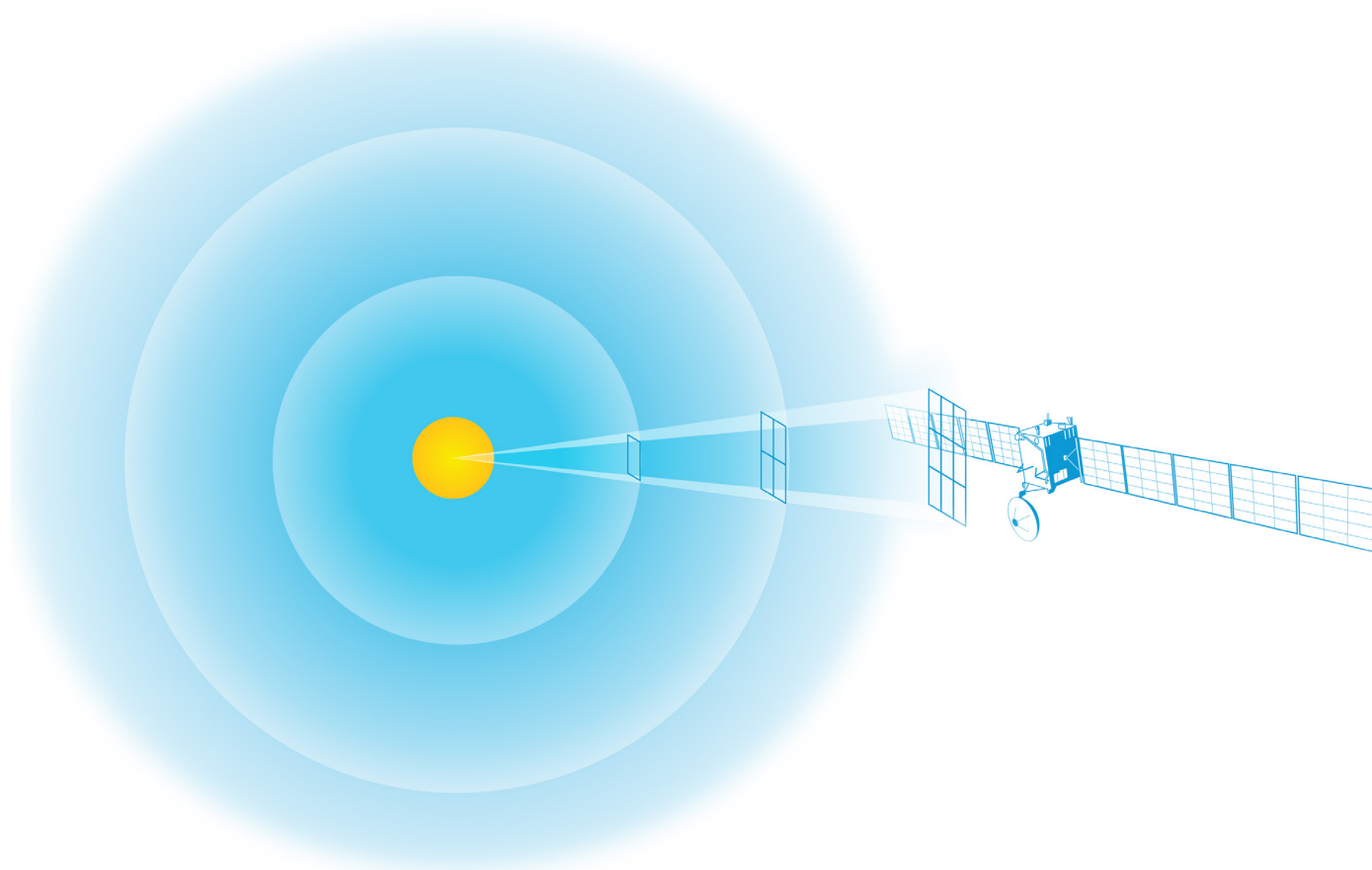
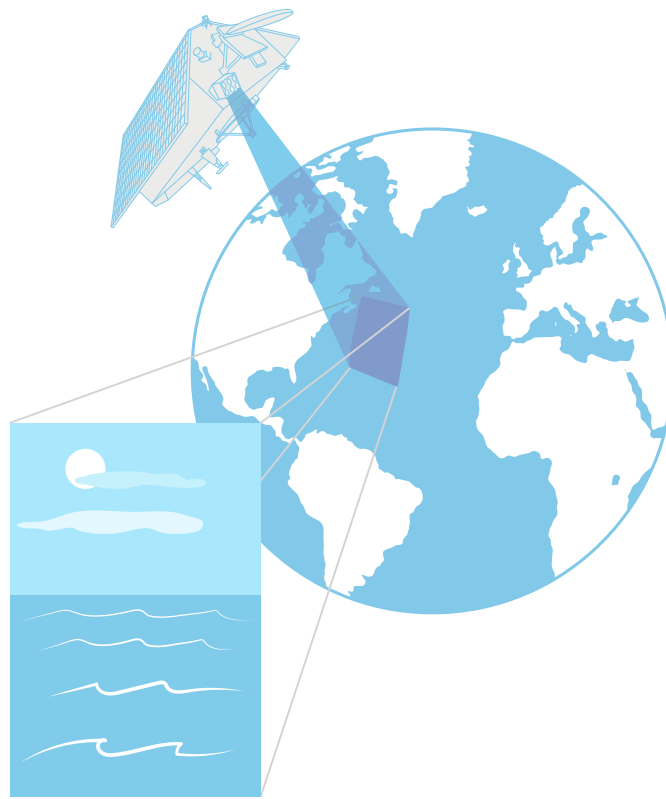


Lekcje z kosmosu

→ ENERGIA SŁONECZNA

Zasilanie misji kosmicznych energią słoneczną





Przewodnik nauczycielki/nauczyciela

Informacje podstawowe	3
Wprowadzenie.	5
Zadanie 1. Prawo odwrotnych kwadratów	9
Zadanie 2. Kąt padania	12
Zadanie 3. Eksploracja kosmosu a energia słoneczna	14
Arkusze ćwiczeń.	17
Linki.	26
Załącznik 1. Prawo odwrotnych kwadratów	27
Załącznik 2 – Kąt padania	29

Tytuł oryginału: Teach with space: Power from sunlight | P09
www.esa.int/education

Biuro Edukacji ESA zachęca do przesyłania komentarzy i opinii na adres:
teachers@esa.int

Opracowane przez Biuro Edukacji ESA
 Copyright 2018 © European Space Agency

→ Energia słoneczna

Zasilanie misji kosmicznych energią słoneczną

→ Informacje wstępne

Informacje podstawowe

Przedmiot: fizyka

Wiek: 14-18 lat

Rodzaj aktywności: ćwiczenia

Poziom trudności: średni

**Czas przygotowania się nauczycielki/
nauczyciela:** 1 godzina

Czas: 1h 30 min (dodatkowo 20 min na
przeprowadzenie eksperymentu)

Miejsce: sala lekcyjna

Dodatkowe materiały: ogniwa słoneczne

Słowa kluczowe: fizyka, energia słoneczna, prawo
odwrotnych kwadratów, natężenie światła, kąt
padania, Układ Słoneczny

Zakres i treść zajęć

Na podstawie tego zestawu ćwiczeń uczennice/uczniowie poznają dwa zagadnienia fizyczne, które mają wpływ na wykorzystanie paneli słonecznych podczas misji kosmicznych: prawo odwrotnych kwadratów oraz kąt padania. Przeprowadzą dwa proste eksperymenty z użyciem ogniw fotowoltaicznych (ogniw słonecznych) i źródła światła. W pierwszym zmierzą jak moc wytwarzana przez ogniwa słoneczne zmienia się wraz z odległością od źródła światła, i spróbują eksperymentalnie sprawdzić prawo odwrotnych kwadratów. Następnie uczniowie/uczennice przeprowadzą drugi eksperyment, aby zbadać zależność mocy wyjściowej danego ogniwa słonecznego w zależności od kąta padania światła. Na koniec uczennice/uczniowie zastosują te prawa na podstawie danych z przeprowadzonej prawdziwej misji kosmicznej ESA.

Uczennice/uczniowie dowiedzą się:

- czym jest natężenie światła i jak je obliczać
- czym jest kąt padania względem powierzchni
- więcej o ogniwach słonecznych
- jak w formie praktycznego eksperymentu zbadać działanie prawa odwrotnych kwadratów i jaki wpływ na wydajność energetyczną ogniw słonecznych ma kąt padania światła
- jak analizuje się i nanosi na wykres dane pomiarowe
- jak skonstruować prosty obieg elektryczny za pomocą ogniw fotowoltaicznych
- co znaczą pojęcia: różnica potencjałów elektrycznych, prąd elektryczny, moc i natężenie światła
- jakie są ograniczenia w wykorzystaniu energii słonecznej podczas misji kosmicznej

PODSUMOWANIE ZADAŃ

	Tytuł	Opis	Rezultat	Wymagania	Czas
1	Poznaj prawo odwrotnych kwadratów	Przeprowadzenie eksperymentu i poznanie założeń prawa odwrotnych kwadratów.	Zrozumienie, czym jest prawo odwrotnych kwadratów i jaki ma wpływ na wydajność energetyczną ogniw słonecznych.	Brak	20 min – przygotowanie eksperymentu, 30 min – wykonanie zadania
2	Czym jest kąt padania?	Przeprowadzenie eksperymentu i poznanie pojęcia kąta padania.	Zrozumienie, czym jest kąt padania i jaki ma wpływ na wydajność energetyczną ogniw słonecznych.	ukończenie zadania 1	30 minut
3	Zasilanie misji kosmicznych energią słoneczną	Wykorzystanie prawa odwrotnych kwadratów podczas prawdziwej misji kosmicznej ESA.	Poznanie zalet i wad wykorzystywania energii słonecznej podczas programów badania kosmosu.	ukończenie zadania 1	30 minut

→ Wprowadzenie

Energia słoneczna jest często wykorzystywana do zasilania misji kosmicznych, ponieważ jest jedynym źródłem energii, które nie musi być wystrzelowane ze statku kosmicznego i może zasilać go przez kilka lat. Uczennice/uczniowie poznają dwa ważne czynniki, które należy wziąć pod uwagę przy projektowaniu paneli słonecznych wykorzystywanych podczas misji kosmicznych: prawo odwrotnych kwadratów i kąt padania.

Prawo odwrotnych kwadratów

Prawo odwrotnych kwadratów to ogólne założenie, które wprowadza następującą zależność: wartość pewnej wielkości fizycznej jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości od źródła danej wielkości fizycznej. Jednym z najbardziej znanych przykładów jest prawo odwrotnych kwadratów dla promieniowania słonecznego: strumień z źródła światła jest odwrotnie proporcjonalny do kwadratu odległości od źródła światła. W przypadku światła strumień to ilość energii wyemitowanej przez dany obszar. W przypadku sferycznego źródła światła, takiego jak Słońce, strumień możemy przedstawić jako natężenie promieniowania (I). Słońce emituje światło równomiernie we wszystkich kierunkach, natężenie promieniowania powinno spełniać założenia prawa odwrotnych kwadratów i być zależne od odległości do Słońca. Prawo odwrotnych kwadratów dla tego przypadku możemy zapisać poniższym równaniem:

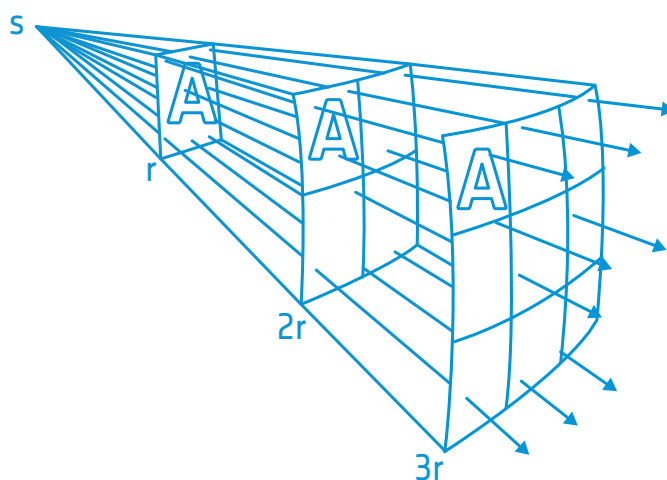
$$I \propto \frac{1}{r^2}$$

I – natężenie promieniowania słonecznego

r – odległość od słońca

Oznacza to, że jeśli planeta lub statek kosmiczny znajduje się w odległości dwa razy większej od Słońca niż Ziemia, natężenie promieniowania słonecznego wyniesie tylko jedną czwartą tego mierzonego na Ziemi (rysunek 1).

RYSUNEK 1



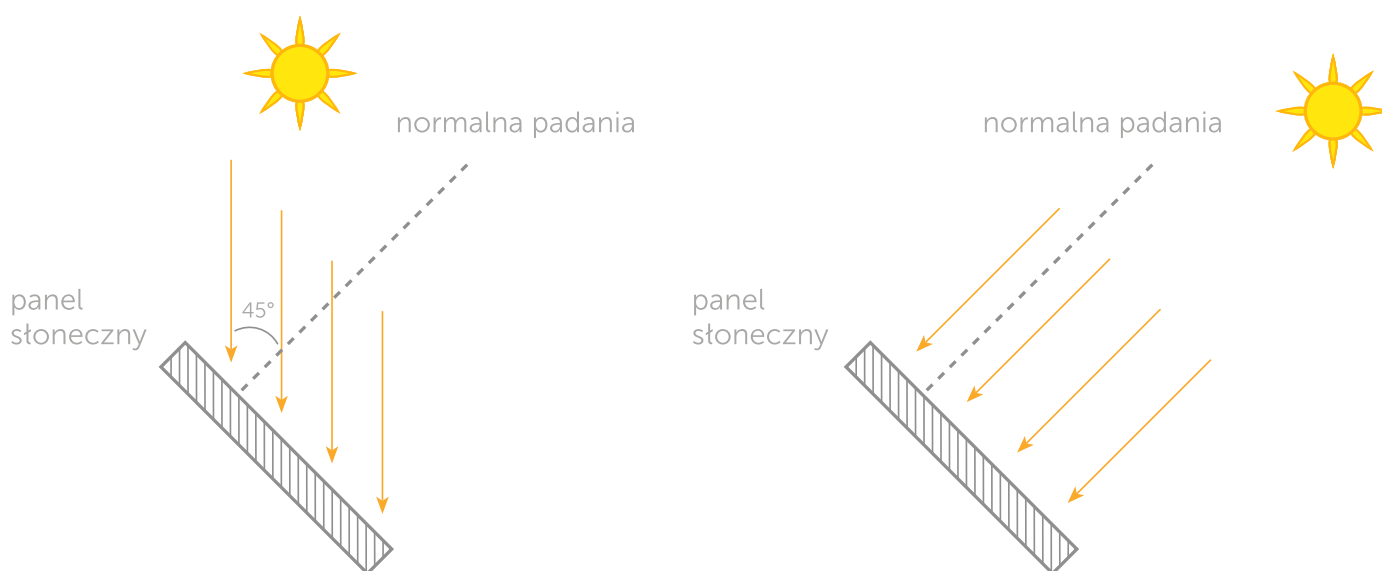
↑ Słońce znajduje się w punkcie oznaczonym literą S , emituje światło równomiernie we wszystkich kierunkach. W pewnej odległości r światło przechodzi przez obszar A , gdy odległość zostanie podwojona ($2r$), obszar powiększa się czterokrotnie ($4A$), a gdy odległość zostanie potrójona, a obszar powiększa się do $9A$.

Zrozumienie prawa odwrotnych kwadratów jest istotne w prowadzeniu misji kosmicznych z użyciem paneli słonecznych. Im dalej od Słońca znajduje się statek kosmiczny zasilany energią słoneczną, tym większa musi być powierzchnia jego paneli słonecznych, aby spełnić te same wymagania energetyczne.

Kąt padania

Kąt padania (θ) światła słonecznego na panel słoneczny jest ważnym czynnikiem w produkcji energii. Panel będzie pobierał energię słoneczną najskuteczniej, gdy promienie słoneczne padają prostopadle do jego powierzchni, czyli kąt padania wynosi 0° , co maksymalizuje efektywny obszar zbierania (rysunek 2). W przypadku paneli słonecznych o długości L efektywna powierzchnia panelu jest równa $L \times \cos(\theta)$, a zatem natężenie promieniowania słonecznego padające na powierzchnię panelu możemy również wyrazić jako $L \times \cos(\theta)$.

RYSUNEK 2



↑ Kąt padania wynosi 45° (po lewej) i 0° (po prawej). Kąt padania to kąt pomiędzy padającymi promieniami słonecznymi a normalną padania (umowna linia prostopadła do danej powierzchni) do powierzchni panelu słonecznego (o długości L). Gdy promienie słoneczne są prostopadłe do powierzchni panelu słonecznego, kąt padania wynosi 0°

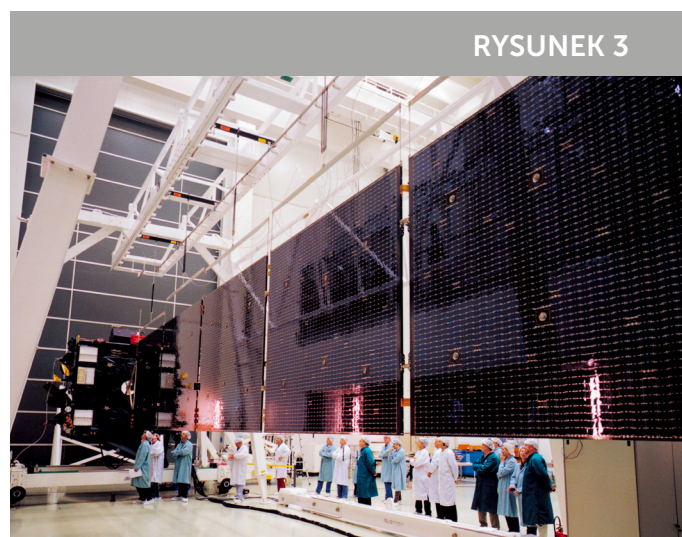
W przypadku misji kosmicznych kąt padania światła słonecznego jest kluczowym czynnikiem. Wiele statków kosmicznych wyposażonych jest w obrotowe panele słoneczne, które zmniejszają kąt padania światła słonecznego, zależnie od jego położenia i tym samym maksymalizują produkcję energii.

ENERGIA SŁONECZNA W MISJACH KOSMICZNYCH

Poniżej podano przykłady, które pokazują, jak prawo odwrotnych kwadratów i kąt padania zostały zastosowane w misjach kosmicznych.

Misja Rosetta

Sonda Rosetta leciała ponad 10 lat, aby dotrzeć do komety 67P/Churyumov-Gerasimenko. W najdalszym punkcie swojej podróży Rosetta znajdowała się w odległości 800 mln km od Słońca, gdzie ilość światła słonecznego stanowi zaledwie 4% docierającego na Ziemię. Jest to pierwsza misja, która dotarła poza główny pas asteroid oraz system wytwarzania energii był oparty wyłącznie na ogniwach słonecznych. Panele słoneczne sondy sięgały 32 m i miały łączną powierzchnię 64 m² (rysunek 3).



↑ Sonda Rosetta z jednym z dwóch paneli słonecznych w pełni rozłożonym.



↑ BepiColombo – „Merkury Transfer Module” – wykorzystanie dużych skrzydeł z paneli słonecznych

Misja BepiColombo

Duża część światła, która dociera do paneli słonecznych, jest zamieniana na ciepło. Sonda BepiColombo zmierzająca do Merkurego będzie lecieć blisko Słońca i dlatego efekt cieplny będzie bardzo duży. Jeśli panele słoneczne BepiColombo będą skierowane bezpośrednio w stronę Słońca przez więcej niż kilka sekund, zostaną uszkodzone i przestaną działać. Aby panele słoneczne miały niższą temperaturę (około 200°C), powinny być one odchylone od Słońca. Aby wyprodukować energię elektryczną potrzebną BepiColombo, panele słoneczne muszą być znacznie większe niż gdybyśmy obliczyli obszar przy użyciu jedynie prawa odwrotnych kwadratów. Dla BepiColombo panele słoneczne muszą mieć powierzchnię 42 m² (rysunek 4).

→ Zadanie 1. Prawo odwrotnych kwadratów

W tym praktycznym ćwiczeniu uczennice/uczniowie obliczą moc wyjściową panelu słonecznego, dokonując pomiaru prądu elektrycznego i różnicy potencjałów elektrycznych, oraz spróbują zaobserwować prawo odwrotnych kwadratów a podstawie wykonanych pomiarów.

Materiały i narzędzia:

- arkusz ćwiczeń i załącznik 1 – wydrukowane dla każdej z grup
- ciemne pudełko (otwierane na jednym końcu)
- kable elektryczne
- taśma klejąca
- źródło światła (mała żarówka, 4,5 V, 0,3 A)
- linijka
- 30-centymetrowy drążek (np. drewniany kij)
- materiał do blokowania światła (np. gąbka, tkanina)
- amperomierz i woltomierz (lub multimetr)
- zaciski typu krokodylek

Ćwiczenie

Podziel uczniów na grupy liczące 3–4 osoby. Rozdaj arkusz ćwiczeń i załącznik 1 każdej grupie. Przed rozpoczęciem eksperymentu porozmawiaj z uczniami i uczennicami czym jest natężenie promieniowania - opracujcie definicję, którą będziecie wykorzystywać w rozważaniach.

Przygotowanie eksperymentu

Najpierw uczennice/uczniowie będą musieli/musieli przygotować się do eksperymentu. Poproś o wykonanie kroków 1–9 z załącznika 1. Przy wykonywaniu kroku 9 upewnij się, że zaznaczają odległość równą zero, gdy źródło światła dotyka ogniwa słonecznego. Po zakończeniu tego etapu grupy powinny upewnić się, że cały sprzęt działa i jest prawidłowo podłączony.

Eksperyment

Uczennice/uczniowie wykonują pomiary różnicy potencjałów elektrycznych (U) i prądu elektrycznego (I) zgodnie z punktami 10–12 z załącznika 1 i zapisują swoje dane w tabeli 1 na arkuszu ćwiczeń.

Przed przystąpieniem do pierwszego pomiaru grupy odsuwają drążek na co najmniej 5 cm. Przed dokonaniem kolejnego pomiaru powinny cofnąć źródło światła o 1 cm aż do osiągnięcia około 30 cm odległości. Zaleca się, by uczennice/uczniowie zmierzyli 20–30 różnych odległości. Możliwe jest stosowanie większych odstępów czasowych, ale należy uważać, spadek mocy wyjściowej może być zbyt szybki do zaobserwowania działania prawa odwrotnych kwadratów, zmienność zależy od źródła światła i ogniw słonecznych. Zalecamy samodzielne przetestowanie optymalnych odległości przed przeprowadzeniem eksperymentu w sali lekcyjnej.

Uczniowie i uczennice powtarzają pomiary jeszcze dwa razy i wyliczają średnią. Omów z nimi wiarygodność wyników i przebieg eksperymentu.

Poproś uczennice/uczniów, aby wypełnili tabelę 1 w swoim arkuszu ćwiczeń, obliczając moc wyjściową:

$$P(W) = I(A) * U(V) \quad .$$

Wyniki

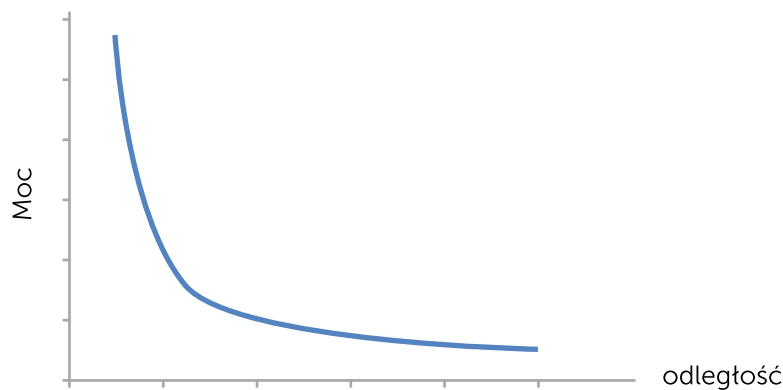
Analizując wyniki, należy założyć, że moc produkowana przez ogniwa słoneczne jest wprost proporcjonalna do mocy odbieranej przez ogniwo słoneczne (moc produkowana = moc odbierana × wydajność ogniwa). Energia odbierana jest proporcjonalna do natężenia światła ze źródła światła (ponieważ natężenie = energia/obszar, a obszar pozostaje taki sam przez cały czas trwania eksperymentu). Dlatego można wywnioskować, że moc wytwarzana przez ogniwo fotowoltaiczne jest proporcjonalna do natężenia światła.

Aby prawo odwrotnych kwadratów działało, moc wytwarzana przez panel słoneczny (P) powinna być proporcjonalna do odwrotności kwadratu odległości (r).

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

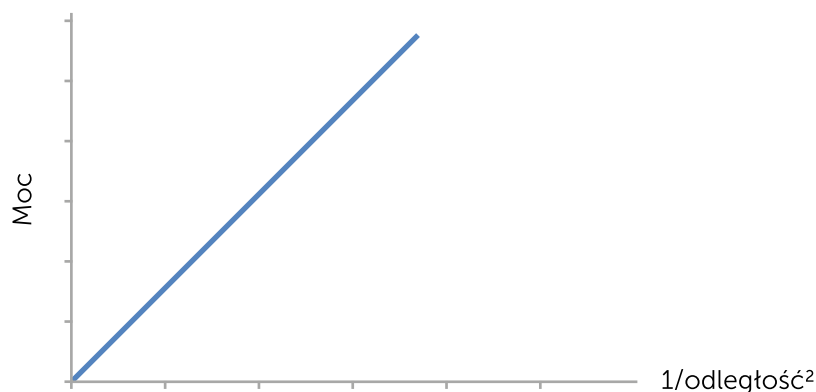
Aby przeanalizować swoje dane, uczennice/uczniowie narysują wykres mocy w funkcji odległości (rysunek 5a), a moc w funkcji 1/odległości² (Rysunek 5b); drugi wykres powinien przedstawiać linię prostą.

RYSUNEK 5A



↑ Przewidywany wykres mocy wyjściowej w stosunku do odległości

RYSUNEK 5B



↑ Przewidywany wykres dla mocy wyjściowej w stosunku do 1/odległości²

Uczennice/uczniowie mogą nie uzyskać wyników zgodnych z prawem odwrotnych kwadratów. Poniżej podano niektóre z czynników, które mogą mieć wpływ na uzyskane wyniki:

- Pudełko może nie być całkowicie ciemne, a wahania oświetlenia zewnętrznego wpływają na pomiary.
- W takiej konfiguracji układu pomiarowego pomiar odległości może być obciążony dużymi błędami
- Może wystąpić wewnętrzne rozpraszanie światła.
- Opór wewnętrzny ogniwa słonecznego może się zmieniać w trakcie trwania eksperymentu.
- Pomiary w pobliżu ogniwa słonecznego mogą nie być zgodne z prawem odwrotnych kwadratów, ponieważ to źródło światła nie może być uznane za źródło punktowe.

Podsumowując, uczennice/uczniowie powinny/powinni wywnioskować, że jeśli podwoimy odległość od źródła światła, musimy wykorzystać cztery razy większe panele słoneczne, aby wygenerować taką samą ilość energii.

→ Zadanie 2. Kąt padania

W tym ćwiczeniu uczennice/uczniowie poznają znaczenie kąta padania i korzyści płynące z optymalnego ustawienia ogniw słonecznych. W ramach eksperymentu zmierzają one/oni, w jaki sposób kąt padania wpływa na moc wyjściową.

Materiały i narzędzia:

- arkusz ćwiczeń i załącznik 2 – wydrukowane dla każdej z grup
- układ pomiarowy z zadania 1 (zob. załącznik 2)
- patyczek do obracania ogniwa słonecznego (np. patyczek do szaszłyka)
- kątomierz

Ćwiczenie

Uczennice/uczniowie pracują ponownie w grupach 3–4-osobowych. Rozdaj arkusz ćwiczeń i załącznik 2 każdej grupie.

Przed rozpoczęciem eksperymentu wyjaśnijcie pojęcie "kąt padania". Niech każda grupa zaproponuje wyjaśnienie pojęcia. Na tablicy zapiszcie wspólnie najlepszą waszym zdaniem definicję.

Przygotowanie eksperymentu

Zadanie 2 jest kontynuacją zadania 1. Grupy zmieniają swój układ pomiarowy tak, aby móc przechylić panel słoneczny pod określonym kątem. Powinny dostosować eksperyment z zadania 1 zgodnie z krokiem 1 do 7 z załącznika 2. Przed rozpoczęciem pomiarów uczennice/uczniowie powinny/powinni upewnić się, że cały sprzęt działa i jest prawidłowo podłączony.

Eksperyment

Zespoły wykonują pomiary opisane w punktach 8–10 załącznika 2 i zapisują je w tabeli 2 w arkuszu ćwiczeń. Powinny powtórzyć pomiary jeszcze dwa razy, upewniając się, że wszystkie warunki są podobne, a także obliczyć średnią moc dla każdego kąta padania.

Wyniki

Poproś uczennice/uczniów o narysowanie wykresu średniej mocy w funkcji kąta padania.

Powinny/powinni odczytać z danych, że moc wyjściowa jest największa, gdy panel słoneczny jest prostopadły do promieni świetlnych (kąt padania = 0°).

Chociaż spodziewany odczyt w momencie, gdy ogniwo słoneczne jest równoległe do źródła światła (kąt padania światła = 90°), powinien w zasadzie wynosić 0, nie będzie on uzyskany głównie ze względu na rozproszenie światła wewnątrz pudełka.

Nawet jeśli lampa jest wyłączona, w obwodzie może nadal występować mierzalny prąd różnicowy (prąd resztkowy). Podczas przeprowadzania eksperymentów naukowych, które wymagają precyzyjnych pomiarów, wartości te należy skorygować poprzez odjęcie tego błędu od odczytów.

Jeśli uczennice/uczniowie przechylają swoje ogniwa słoneczne tak, aby uzyskać one kąty padania = -30° , -60° i -90° , powinny/powinni uzyskać podobne wartości, ponieważ system jest symetryczny. Wartości uzyskane w eksperymencie będą zależały od tego, w jakim stopniu system jest wyrównany.

Niektóre źródła błędów zostały już wymienione w zadaniu 1. W tej czynności musimy również wziąć

pod uwagę niepewność pomiaru kąta i wyrównanie panelu słonecznego w pudełku jako potencjalne źródła błędów.

Podsumowując, uczennice/uczniowie powinny/powinni odpowiedzieć na pytanie 9 w arkuszu ćwiczeń i stwierdzić, że aby zmaksymalizować moc panelu słonecznego, kąt padania powinien być bliski 0° . Mogą zaproponować wprowadzenie w panelach słonecznych mechanizmów namierzających położenie Słońca, które obracają się i przechylają zgodnie z pozornym jego ruchem.

W tych eksperymentach efekt cieplny jest znikomy, ponieważ całkowita energia żarówki wynosi zaledwie kilka watów. W przypadku statków kosmicznych lecących w pobliżu Słońca, takich jak BepiColombo, efekt cieplny jest duży i ma znaczny wpływ na projekt misji. Innym aspektem do rozważenia jest fakt, że panele słoneczne na Ziemi mogą być chłodzone powietrzem, co nie ma miejsca w próżni kosmicznej.

→ Zadanie 3. Eksploracja kosmosu a energia słoneczna

W tym ćwiczeniu uczennice/uczniowie zastosują prawo odwrotnych kwadratów na podstawie danych z przeprowadzonych prawdziwych misji kosmicznych ESA. Dowiedzą się, jaki wpływ na wielkość paneli słonecznych ma prawo odwrotnych kwadratów i że kąt padania światła ma kluczowe znaczenie dla misji odbywających się w pobliżu Słońca.

Wyniki

1. Natężenie światła odbierane w średniej odległości Ziemi od Słońca (I_{Ziemia}) można obliczyć na podstawie prawa odwrotnych kwadratów i wartości podanych w arkuszu ćwiczeń:

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

2. W odległości 45 mln km od Słońca natężenie światła oblicza się w następujący sposób:

$$I_{\text{BepiColombo}} = \frac{3.828 * 10^{26} \text{ W}}{4\pi(4.5 * 10^{11} \text{ m})^2} = 15043 \frac{\text{ W}}{\text{ m}^2}$$

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

W tej odległości od Słońca natężenie światła jest 11 razy większe niż w odległości od Ziemi. Uszkodzenia paneli słonecznych wynikające z wysokiej temperatury będą duże, co oznacza, że muszą być one na stałe odwrócone od Słońca. Wynika z tego, że rzeczywista powierzchnia paneli słonecznych, 42m², jest znacznie większa, niż gdyby było możliwe ich faktyczne zwrócenie w stronę Słońca.

3. Sonda kosmiczna Rosetta poruszała się po trajektorii, która była oddalona 800 mln km od Słońca. W tej odległości natężenie światła jest obliczane w następujący sposób:

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

W porównaniu do:

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

Natężenie światła w odległości 800 mln km od Słońca wynosi około 3,5% natężenia światła w odległości Ziemi od Słońca.

4. Choć panele słoneczne Rosetty zasilane były przez wysokowydajne ogniwa słoneczne, ich wydajność wahała się od 18% do 26%. W połączeniu z niskim natężeniem światła w najdalszym punkcie orbity, panele słoneczne Rosetty musiały mieć bardzo dużą powierzchnię – 64 m².

Zakładając, że jedyną zmienną byłaby różnica natężenia światła, gdyby Rosetta orbitowała na orbicie Ziemi, powierzchnia paneli słonecznych wyniosłaby tylko:

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

5. Poniższe równanie przedstawia natężenie światła w odległości Saturna od Słońca z uwzględnieniem prawa odwrotnych kwadratów:

Obliczenia odległości Ziemi od Słońca:

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

$$I_{\text{Rosetta}} = 3.1 I_{\text{Saturn}}$$

Oznacza to, że panele słoneczne musiałyby być 3,1 raza większe, znajdując się w odległości 1,4 mld km od Słońca, niż gdyby były oddalone o 800 mln km od niego.

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

6. Zapotrzebowanie energetyczne Cassini-Huygens jest 2,2 raza większe niż Rosetty (885 W/395 W = 2,2) i dlatego wykorzystywała ona źródło energii jądrowej zwane radioizotopowym generatorem termoelektrycznym. Gdyby zamiast tego wykorzystano panele słoneczne, ich powierzchnia musiałaby być 2,2 razy większa niż wartość obliczona w punkcie 4.

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

7. Masa paneli na metr kwadratowy wynosi:

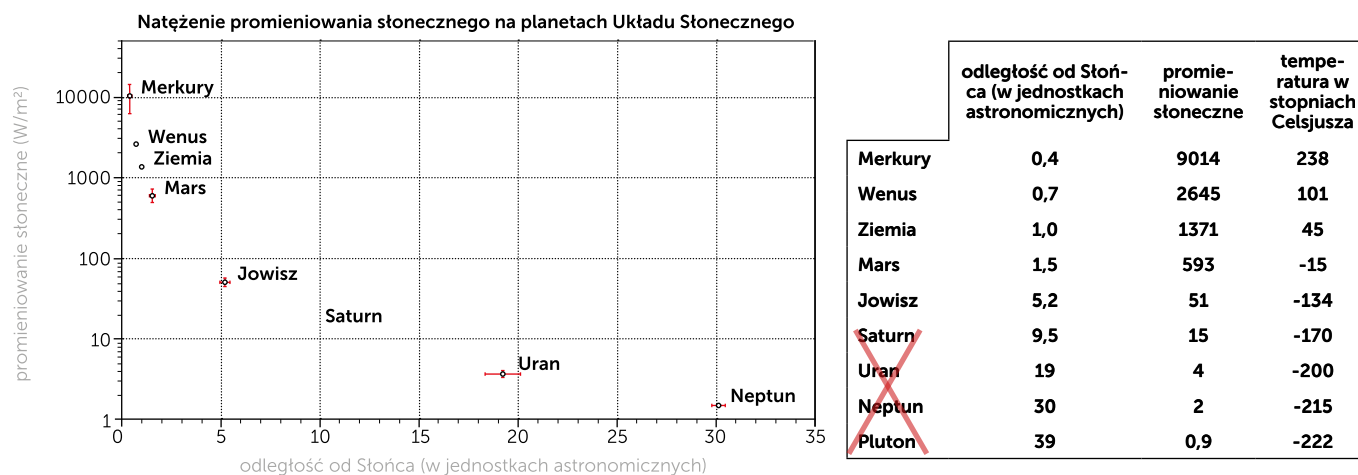
$$\frac{51.2 \text{ kg}}{64 \text{ m}^2} = 0.8 \text{ kg m}^{-2}$$

Łączna masa paneli słonecznych potrzebnych do zasilania Cassini wyniosłaby w przybliżeniu:

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

Radioizotopowe generatory termoelektryczne ważyły 56,4 kg. Wzrost masy wyniósłby 292,8 kg.

8. Energia słoneczna jest bardzo ważna, ponieważ jest źródłem odnawialnym i nie stanowi dodatkowej części wyposażenia statku. Z powodu działania prawa odwrotnych kwadratów natężenie światła gwałtownie spada wraz z powiększającą się odległością od Słońca (rysunek 6). Oznacza to, że potrzebne są większe panele słoneczne, aby zapewnić niezbędne zapotrzebowanie na energię elektryczną na pokładzie statku, który znajduje się dalej od Słońca, oraz że w odległości od Słońca, w jakiej znajduje się Jowisz, jest zbyt ciemno, aby wykorzystać energię słoneczną.



↑ Natężenie promieniowania słonecznego (natężenie światła) na planetach Układu Słonecznego

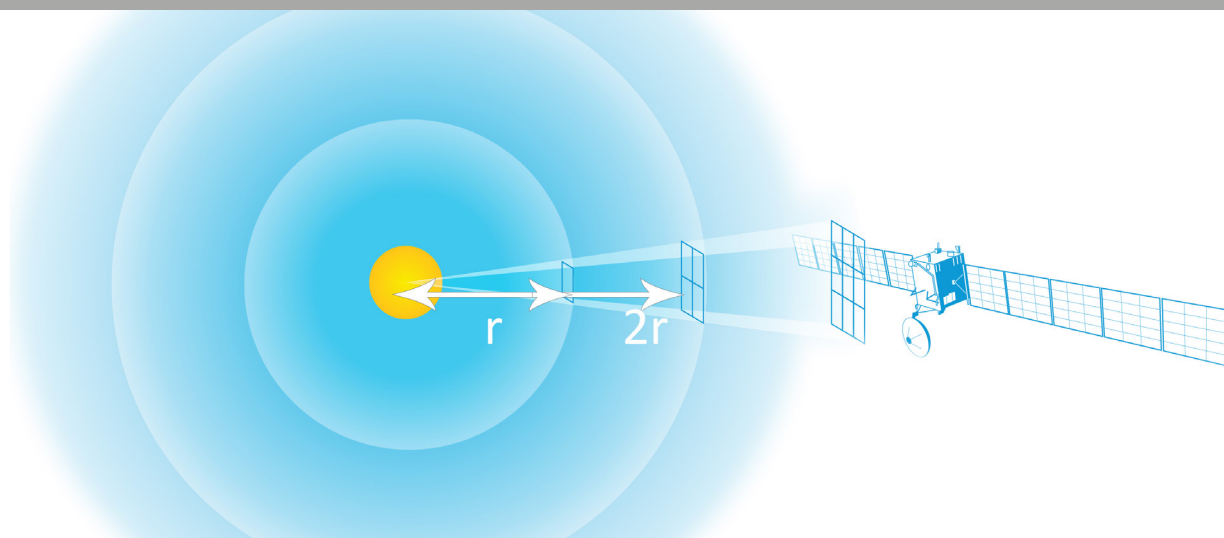
Jak obliczono w punkcie 6, gdyby Cassini-Huygens wykorzystywał panele słoneczne, miałby masę ponad sześciokrotnie większą od masy radioizotopowych generatorów termoelektrycznych! Uwzględnienie masy jest bardzo ważne w badaniach przestrzeni kosmicznej, ponieważ na każdy dodatkowy kilogram potrzeba więcej paliwa, aby uciec od ziemskiej grawitacji. Należy jednak wziąć pod uwagę ograniczenia w zakresie bezpieczeństwa i ochrony, związane zwłaszcza z energią jądrową.

→ ENERGIA SŁONECZNA

Zasilanie misji kosmicznych energią słoneczną

→ Zadanie 1. Prawo odwrotnych kwadratów

OBRAZEK A1



↑ Słońce emituje światło równomiernie we wszystkich kierunkach. W pewnej odległości (r) światło przechodzi przez obszar A , gdy odległość podwaja się ($2r$), ta sama ilość światła pokryje obszar czterokrotnie większy ($4A$)

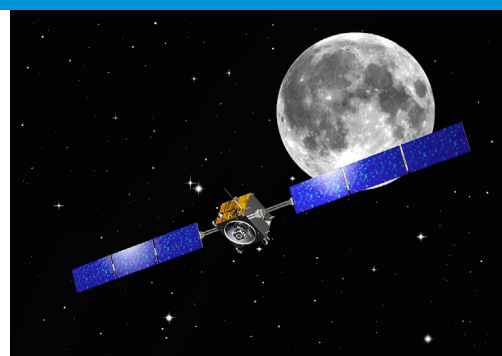
Słońce emituje światło równomiernie we wszystkich kierunkach (patrz rysunek A1), a zatem natężenie światła (I) w danej odległości (r) będzie równe całkowitej mocy emitowanej przez Słońce, rozłożonej na kuli o powierzchni $4\pi r^2$.

$$\text{Natężenie promieniowania Słońca (W/m}^2\text{)} = \frac{\text{Energi wyemitowana przez Słońce (W)}}{4\pi r^2(\text{m}^2)} \quad (1)$$

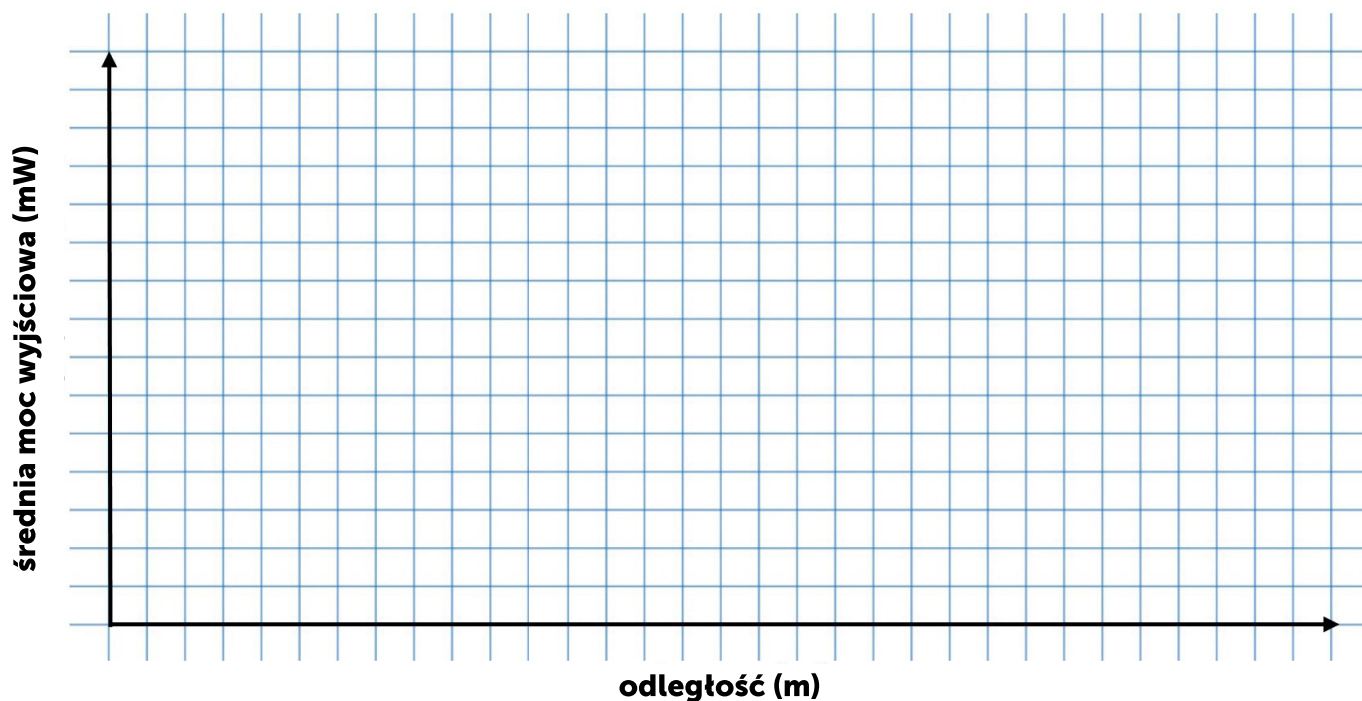
W zależności od odległości od Słońca statki kosmiczne w Układzie Słonecznym doświadczają ogromnych różnic w ilości otrzymywanego przez nie światła słonecznego.

→ Ciekawostka

Wystrzelony we wrześniu 2003 r. SMART-1 stał się pierwszą misją ESA na Księżyc. Była to pierwsza misja opuszczenia orbity Ziemi wyłącznie przy użyciu energii słonecznej, choć powolny, ustanawiając 13-miesięczny rekord najdłuższej podróży na Księżyc. SMART-1 pobił rekord najniższego zużycia paliwa na kilometr spośród wszystkich rejsów na Księżyc, czerpiąc większość swojej mocy elektrycznej ze skrzydeł paneli słonecznych, z których każde miało około 7 m długości.



1. Narysuj wykres przedstawiający średnią moc wyjściową w zależności od odległości źródła światła.



2. Czy moc wyjściowa ogniwa słonecznego jest zgodna z założeniem prawa odwrotnych kwadratów? Wyjaśnij.

.....

.....

.....

3. Jakie niewiadome są w twoim eksperymencie? Jaki mają one wpływ na wynik?

.....

.....

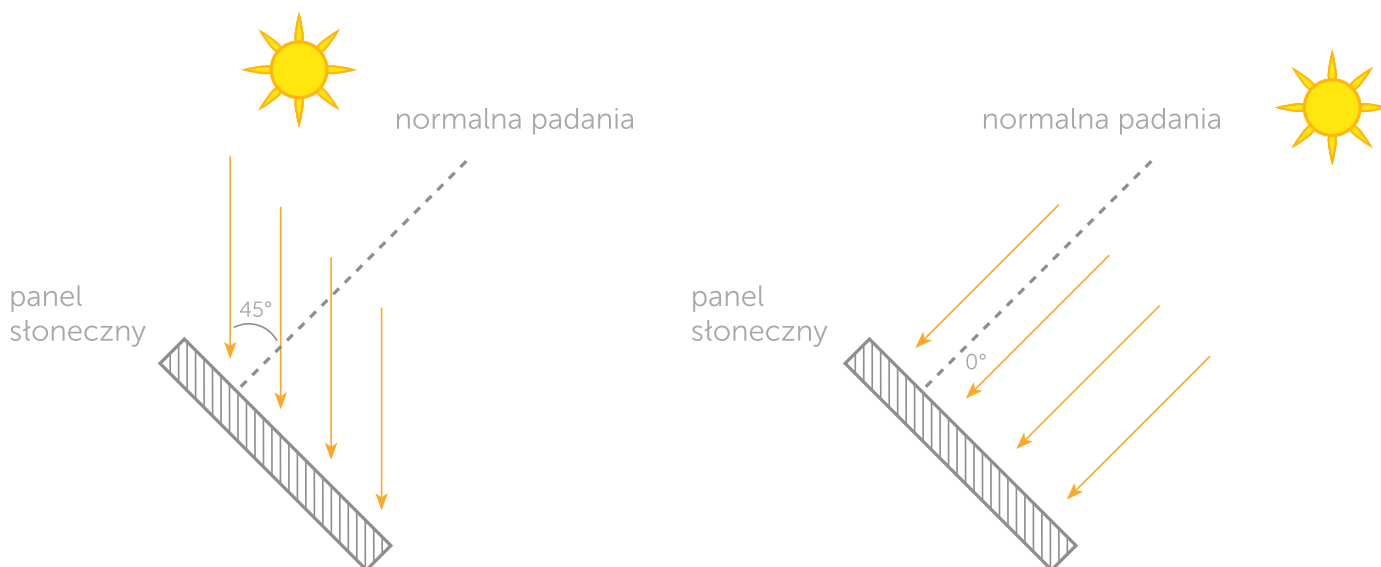
.....

4. Jeśli podwoimy odległość do źródła światła, jak duże muszą być panele słoneczne, aby wyprodukować taką samą ilość mocy?

- Panele słoneczne powinny być mniejsze.
- Panele słoneczne powinny być 2 razy większe.
- Panele słoneczne powinny być 4 razy większe.
- Panele słoneczne powinny być 9 razy większe.

→ Zadanie 2: Kąt padania

Kąt, pod jakim padają promienie światła słonecznego na panele słoneczne, jest ważnym czynnikiem. Kąt padania to kąt pomiędzy padającymi promieniami słonecznymi a normalną padania paneli słonecznych. Kiedy promienie słoneczne padają prostopadłe do panelu słonecznego, kąt padania światła wynosi 0°.



↑ Ilustracja przedstawiająca kąt padania 45° (po lewej) i 0° (po prawej)

1. Przed wykonaniem obliczeń, zaproponuj który kąt padania przyczyni się do wygenerowania największej ilości energii. Wyjaśnij swój wybór.

.....

.....

Eksperyment

W tym eksperymencie zmierzysz, jak kąt padania wpływa na moc twoich ogniw słonecznych.

- Dostosuj instalację z zadania 1, postępując zgodnie z punktami 1–7 podanymi w instrukcji z załącznika 2.
- Przeprowadź eksperyment, postępując zgodnie z instrukcjami podanymi w punktach 8–10 w załączniku 2. Zwróć uwagę na pomiary różnicy potencjałów elektrycznych (U) i prądu elektrycznego (I) dla różnych kątów padania w tabeli 2 poniżej.
- Wykonaj pomiary jeszcze dwukrotnie.
- Oblicz moc wyjściową ogniwa słonecznego i wypełnij tabelę 2.

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

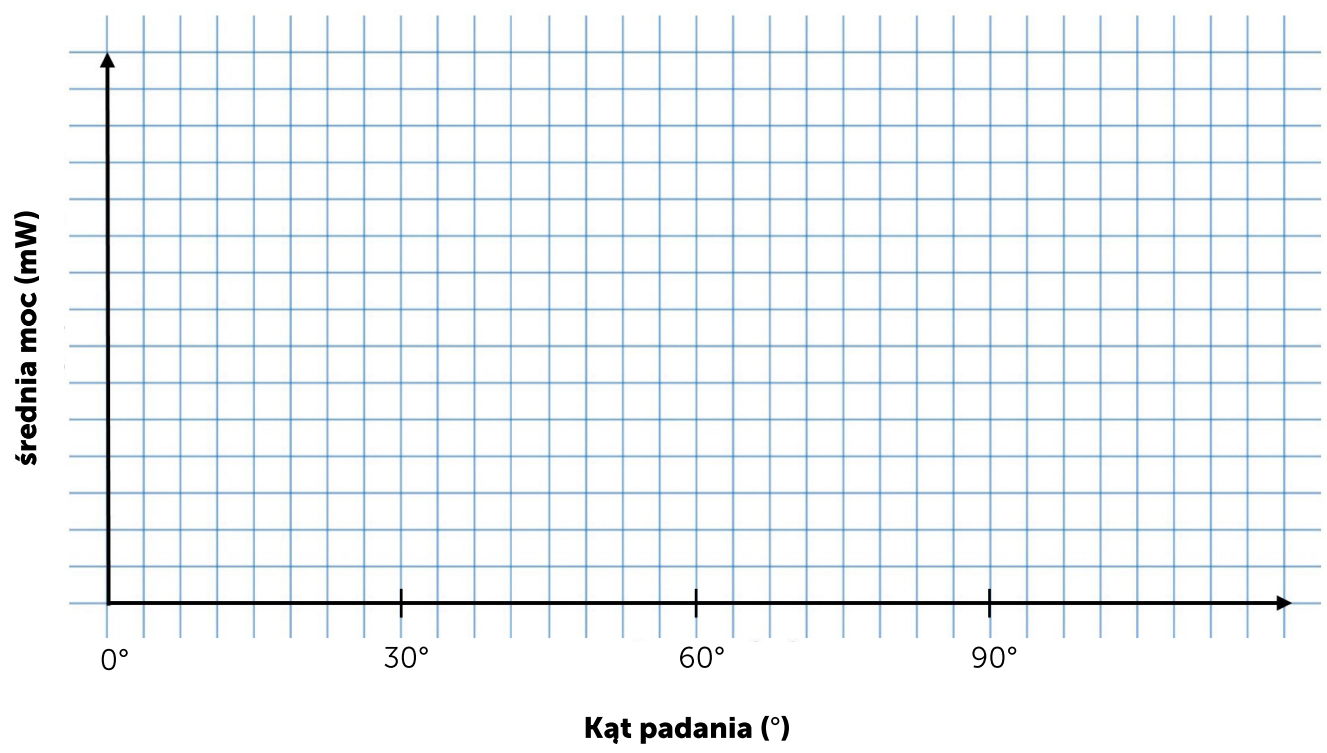
- Oblicz średnią moc dla każdego kąta padania.

TABELA 2

Kąt	Próba 1			Próba 2			Próba 3			Średnia 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°										

↑ Tabela pomiarów różnicy potencjałów elektrycznych (U), prądu elektrycznego (I) i mocy wyjściowej (P) dla różnych kątów padania

2. Zaznacz na wykresie średnią moc w funkcji kąta padania.



3. Który kąt padania powoduje wygenerowanie największej mocy wyjściowej?

4. Czy twoje przewidywania z pytania 1 były prawidłowe? Jeśli nie, czy możesz wyjaśnić, dlaczego wynik jest inny?

.....

.....

5. Jak sądzisz, dlaczego moc wyjściowa nie jest równa zero, skoro ogniwo słoneczne jest ustawione równoległe do źródła światła? (kąt padania = 90°)

.....

.....

6. Czy spodziewasz się, że uzyskasz jakąkolwiek moc wyjściową, jeśli przeprowadzisz eksperyment z wyłączonej lampą? Sprawdź własne przypuszczenia i wyjaśnij swoje spostrzeżenia.

.....

.....

7. Jakich wartości mocy spodziewałbyś się, gdybyś przeprowadził/a eksperyment z kątem padania równym -30° , -45° , -60° i -90° ? Uzasadnij swoją odpowiedź.

.....

.....

8. Jakie niewiadome są w twoim eksperymencie? Czy znalazła(e)ś jakieś elementy - zmienne, które mogą wpływać na błędy w twoich pomiarach?

.....

.....

9. Zmierzyła(e)ś, jaki wpływ ma kąt padania na wygenerowanie energii. Jak zbudował(a)byś swoje panele słoneczne, aby zmaksymalizować ich moc?

.....

.....

→ Ciekawostka

Międzynarodowa Stacja Kosmiczna (ISS) zasilana jest przez panele słoneczne. Na zdjęciu po prawej stronie pokazano niektóre panele słoneczne na stacji, w której może przebywać jednocześnie maksymalnie sześciu astronautów. Międzynarodowa Stacja Kosmiczna okrąża Ziemię, w związku z czym panele słoneczne mogą być obracane tak, aby były one skierowane bardziej bezpośrednio w stronę Słońca. Panele zajmują powierzchnię 2500 m², co odpowiada rozmiarowi/wielkości połowy boiska piłkarskiego!



→ Zadanie 3. Eksploracja kosmosu a energia słoneczna

W jakiej sytuacji wykorzystanie energii słonecznej do eksploracji kosmosu może okazać się dobrym pomysłem i jak możemy wykorzystać na naszą korzyść wiedzę o prawie odwrotnych kwadratów i kącie padania?

Misja Rosetta, która odbywała się w odległości 800 mln km od Słońca, wymagała zastosowania olbrzymich paneli słonecznych, by wyprodukować wystarczającą ilość energii do podtrzymania systemów pokładowych. Natomiast misja BepiColombo, której celem jest badanie Merkurego, odbywa się tak blisko Słońca, że otrzyma ona ogromne ilości promieniowania, które może okazać się bardzo szkodliwe dla paneli słonecznych.

Ćwiczenie

1. Ziemia znajduje się w średniej odległości około 150 mln km od Słońca. Średnia moc emitowana przez Słońce wynosi $3,828 \times 10^{26} \text{W}$. Użyj równania (1) z zadania 1 do obliczenia natężenia światła w odległości dzielącej Ziemię od Słońca (I_{Ziemia}).

2. Minimalna odległość od Słońca, w jakiej będzie się znajdować misja BepiColombo, wyniesie około 45 mln km. Aby zminimalizować ryzyko uszkodzenia paneli spowodowane wysokimi temperaturami, należy je odchylić w kierunku przeciwnym do Słońca. Oblicz natężenie światła ($I_{\text{BepiColombo}}$) na tej odległości. Porównaj to z wynikami dla Ziemi (I_{Ziemia}).

3. Maksymalna odległość misji Rosetta od Słońca wynosiła 800 mln km. Oblicz natężenie światła dla (I_{Rosetta}) na tej odległości. Porównaj to z wynikami dla Ziemi (I_{Ziemia}).

4. Zapotrzebowanie na moc w połączeniu z niskim natężeniem światła w jej najdalszym punkcie orbity skutkowało tym, że panele słoneczne sondy Rosetta musiały mieć bardzo dużą powierzchnię, wynoszącą 64m². Jaki byłby wymagany rozmiar paneli słonecznych, gdyby Rosetta znajdowała się w odległości Ziemi od Słońca? Należy wziąć pod uwagę tylko różnicę w natężeniu światła i założyć, że wszystkie inne zmienne pozostają takie same.

5. Teraz wyobraź sobie, że sonda Rosetta leci zbadać planetę Saturn, oddaloną 1,4 mld km od Słońca. Jaki byłby wymagany rozmiar paneli słonecznych przy tej odległości? Należy wziąć pod uwagę tylko różnicę w natężeniu światła i założyć, że wszystkie inne zmienne pozostają takie same.

6. Podczas ostatniej misji na Saturna sonda kosmiczna Cassini-Huygens była zasilana za pomocą termoelektrycznych generatorów izotopów promieniotwórczych (RTG). Sonda Cassini-Huygens potrzebowała 885W mocy, a sonda Rosetta tylko 395W. Oblicz wielkość paneli słonecznych potrzebnych do zasilenia Cassini-Huygens (znajdującej się w odległości Saturna od Słońca), zakładając, że byłyby one podobne do paneli słonecznych Rosetty.

7. Radioizotopowe generatory termoelektryczne zastosowane podczas misji Cassini-Huygens miały masę 56,4 kg. Waga paneli słonecznych podczas misji Rosetta wynosiła 51,2 kg. O ile zwiększyłaby się masa sondy użytej podczas misji Cassini-Huygens, gdyby zostały wykorzystane w niej panele słoneczne, jak obliczono w punkcie 5?

8. Jakie są wady i zalety korzystania z paneli słonecznych podczas misji kosmicznych?

.....

.....

.....

.....

.....

→ Linki

Zasoby ESA

Wyzwanie Moon Camp:

esa.int/Education/Moon_Camp

Animacje dotyczące eksploracji kosmosu:

esa.int/Education/Moon_Camp/Making_a_Home_on_the_Moon

Materiały dydaktyczne ESA:

esa.int/Education/Classroom_resources

Projekty kosmiczne ESA:

Misja Rosetta ESA esa.int/rosetta

Misja BepiColombo ESA/JAXA:

esa.int/Our_Activities/Space_Science/BepiColombo_overview2

Misja Cassini-Huygens:

esa.int/Our_Activities/Space_Science/Cassini-Huygens

Techniczne informacje nawiązujące do pytań

Informacja o masie paneli słonecznych Rosetta (strona 10 scenariusza):

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

Efektywna moc generowana przez Rosetta na poziomie 5,25 AU (395 W, 64 m²): esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/The_Rosetta_orbiter

Specyfikacje statku kosmicznego Cassini:

fas.org/nuke/space/bennett0706.pdf

Informacja o masie paneli słonecznych oszacowanej na podstawie slajdu nr 10 lpi.usra.edu/opag/nov_2007_meeting/presentations/solar_power.pdf

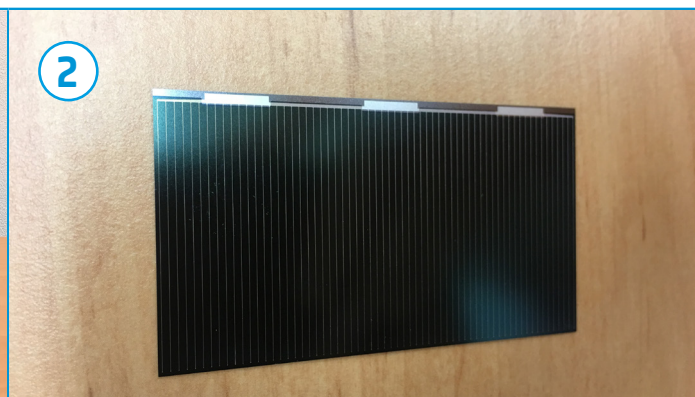
Rozłożenie baterii słonecznej BepiColombo:

youtube.com/watch?v=Lhw4aojbkvs

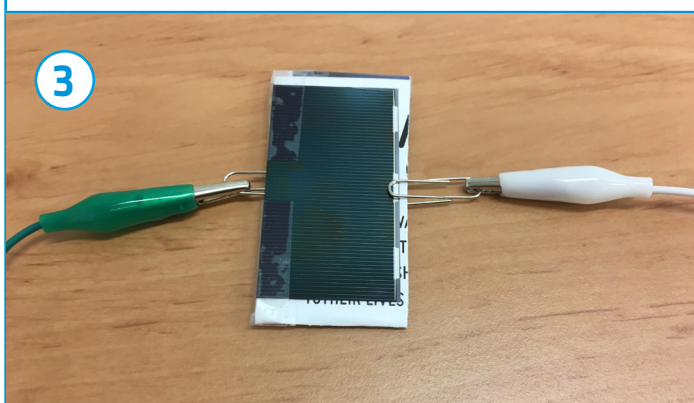
→ Załącznik 1. Prawo odwrotnych kwadratów



1 Potrzebne ci będzie ciemne pudełko (20–30 cm długości, mieszczące matę żarówkę).



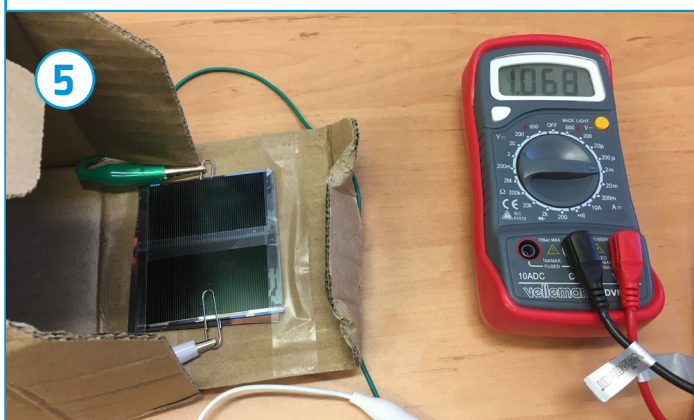
2 Przygotuj także ogniwo fotowoltaiczne.



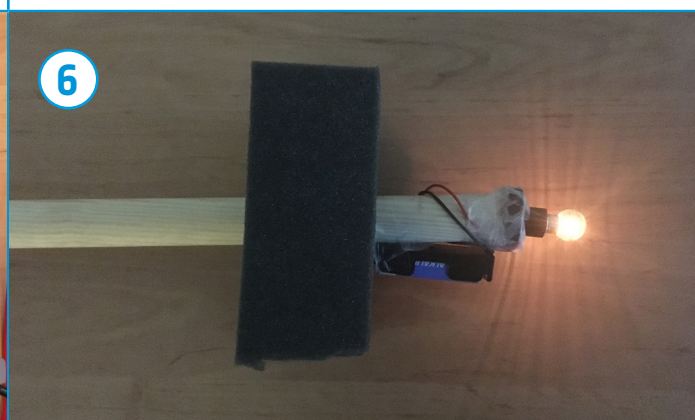
3 Doczep zaciski typu krokodylek do ogniwa fotowoltaicznego. W zależności od posiadanego ogniwa być może będziesz musiał/a utworzyć punkty połączeń dla tych przewodów. Możesz do tego użyć spinaczy biurowych.



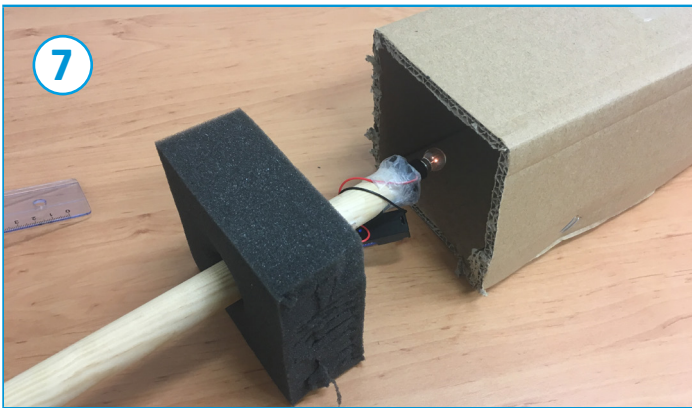
4 Sprawdź, czy ogniwo słoneczne działa prawidłowo, podłączając amperomierz szeregowo i woltomierz równoległe (lub podłączając multimetr). Powinnaś/ powinieneś otrzymać odczyty różnicy potencjałów prądowych i elektrycznych.



5 Przymocuj ogniwo słoneczne do wnętrza pudełka i zamknij je.



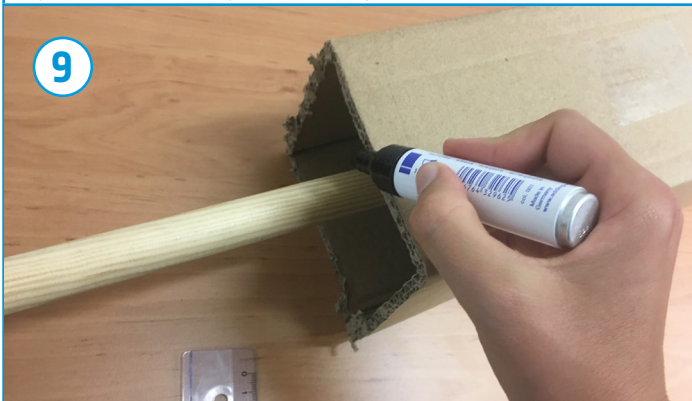
6 Umieść matę żarówkę na końcu drążka. Wytnij kawałek materiału o wymiarach przekroju poprzecznego pudełka, aby zablokować światło padające zza źródła światła, jak pokazano na zdjęciu.



7
Włącz źródło światła i włóż pręt do pudełka. Upewnij się, że ciemna pianka przylega do ścian pudełka, jeśli to konieczne – odetnij źródło światła, obklejając pudełko ciemną taśmą, lub wykonaj pomiary w ciemnym pomieszczeniu.



8
Ostrożnie włóż pręt do pudełka, aż źródło światła dotknie ogniwa słonecznego. Uważaj, aby nie uszkodzić ogniwa słonecznego.



9
Za pomocą markera zaznacz na pręcie początkowe położenie lub przyklej taśmę mierniczą na pręcie i zanotuj wartość.



10
Skończyła(e)s przygotowywanie eksperymentu. Upewnij się, że cały sprzęt działa i jest prawidłowo podłączony.

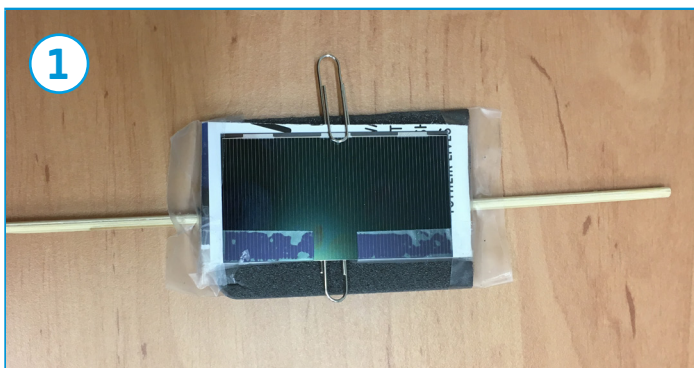


11
Odsuń źródło światła od ogniwa słonecznego o 5 cm. Zapisz pomiar prądu i różnicy potencjałów elektrycznych w tabeli 1 w arkuszu zadań.

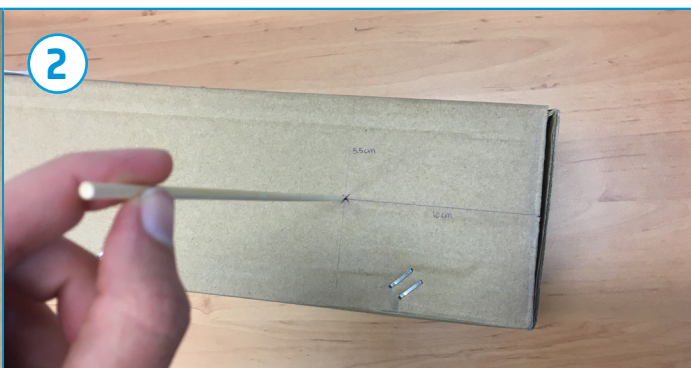


12
Odsuń źródło światła od panelu słonecznego o 1 cm, aż do końca pudełka. Zapisz pomiar prądu i różnicy potencjałów elektrycznych w każdej pozycji. Powtórz pomiary dwukrotnie w tych samych warunkach i dla tych samych odległości.

→ Załącznik 2 – Kąt padania



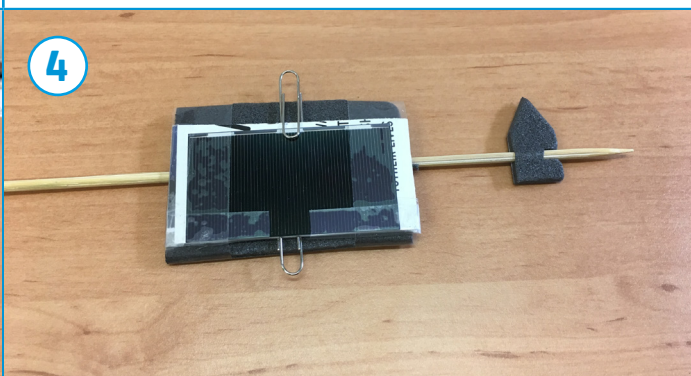
1 Wykorzystaj układ pomiarowy z zadania 1. Przymocuj ogniwo słoneczne do małego drążka. Pozwoli to na obracanie nim wewnątrz pudełka. Oś obrotu powinna znajdować się w środku ogniwa słonecznego.



2 Użyj pudełka z zadania 1. Zaznacz punkt na boku pudełka, aby patyczek przebił ścianę pudełka. Upewnij się, że znajduje się on pośrodku ściany pudełka w pozycji pionowej, znajdując się w takiej samej odległości do góry i dołu. Upewnij się, że ogniwo słoneczne ma wystarczająco dużo miejsca, by swobodnie się obracać.



3 Za pomocą pionowej osi zaznacz kąty 0° , 30° , 45° , 60° i 90° po jednej stronie pudełka (lub przymocuj kątomierz).



4 Przymocuj kawałek kartonu na patyczku w takim samym kierunku, jak ogniwo słoneczne. Umieść go na zewnątrz pudełka, dzięki temu wskaże kąt nachylenia ogniwa słonecznego wewnątrz zamkniętego pudełka.



5 Włóż ogniwo słoneczne do pudełka i podłącz amperomierz szeregowo, a woltmierz równolegle (lub podłącz multimetr) i zamknij pudełko.



6 Włącz źródło światła i włóż je do pudełka. Odległość pomiędzy źródłem światła a ogniwem słonecznym powinna wynosić około 10 cm. Odległość ta powinna być stała przez cały czas trwania eksperymentu (pręt nie powinien być przesuwany).