou solar reprezintă, de asemenea, un factor important pentru producerea energiei. Un panou solar va capta energia solară cel mai eficient atunci când razele Soarelui sunt perpendiculare pe suprafața panoului, corespunzând unui unghi de incidență de 0° , deoarece astfel suprafața efectivă de captare este maximă (vezi Figura 2). Pentru un panou solar cu lungimea L , suprafața efectivă de captare este egală cu $L \cdot \cos(\theta)$, astfel încât și intensitatea radiației care ajunge pe panoul solar este proporțională cu $L \cdot \cos(\theta)$.



↑ Un unghi de incidență de 45° (stânga) și de 0° (dreapta). Unghiul de incidență este de 0° .

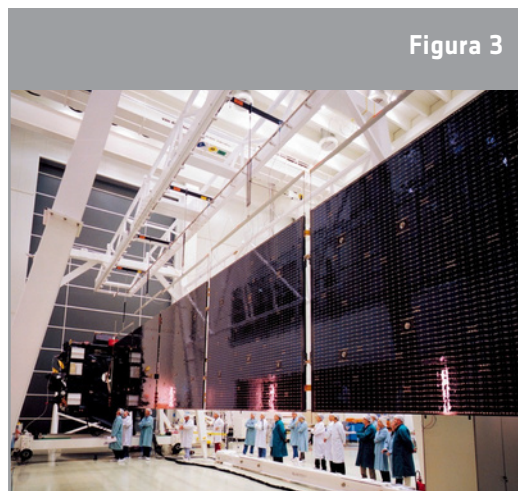
În cazul misiunilor spațiale, unghiul de incidență al luminii solare este un factor esențial. Multe vehicule spațiale sunt echipate cu panouri solare orientabile, care permit reducerea unghiului de incidență al luminii solare și, astfel, maximizarea producției de energie.

Energia solară pentru misiunile spațiale

Exemple privind modul în care legea inversului pătratului distanței și unghiul de incidență influențează proiectarea misiunilor spațiale.

Rosetta

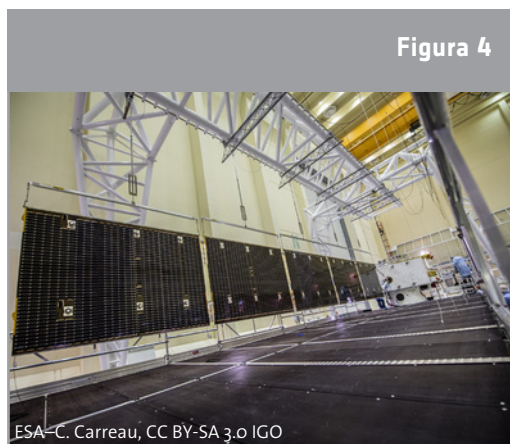
Misiunea Rosetta a ESA a călătorit timp de peste 10 ani pentru a ajunge la cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko. În punctul cel mai îndepărtat al călătoriei sale, Rosetta s-a aflat la 800 de milioane de kilometri de Soare, unde intensitatea luminii solare reprezintă doar 4% din cea recepționată de Pământ. Rosetta a fost prima misiune care a călătorit dincolo de centura principală de asteroizi bazându-se exclusiv pe celule solare pentru producerea energiei electrice. Panourile sale solare aveau o anvergură de 32 de metri și o suprafață totală de 64 m^2 (vezi Figura 3).



↑ Sonda spațială Rosetta, cu unul dintre cele două panouri solare complet desfășurat.

BepiColombo

O mare parte din lumina care ajunge la panourile solare este transformată în căldură. Misiunea BepiColombo a ESA către Mercur va ajunge foarte aproape de Soare și, prin urmare, efectul de încălzire va fi foarte puternic. Dacă panourile solare ale sondei BepiColombo ar fi orientate direct spre Soare mai mult de câteva secunde, materialele s-ar deteriora, iar panourile solare ar înceta să funcționeze. Pentru a menține panourile solare la o temperatură mai scăzută (în jur de 200°C), acestea sunt înclinate astfel încât să nu fie orientate direct spre Soare. Pentru a produce energia electrică necesară misiunii BepiColombo, panourile solare trebuie să fie mult mai mari decât ar rezulta dacă suprafața lor ar fi calculată doar pe baza legii inversului pătratului distanței. În cazul BepiColombo, panourile solare trebuie să aibă o suprafață de 42 m^2 (vezi Figura 4).



↑ Desfășurarea panoului solar al modului de transfer către Mercur al misiunii BepiColombo.

→ Activitatea 1 - Legea inversului pătratului distanței

În această activitate practică, elevii vor calcula puterea generată de un panou solar prin măsurarea intensității curentului electric și a tensiunii electrice și vor încerca să determine legea inversului pătratului distanței pe baza măsurărilor experimentale.

Materiale necesare

- Fișa de activitate pentru elevi și Anexa 1, tipărite pentru fiecare grupă
- O cutie închisă la culoare (deschisă la un capăt)
- Cabluri electrice
- Bandă adezivă transparentă
- Sursă de lumină (bec mic, 4,5 V, 0,3 A)
- Riglă
- Tijă de 30 cm (de exemplu, un băț din lemn)
- Material pentru blocarea luminii (de exemplu, burete, material textil)
- Ampermetru și voltmetru (sau un multimetru)
- Cabluri cu clești crocodil

Exercițiu

Împărțiți elevii în grupe de câte 3–4. Distribuiți fiecărei grupe Fișa de activitate și Anexa 1. Înainte de a începe experimentul, prezentați-le elevilor conceptul de intensitate a radiației.

Pregătirea experimentului

Mai întâi, elevii vor trebui să pregătească experimentul. Cereți-le să parcurgă pașii 1–9 din Anexa 1. La pasul 9, asigurați-vă că elevii marchează distanța zero în poziția în care sursa de lumină atinge celula solară. După finalizarea montajului experimental, elevii trebuie să verifice dacă toate echipamentele funcționează și sunt conectate corect.

Experiment

Elevii trebuie să măsoare tensiunea electrică (U) și intensitatea curentului electric (I), urmând pașii 10–12 din Anexa 1, și să înregistreze datele obținute în Tabelul 1 din Fișa de activitate.

Înainte de prima măsurătoare, elevii trebuie să retragă tija cu cel puțin 5 cm. Pentru fiecare măsurătoare ulterioară, elevii trebuie să îndepărteze sursa de lumină cu câte 1 cm, până când ajung la o distanță de aproximativ 30 cm. În mod ideal, elevii ar trebui să efectueze măsurători pentru 20–30 de distanțe diferite. Se pot utiliza și intervale mai mari, însă puterea generată poate scădea prea rapid pentru a putea observa legea inversului pătratului distanței. Această variație depinde de sursa de lumină și de celulele solare utilizate. Vă recomandăm să testați în prealabil distanțele optime, înainte de a realiza experimentul împreună cu elevii.

Cereți-le elevilor să repete măsurătorile de încă două ori și să calculeze media valorilor obținute. Discutați cu elevii despre fiabilitatea rezultatelor și despre procesul științific.

Cereți-le elevilor să completeze Tabelul 1 din Fișa de activitate, calculând puterea generată:

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

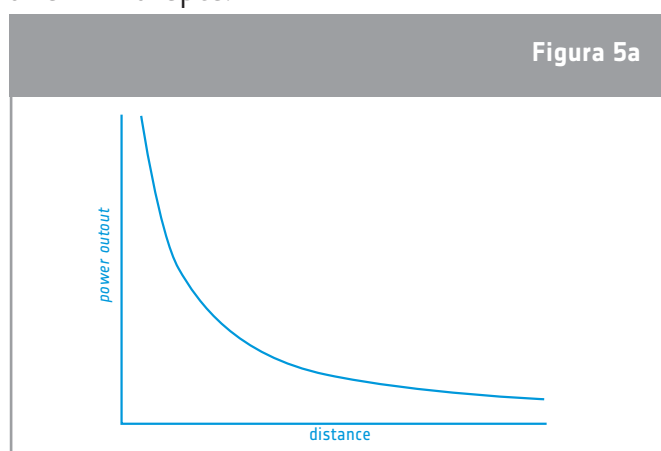
Rezultate

Pentru analiza acestor rezultate, presupunem că puterea produsă de celulele solare este direct proporțională cu puterea primită de acestea (puterea produsă = puterea primită × randamentul celulei). Puterea primită este proporțională cu intensitatea luminii provenite de la sursa de lumină (deoarece intensitatea = putere/suprafață, iar suprafața rămâne aceeași pe tot parcursul experimentului). Prin urmare, putem spune că puterea produsă de celula fotovoltaică este proporțională cu intensitatea luminii.

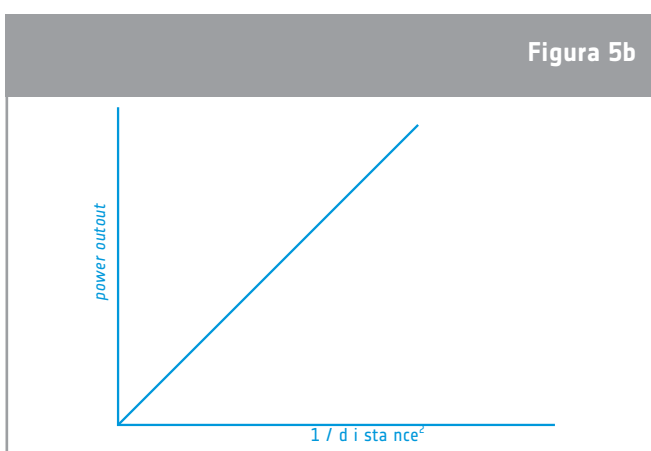
Pentru a respecta legea inversului pătratului distanței, puterea produsă de panoul solar (P) trebuie să fie proporțională cu inversul pătratului distanței (r).

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

Pentru a analiza datele obținute, elevii trebuie să reprezinte grafic puterea în funcție de distanță (Figura 5a) și puterea în funcție de $1/\text{distanță}^2$ (Figura 5b). Cel de-al doilea grafic ar trebui să aibă forma unei linii drepte.



↑ Graficul estimat al puterii generate în funcție de distanță.



↑ Graficul estimat al puterii generate în funcție de $1/\text{distanță}^2$.

Este posibil ca rezultatele obținute de elevi să nu respecte cu exactitate legea inversului pătratului distanței. Iată câțiva dintre factorii care pot influența rezultatele:

- Cutia poate să nu fie complet întunecată, iar variațiile luminii din exterior pot influența măsurătorile.
- În acest montaj experimental, măsurarea distanței poate avea o eroare semnificativă.
- În interiorul cutiei poate avea loc împrăștierea luminii.
- Rezistența internă a celulei solare poate varia pe parcursul experimentului.
- Măsurătorile efectuate la distanțe mici față de celula solară pot să nu respecte legea inversului pătratului distanței, deoarece sursa de lumină nu poate fi aproximată ca o sursă punctiformă.

În concluzie, elevii ar trebui să constate că, dacă dublăm distanța față de sursa de lumină, avem nevoie de panouri solare cu o suprafață de 4 ori mai mare pentru a produce aceeași cantitate de energie.

→ Activitatea 2 - Unghiul de incidență

În această activitate, elevii vor învăța despre importanța unghiului de incidență și despre avantajele orientării optime a celulelor solare. Prin intermediul unui experiment, vor măsura modul în care unghiul de incidență influențează puterea generată.

Materiale necesare

- Fișa de activitate pentru elevi și Anexa 2, tipărite pentru fiecare grupă
- Montajul experimental din Activitatea 1 (vezi Anexa 2)
- Tijă pentru rotirea celulei solare (de exemplu, o frigăruie din lemn)
- Raportor

Exercițiu

Pentru această activitate, împărțiți din nou elevii în grupe de câte 3 - 4. Distribuiți fiecărei grupe Fișa de activitate și Anexa 2.

Before starting the experiment, introduce the students to the concept of angle of incidence.

Pregătirea experimentului

Activitatea 2 este o continuare a Activității 1. Elevii vor trebui să adapteze montajul experimental astfel încât să poată înclina panoul solar la un anumit unghi. Cereți-le elevilor să modifice montajul din Activitatea 1, urmând pașii 1 - 7 din Anexa 2. Înainte de a începe măsurătorile, elevii trebuie să se asigure că toate echipamentele funcționează și sunt conectate corect.

Experiment

Elevii trebuie să efectueze măsurătorile conform pașilor 8 - 10 din Anexa 2 și să înregistreze rezultatele în Tabelul 2 din Fișa de activitate. Cereți-le elevilor să repete măsurătorile de încă două ori, asigurându-se că mențin aceleași condiții experimentale, apoi să calculeze puterea medie pentru fiecare unghi de incidență.

¹Dacă elevii nu au realizat anterior Activitatea 1, cereți-le să urmeze instrucțiunile din Anexa 1 pentru realizarea montajului experimental, parcurgând pașii 1-7, cu excepția pasului 5, iar apoi să urmeze instrucțiunile din Anexa 2.

Resultate

Cereți-le elevilor să reprezinte grafic puterea medie în funcție de unghiul de incidență.

Pe baza datelor obținute, elevii ar trebui să constate că puterea generată este maximă atunci când panoul solar este perpendicular pe razele de lumină (unghiul de incidență = 0°).

Deși, în principiu, valoarea măsurată atunci când celula solară este paralelă cu razele de lumină (unghiul de incidență = 90°) ar trebui să fie zero, rezultatele experimentale nu vor indica această valoare, în principal din cauza împrăstierii luminii în interiorul cutiei.

Chiar și atunci când sursa de lumină este oprită, în circuit poate exista un curent rezidual măsurabil (curent de întuneric). În experimentele științifice care necesită măsurători precise, valorile obținute trebuie corectate prin scăderea acestei erori din valorile măsurate.

Dacă elevii înclină celulele solare astfel încât unghiurile de incidență să fie de -30° , -60° și -90° , ar trebui să obțină valori similare celor corespunzătoare unghiurilor pozitive, deoarece sistemul este simetric. Din punct de vedere experimental, rezultatele vor depinde de cât de bine este aliniat sistemul.

Unele dintre sursele de eroare au fost deja menționate în Activitatea 1. În această activitate, trebuie luate în considerare și incertitudinea asociată măsurării unghiului, precum și alinierea panoului solar în interiorul cutiei, ca posibile surse de eroare.

În concluzie, elevii trebuie să răspundă la întrebarea 9 din Fișa de activitate și să constate că, pentru a maximiza puterea generată de panoul solar, unghiul de incidență trebuie să fie cât mai apropiat de 0° . Ei pot propune un mecanism de urmărire a Soarelui, cu panouri solare care se rotesc și se înclină în funcție de mișcarea aparentă a Soarelui.

În aceste experimente, efectul de încălzire este neglijabil, deoarece puterea totală a becului este de numai câțiva wați. În cazul vehiculelor spațiale care se deplasează în apropierea Soarelui, precum BepiColombo, efectul de încălzire este semnificativ și are un impact major asupra proiectării misiunii. Un alt aspect care trebuie luat în considerare este faptul că, pe Pământ, panourile solare pot fi răcite de aer, ceea ce nu este posibil în vidul din spațiu.

→ Activitatea 3 - Explorarea spațiului cu ajutorul energiei solare

În această activitate, elevii vor exersa aplicarea legii inversului pătratului distanței în contextul unor misiuni spațiale reale ale ESA. Elevii vor descoperi modul în care această lege influențează dimensiunea necesară a panourilor solare și de ce unghiul de incidență este deosebit de important pentru misiunile care se apropie de Soare.

Resultate

1. Intensitatea luminii recepționate la distanța medie dintre Pământ și Soare ($I_{\text{Pământ}}$) poate fi calculată utilizând legea inversului pătratului distanței și valorile furnizate în Fișa de activitate:

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

2. La o distanță de 45 de milioane de kilometri față de Soare, intensitatea luminii se calculează astfel:

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

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

La această distanță față de Soare, intensitatea luminii este de 11 ori mai mare decât la distanța la care se află Pământul. Căldura intensă poate provoca deteriorări semnificative panourilor solare, motiv pentru care acestea trebuie menținute permanent înclinate față de direcția Soarelui. Din acest motiv, suprafața reală a panourilor solare, de 42 m², este mult mai mare decât ar fi necesar dacă acestea ar putea fi orientate direct spre Soare.

3. Traectoria sondei spațiale Rosetta a ESA a dus-o până la o distanță de 800 de milioane de kilometri față de Soare. La această distanță, intensitatea luminii se calculează astfel:

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

Comparativ cu $I_{\text{Pământ}}$:

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

Intensitatea luminii la o distanță de 800 de milioane de kilometri față de Soare este de aproximativ 3,5% din intensitatea luminii la distanța dintre Pământ și Soare.

4. Deși erau alcătuite din celule solare cu eficiență ridicată, panourile solare ale sondei Rosetta aveau o eficiență cuprinsă între 18% și 26%. Având în vedere și intensitatea redusă a luminii în punctul cel mai îndepărtat al orbitei sale, panourile solare ale sondei Rosetta trebuiau să aibă o suprafață foarte mare, de 64 m². Presupunând că singura variabilă ar fi diferența de intensitate a luminii, dacă Rosetta s-ar fi aflat pe o orbită la aceeași distanță față de Soare ca Pământul, suprafața panourilor solare ar fi fost de numai:

$$A_{\text{Pământ}} = 0.035 \times 64 \text{ m}^2 = 2.24 \text{ m}^2$$

5. Folosind legea inversului pătratului, intensitatea luminii la distanța la care se află Saturn este dată de:

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

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

Aceasta înseamnă că, la o distanță de 1,4 miliarde de kilometri față de Soare, panourile solare ar trebui să fie de 3,1 ori mai mari decât la o distanță de 800 de milioane de kilometri.

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

6. Necesarul de putere al misiunii Cassini-Huygens este de 2,2 ori mai mare decât cel al misiunii Rosetta (885 W / 395 W = 2,2), motiv pentru care aceasta a utilizat o sursă de energie nucleară, numită generator termoelectric cu radioizotopi. Dacă ar fi utilizat panouri solare, suprafața acestora ar fi trebuit să fie de 2,2 ori mai mare decât valoarea calculată la întrebarea 4.

$$A = 2.2 \times 198.4 \text{ m}^2 = 436.5 \text{ m}^2$$

7. The solar panels have a mass per square metre of:

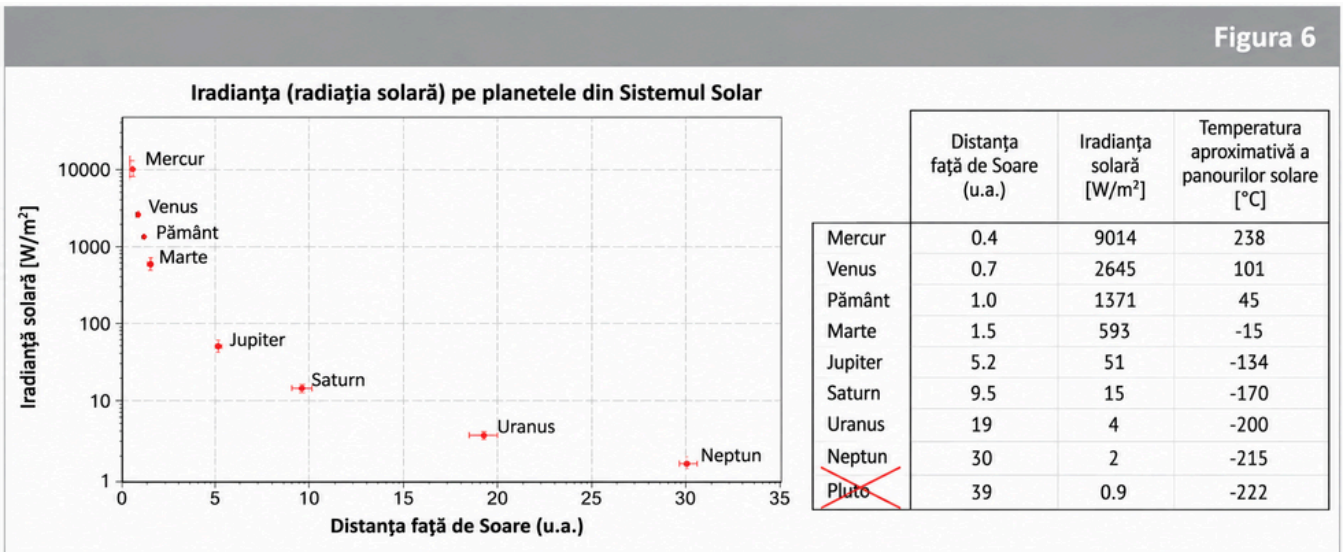
$$\frac{51.2 \text{ kg}}{64 \text{ m}^2} = 0.8 \text{ kg m}^{-2}$$

Prin urmare, masa totală a panourilor solare necesare pentru alimentarea sondei Cassini ar fi de aproximativ:

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

Generatoarele termoelectrice cu radioizotopi aveau o masă de 56,4 kg. Creșterea masei ar fi fost de 292,8 kg.

8. Energia solară este foarte importantă deoarece reprezintă o sursă de energie regenerabilă și nu trebuie transportată în spațiu odată cu vehiculul spațial. Conform legii inversului pătratului, intensitatea luminii scade rapid odată cu creșterea distanței față de Soare (vezi Figura 6). Aceasta înseamnă că, pe măsură ce distanța față de Soare crește, sunt necesare panouri solare cu suprafețe mai mari pentru a asigura necesarul de energie de la bord, iar dincolo de orbita lui Jupiter intensitatea luminii este, practic, prea redusă pentru utilizarea energiei solare.



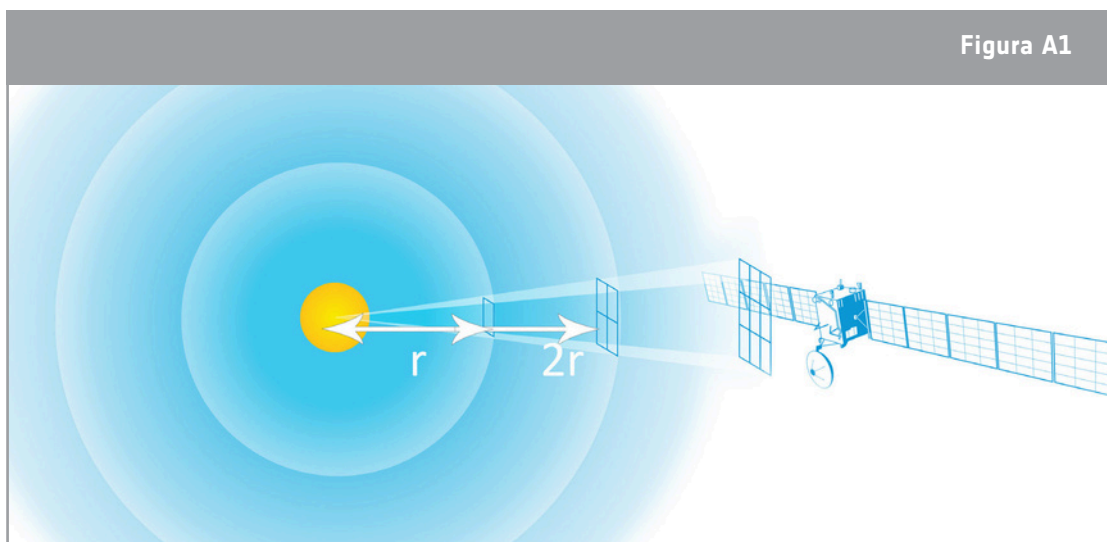
↑ Iradianța solară (intensitatea luminii) la nivelul planetelor din Sistemul Solar.

Așa cum s-a calculat la întrebarea 6, dacă sonda Cassini-Huygens ar fi utilizat panouri solare, acestea ar fi avut o masă de peste șase ori mai mare decât masa generatoarelor termoelectrice cu radioizotopi! Masa este un factor foarte important în explorarea spațiului, deoarece, pentru fiecare kilogram suplimentar, este necesară o cantitate mai mare de combustibil pentru a învinge atracția gravitațională a Pământului. Cu toate acestea, trebuie luate în considerare și cerințele de siguranță și securitate asociate în special utilizării energiei nucleare.

→ ENERGIA SOLARĂ

Explorarea spațiului cu ajutorul energiei solare

→ Activitatea 1: Legea inversului pătratului



↑ Soarele emite lumină uniform în toate direcțiile. La distanța r , lumina traversează o suprafață A , iar atunci când distanța se dublează ($2r$), aceeași cantitate de lumină se distribuie pe o suprafață de patru ori mai mare ($4A$).

Soarele emite lumină uniform în toate direcțiile (vezi Figura A1), astfel încât intensitatea luminii (I) la o anumită distanță (r) este egală cu puterea totală emisă de Soare, distribuită pe suprafața unei sfere cu raza (r), a cărei arie este $4\pi r^2$.

$$\text{Intensitatea radiației solare (W/m}^2\text{)} = \frac{\text{Puterea emisă de Soare (W)}}{4\pi r^2 \text{ (m}^2\text{)}} \quad (1)$$

În funcție de distanța față de Soare, vehiculele spațiale din Sistemul Solar sunt expuse unor diferențe foarte mari în ceea ce privește cantitatea de lumină solară pe care o primesc.

Știi că?

Lansată în septembrie 2003, SMART-1 a devenit prima misiune a ESA către Lună. A fost prima misiune care a părăsit orbita Pământului utilizând exclusiv energie solară, deși deplasarea a fost lentă, stabilind un record de 13 luni pentru cea mai lungă călătorie către Lună. SMART-1 a stabilit, de asemenea, recordul pentru cel mai redus consum de combustibil pe kilometru dintre toate misiunile către Lună, obținând cea mai mare parte a energiei electrice de la panourile sale solare, fiecare având o lungime de aproximativ 7 m.



Experiment

În acest experiment, vei încerca să verifici experimental legea inversului pătratului pentru puterea produsă de o celulă solară.

- Pregătește experimentul urmând instrucțiunile din Anexa 1, de la pasul 1 la pasul 10.
- Verifică dacă toate echipamentele sunt conectate și funcționează corespunzător.
- Începe măsurătorile. Urmează instrucțiunile de la pașii 11 și 12.
- Notează în Tabelul 1 valorile măsurate pentru diferența de potențial electric (U) și intensitatea curentului electric (I).
- Repetă măsurătorile de încă două ori.
- Calculează puterea produsă de celula solară și completează Tabelul 1.

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

- Calculează puterea medie pentru fiecare distanță.

[illegible]

↑ Tabel pentru înregistrarea diferenței de potențial electric (U), a intensității curentului electric (I) și a puterii corespunzătoare (P)

1. Reprezintă grafic puterea medie în funcție de distanța față de sursa de lumină:



2. Puterea produsă de celula solară respectă legea inversului pătratului? Explică.

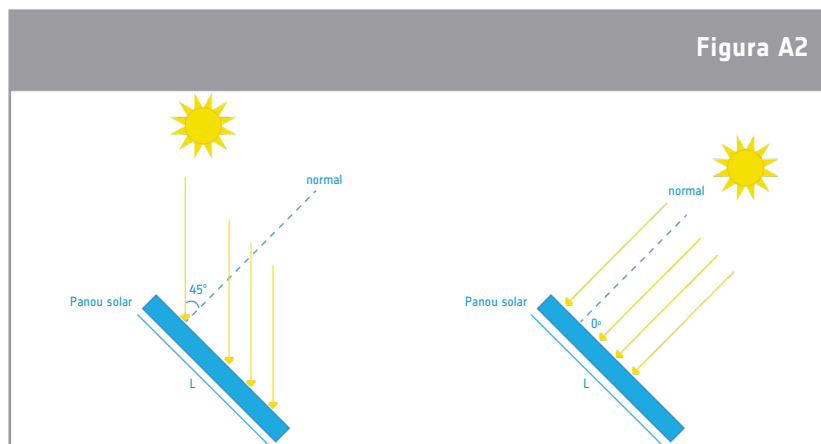
3. Ce incertitudini există în experimentul tău? Cum influențează acestea rezultatul?

4. Dacă dublăm distanța față de sursa de lumină, cât de mari trebuie să fie panourile solare pentru a produce aceeași putere?

- ☐ Acestea ar trebui să fie mai mici
- ☐ Acestea ar trebui să fie de 2 ori mai mari
- ☐ Acestea ar trebui să fie de 4 ori mai mari
- ☐ Acestea ar trebui să fie de 9 ori mai mari

→ Activitatea 2: Unghiul de incidență

Unghiul de incidență al luminii solare pe panourile solare este un factor important. Unghiul de incidență reprezintă unghiul dintre razele solare incidente și normala la suprafața panourilor solare. Atunci când razele Soarelui sunt perpendiculare pe panoul solar, unghiul de incidență este de 0°.



↑ Reprezentarea unui unghi de incidență de 45° (stânga) și de 0° (dreapta).

1. Înainte de a începe măsurătorile, estimează la ce unghi de incidență se va produce cea mai mare putere. Explică alegerea ta.

Experiment

În acest experiment, vei măsura în ce măsură unghiul de incidență influențează puterea produsă de celulele solare.

- Adaptează configurația experimentală din Activitatea 1, urmând pașii de la 1 la 7 din instrucțiunile prezentate în Anexa 2.
- Efectuează experimentul urmând instrucțiunile de la pașii 8–10 din Anexa 2. Notează în Tabelul 2 de mai jos valorile măsurate pentru diferența de potențial electric (U) și intensitatea curentului electric (I), pentru diferite unghiuri de incidență.
- Repetă măsurătorile de încă două ori.
- Calculează puterea produsă de celula solară și completează Tabelul 2.

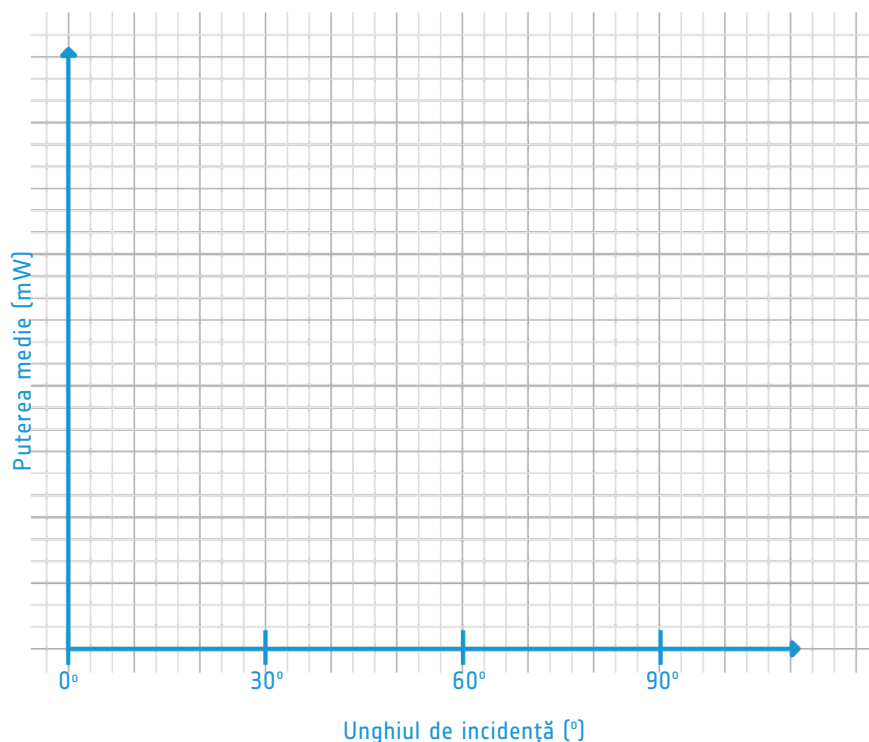
$$P(W) = I(A) * U(V)$$

- Calculează puterea medie pentru fiecare unghi de incidență.

Tabel 2										
Distance	Experiment 1			Experiment 2			Experiment 3			Medie
	U (V)	I (mA)	P (mW)	U (V)	I (mA)	P (mW)	U (V)	I (mA)	P (mW)	
0°										
30°										
45°										
60°										
90°										

↑ Înregistrarea diferenței de potențial electric (U), a intensității curentului electric (I) și a puterii (P) pentru diferite unghiuri de incidență.

2. Reprezintă grafic puterea medie în funcție de unghiul de incidență:



3. Ce unghi de incidență generează cea mai mare putere? _____

4. A fost corectă predicția ta de la întrebarea 1? Dacă nu, poți explica de ce rezultatul a fost diferit de cel estimat?

5. De ce crezi că puterea produsă nu este zero atunci când celula solară este paralelă cu direcția luminii? (Unghi de incidență = 90°)

6. Te aștepți să obții o anumită putere dacă efectuezi experimentul cu lampa stinsă? Testează-ți ipoteza și explică rezultatele obținute.

7. La ce valori ale puterii te-ai aștepta dacă ai efectua experimentul pentru unghiuri de incidență de -30° , -45° , -60° și -90° ? Explică răspunsul.

8. Care sunt principalele incertitudini ale experimentului? Există erori în măsurătorile tale?

9. Ai măsurat modul în care puterea depinde de unghiul de incidență. Cum ai construi panourile solare pentru a maximiza puterea produsă?

Știi că?

Stația Spațială Internațională (ISS) este alimentată cu energie de panouri solare. Imaginea din dreapta prezintă o parte dintre panourile solare ale ISS, unde pot locui simultan până la șase astronauți. Pe măsură ce ISS orbitează Pământul, panourile solare pot fi rotite pentru a fi orientate cât mai direct spre Soare. Panourile acoperă o suprafață de 2.500 m^2 - echivalentul a aproximativ jumătate din suprafața unui teren de fotbal!



→ Activitatea 3: Explorarea spațiului cu energie solară

Când este indicată utilizarea energiei solare pentru explorarea spațiului și cum putem folosi în avantajul nostru cunoștințele despre legea inversului pătratului și unghiul de incidență?

Misiunea Rosetta a ESA, care s-a îndepărtat până la 800 de milioane de kilometri de Soare, a avut nevoie de panouri solare de dimensiuni foarte mari pentru a produce suficientă energie pentru alimentarea sistemelor de la bord. În schimb, misiunea BepiColombo a ESA către Mercur se deplasează atât de aproape de Soare, încât este expusă unei cantități foarte mari de radiație, care poate deteriora panourile solare.

Exercițiu

1. Pământul se află la o distanță medie de aproximativ 150 de milioane de kilometri față de Soare. Puterea medie emisă de Soare este de $3,828 \times 10^{26}$ W. Folosește ecuația (1) din Activitatea 1 pentru a calcula intensitatea luminii la distanța la care se află Pământul ($I_{\text{Pământ}}$).

2. Distanța minimă a sondei BepiColombo față de Soare va fi de aproximativ 45 de milioane de kilometri. Pentru a reduce la minimum deteriorarea panourilor solare din cauza căldurii intense, acestea trebuie înclinate astfel încât să nu fie orientate direct spre Soare. Calculează intensitatea luminii ($I_{\text{BepiColombo}}$) la această distanță. Compar-o cu $I_{\text{Pământ}}$.

3. Distanța maximă a sondei Rosetta față de Soare a fost de 800 de milioane de kilometri. Calculează intensitatea luminii (I_{Rosetta}) la această distanță. Compar-o cu $I_{\text{Pământ}}$.

4. Având în vedere necesarul de energie și intensitatea scăzută a luminii în punctul cel mai îndepărtat al orbitei sale, panourile solare ale sondei Rosetta au trebuit să aibă o suprafață foarte mare, de 64 m². Ce suprafață ar trebui să aibă panourile solare dacă Rosetta s-ar afla la distanța Pământului față de Soare? Ia în considerare doar diferența de intensitate a luminii și presupune că toate celelalte variabile rămân constante.

5. Acum imaginează-ți că Rosetta pornește să exploreze Saturn, aflat la 1,4 miliarde de kilometri de Soare. Ce suprafață ar trebui să aibă panourile solare la această distanță? Ia în considerare doar diferența de intensitate a luminii și presupune că toate celelalte variabile rămân constante.

6. Ultima misiune către Saturn, Cassini-Huygens, a fost alimentată cu ajutorul generatoarelor termoelectrice cu radioizotopi (RTG). Cassini-Huygens avea nevoie de o putere de 885 W, în timp ce Rosetta avea nevoie de doar 395 W. Calculează suprafața panourilor solare care ar fi necesară pentru alimentarea sondei Cassini-Huygens (la distanța lui Saturn față de Soare), presupunând că acestea ar fi similare cu panourile solare ale sondei Rosetta.

7. Generatoarele termoelectrice cu radioizotopi utilizate pentru Cassini-Huygens aveau o masă de 56,4 kg. Panourile solare ale sondei Rosetta aveau o masă de 51,2 kg. Cu cât ar fi crescut masa sondei Cassini-Huygens dacă misiunea ar fi utilizat panourile solare calculate la întrebarea 5?

8. Care sunt avantajele și dezavantajele utilizării energiei solare pentru explorarea spațiului?

→ Resurse online

Resurse ESA

Provocarea Moon Camp

esa.int/Education/Moon_Camp

Animatii despre explorarea Lunii

esa.int/Education/Moon_Camp/Making_a_Home_on_the_Moon

Resurse educaționale ESA: esa.int/Education/Classroom_resources

Proiecte spațiale ESA

Misiunea Rosetta a ESA

esa.int/rosetta

Misiunea BepiColombo a ESA/JAXA

esa.int/Our_Activities/Space_Science/BepiColombo_overview2

Misiunea Cassini-Huygens

esa.int/Our_Activities/Space_Science/Cassini-Huygens

Informații tehnice referitoare la întrebări

Informații despre masa panourilor solare ale sondei Rosetta (pagina 10)

lpi.usra.edu/opag/nov_2007_meeting/presentations/solar_power.pdf

Puterea efectivă generată de Rosetta la 5,25 UA (395 W, 64 m²)

esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/The_Rosetta_orbiter

Specificații tehnice ale sondei spațiale Cassini

fas.org/nuke/space/bennetto706.pdf

Informații despre masa panourilor solare, estimată pe baza diapozitivului 10

lpi.usra.edu/opag/nov_2007_meeting/presentations/solar_power.pdf

Desfășurarea panourilor solare ale sondei BepiColombo

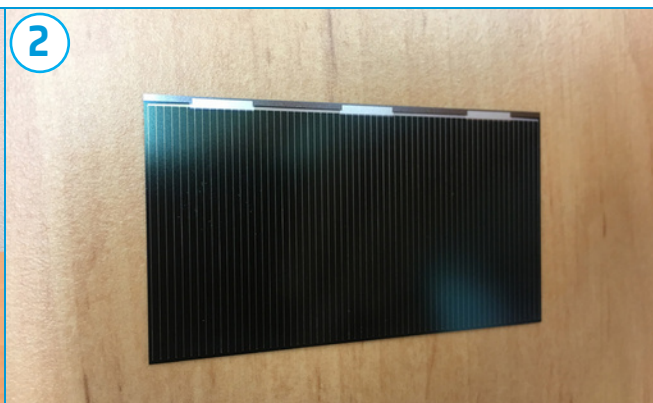
youtube.com/watch?v=Lhw4aojbkvs

→ Anexa 1 - Legea inversului pătratului



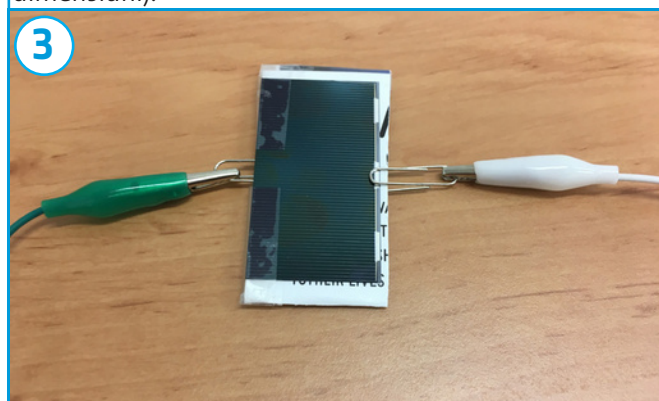
1

Vei avea nevoie de o cutie întunecată (o lungime de 20-30 cm este suficientă pentru un bec de mici dimensiuni).



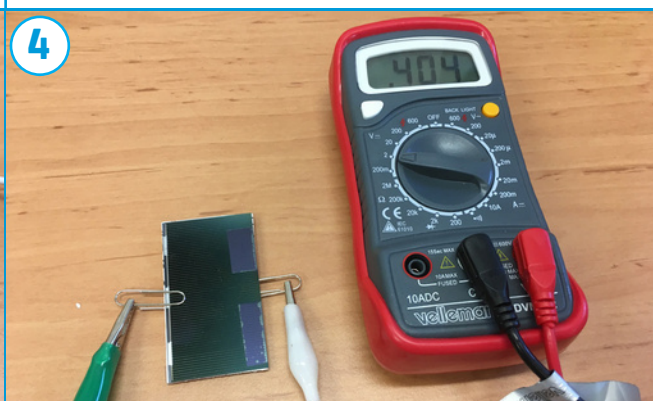
2

Vei avea nevoie și de o celulă solară.



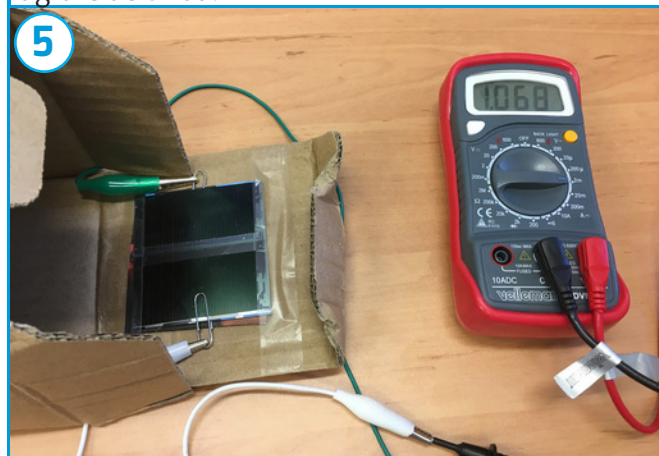
3

Conectează cablurile cu clești crocodil la celula solară. În funcție de tipul celulei solare pe care îl ai, este posibil să fie necesar să creezi puncte de conectare pentru cleștii crocodil. O modalitate simplă de a face acest lucru este să folosești agrafe de birou.



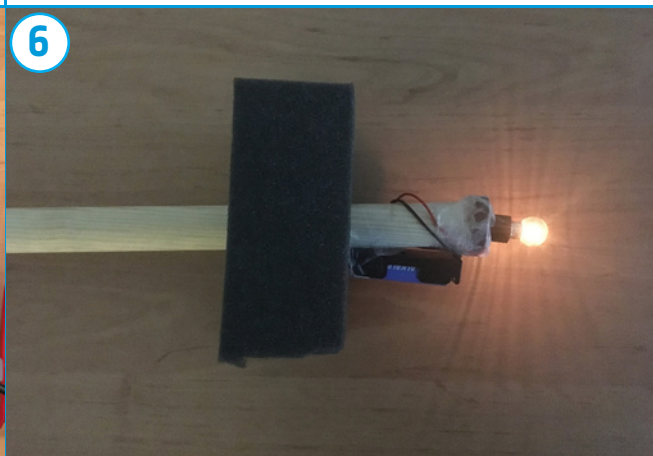
4

Verifică dacă celula solară funcționează corect conectând un ampermetru în serie și un voltmetru în paralel (sau folosind un multimetru). Ar trebui să obții valori pentru intensitatea curentului electric și diferența de potențial electric.



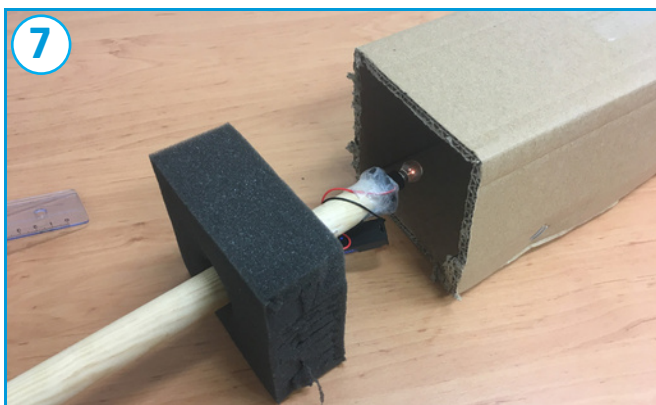
5

Fixează celula solară în interiorul cutiei, așa cum este indicat în imagine. Închide cutia.



6

Așază sursa de lumină de mici dimensiuni, alimentată de o baterie, la capătul unei tije. Decupează o bucată de material cu dimensiunile secțiunii transversale a cutiei, pentru a bloca orice lumină care ar putea pătrunde din spatele sursei de lumină, așa cum este indicat în imagine.



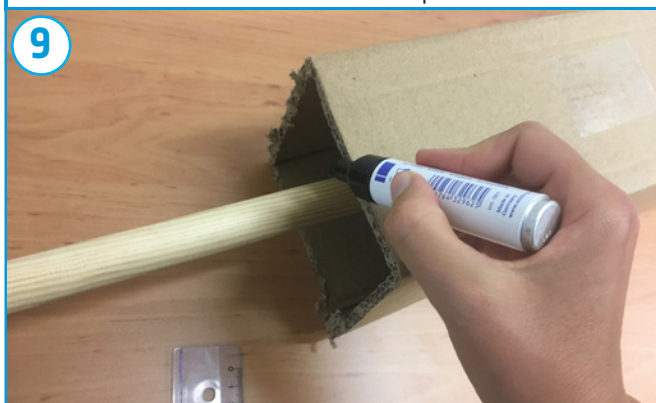
7

Pornește sursa de lumină și introdu tija în cutie. Asigură-te că materialul din spumă de culoare închisă se potrivește cât mai bine în interiorul cutiei. Dacă este necesar, izolează cutia împotriva pătrunderii luminii folosind bandă adezivă de culoare închisă sau efectuează măsurătorile într-o încăpere întunecată.



8

Introdu cu grijă tija în cutie până când sursa de lumină atinge celula solară. Ai grijă să nu deteriorezi celula solară.



9

Marchează această poziție inițială pe tija cu un marker sau fixează o ruletă pe tija și notează valoarea indicată.



10

Ai finalizat pregătirea experimentului. Asigură-te că toate echipamentele funcționează și sunt conectate corect.



11

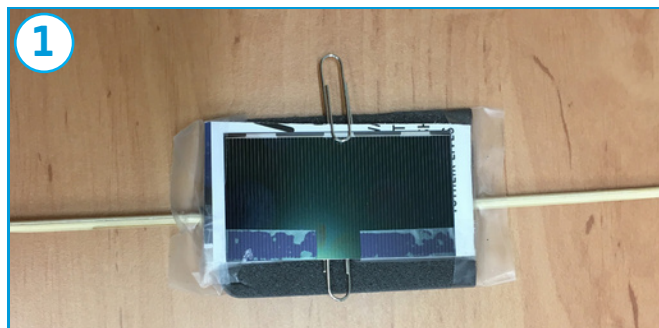
Îndepărtează sursa de lumină la 5 cm față de celula solară. Notează valorile măsurate pentru intensitatea curentului electric și diferența de potențial electric în Tabelul 1 din fișa de activitate.



12

Îndepărtează sursa de lumină de celula solară, câte 1 cm o dată, până când aceasta ajunge la capătul cutiei. Notează diferența de potențial electric și intensitatea curentului electric la fiecare poziție. Repetă măsurătorile de încă două ori, în aceleași condiții și la aceleași distanțe.

→ Anexa 2 - Unghiul de incidență



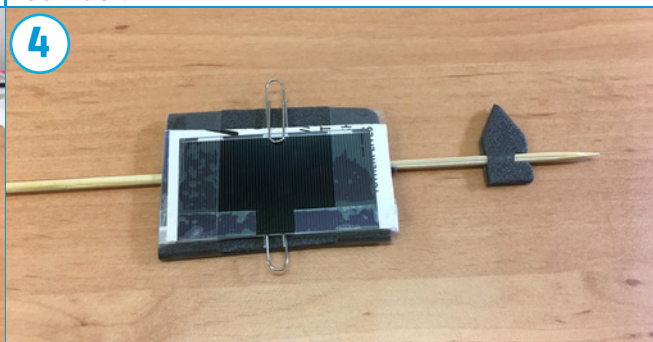
Folosește echipamentele din Activitatea 1. Fixează celula solară pe o tijă mică, astfel încât aceasta să poată fi rotită în interiorul cutiei. Axa de rotație trebuie să treacă prin centrul celulei solare.



Folosește cutia din Activitatea 1. Marchează pe una dintre laturile cutiei punctul prin care va trece tija. Asigură-te că acesta este poziționat la mijloc pe verticală, la aceeași distanță față de partea de sus și de partea de jos a cutiei. Verifică dacă celula solară are suficient spațiu pentru a se roti liber.



Mark the angles 0° , 30° , 45° , 60° and 90° degrees with the vertical axis on one side of the box (or attach a protractor).



Fixează pe tijă o bucată de carton, orientată în același mod ca celula solară. Aceasta va rămâne în exteriorul cutiei și va indica unghiul celulei solare aflate în interiorul cutiei închise.



Introdu celula solară în cutie și conectează un ampermetru în serie și un voltmetru în paralel (sau conectează un multimetru). Închide cutia.



Pornește sursa de lumină și introdu-o în cutie. Distanța dintre sursa de lumină și celula solară trebuie să fie de aproximativ 10 cm. Această distanță trebuie menținută constantă pe tot parcursul experimentului (tija nu trebuie deplasată).



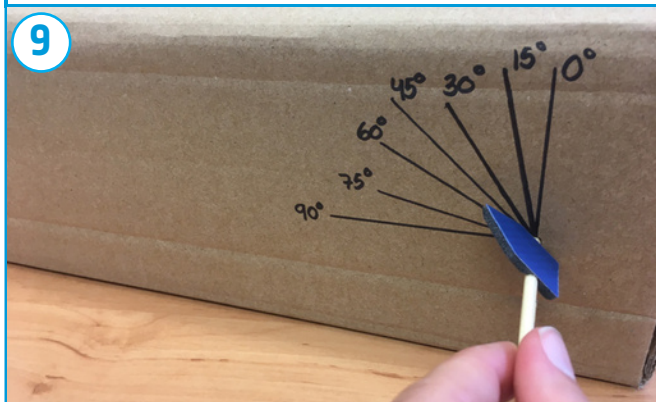
7

Verifică dacă sistemul funcționează corect.



8

Măsoară intensitatea curentului electric și diferența de potențial electric atunci când celula solară este perpendiculară pe direcția luminii (unghi de incidență de 0°). Notează valorile măsurate în Tabelul 2 din fișa de activitate.



9

Înclină treptat celula solară, rotind tija și urmărind unghiul indicat pe partea laterală a cutiei. Măsoară intensitatea curentului electric și diferența de potențial electric pentru fiecare unghi și notează valorile în Tabelul 2 din fișa de activitate.



10

Rotește celula solară până când aceasta este paralelă cu direcția luminii (unghi de incidență de 90°). Măsoară intensitatea curentului electric și diferența de potențial electric în această poziție și notează valorile în Tabelul 2. Repetă experimentul de încă două ori.