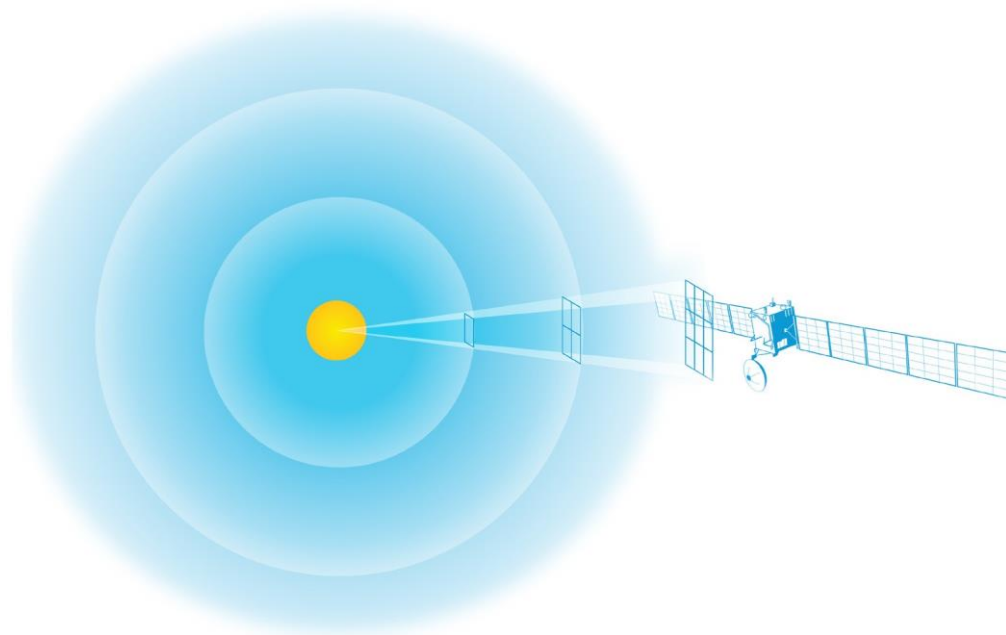
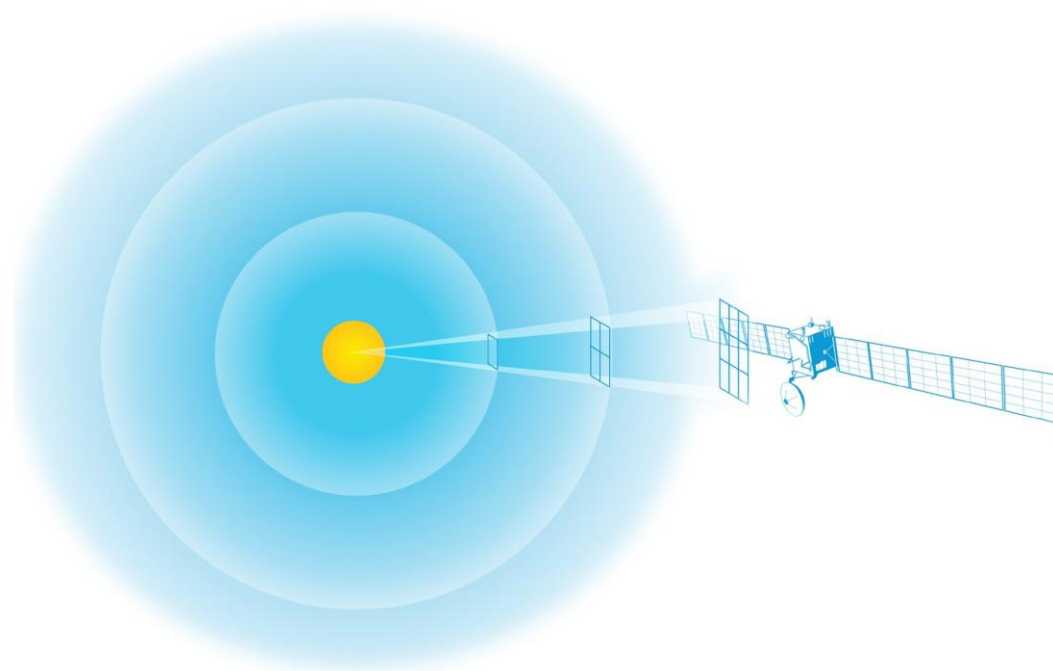


učenje z vesoljem

→ ENERGIJA IZ SONČNE SVETLOBE

Zagotavljanje vesoljskega raziskovanje s sončno energijo





Vodnik za učitelje

Pregled	stran 3
Povzetek dejavnosti	stran 4
Uvod	stran 5
Dejavnost 1: Obratni kvadratni zakon	stran 7
Dejavnost 2: Vpadni kot	stran 9
Dejavnost 3: Raziskovanje vesolja s sončno energijo	stran 11
Delovni list za učence	stran 13
Povezave	stran 21
Priloga 1: Obratni kvadratni zakon	stran 22
Priloga 2: Vpadni kot	stran 24

učenje z vesoljem – energija iz sončne svetlobe | P09
www.esa.int/education

V pisarni za izobraževanje ESA smo veseli vseh povratnih informacij in komentarjev
teachers@esa.int

Izdelek ESA Education
Copyright 2018 © European Space Agency

→ ENERGIJA IZ SONČNE SVETLOBE

Zagotavljanje vesoljskega raziskovanja s sončno energijo

Hitra dejstva

Predmet: fizika

Starostni razpon: 14–18 let

Tip: dejavnost za dijake

Zahtevnost: srednja

Strošek: nizek

Čas za pripravo učitelja: 1 ura

Čas izvedbe: 1 ura in 30 minut (plus 20 minut za sestavljanje poskusa)

Lokacija: učilnica

Potrebna oprema: sončne celice

Ključne besede: fizika, sončna energija, obratni kvadratni zakon, jakost svetlobe, vpadni kot, sončni sistem

Kratek opis

V tem sklopu dejavnosti bodo dijaki spoznali dva koncepta, ki vplivata na zasnovo solarnih plošč za vesoljske odprave: obratni kvadratni zakon in vpadni kot. Učenci bodo opravili dve enostavni preiskavi s pomočjo fotonapetostne celice (sončne celice) in vira svetlobe. Najprej bodo izmerili, kako se moč, ki jo proizvajajo sončne celice, spreminja z razdaljo od svetlobnega vira, in s poskusom poskušali pridobiti obratni kvadratni zakon za jakost svetlobe. Dijaki bodo nato izvedli drugi poskus, da bodo raziskali odvisnost izhodne moči sončne celice od vpadnega kota. Nazadnje bodo te koncepte uporabili za resnične vesoljske odprave ESA.

Učni cilji

- Razumevanje in izračun jakosti svetlobe.
- Razumevanje vpadnega kota.
- Spoznavanje sončnih celic.
- Izvedba praktičnih poskusov za raziskovanje obratnega kvadratnega zakona svetlobe in vpliva vpadnega kota svetlobe.
- Analiziranje in risanje podatkov.
- Konstruiranje preprostih električnih vezij s sončnimi celicami.
- Spoznavanje razlike električnih potencialov, električnega toka, moči in jakosti svetlobe.
- Raziskovanje potreb po sončni energiji na vesoljskih odpravah.

→ Povzetek dejavnosti

Povzetek dejavnosti					
	Naslov	Opis	Cilj	Zahteve	Čas
1	Obratni kvadratni zakon	Preučevanje obratnega kvadratnega zakona jakosti svetlobe s poskusom.	Razumevanje obratnega kvadratnega zakona in njegovega vpliva na izhodno moč sončnih celic.	Brez	20 minut za izdelavo poskusa; 30 minut za dejavnost.
2	Vpadni kot	Raziskovanje vpadnega kota s poskusom.	Razumevanje vpadnega kota in njegovega vpliva na izhodno moč sončnih celic.	Priporočamo izvedbo dejavnosti 1.	30 minut
3	Raziskovanje vesolja s sončno energijo	Vaja z uporabo obratnega kvadratnega zakona na resničnih vesoljskih odpravah ESA.	Razumevanje prednosti in slabosti sončne energije za raziskovanje vesolja.	Priporočamo izvedbo dejavnosti 1.	30 minut

→ Uvod

Sončna energija se pogosto uporablja pri vesoljskih odpravah, ker je edini vir energije, ki ga ni treba izstreliti z vesoljskim plovilom in lahko napaja vesoljsko plovilo več let. V tem gradivu bomo raziskali dva pomembna dejavnika, ki ju je treba upoštevati pri načrtovanju sončnih plošč za vesoljske odprave: obratni kvadratni zakon in vpadni kot.

Obratni kvadratni zakon

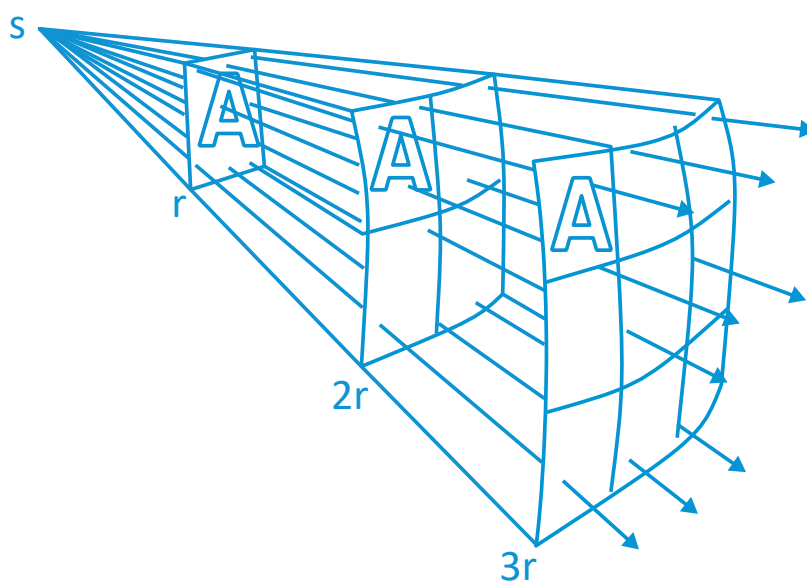
Obratni kvadratni zakon pravi, da je vrednost fizikalne količine obratno sorazmerna s kvadratom razdalje od vira te fizikalne količine. Eden najbolj znanih primerov tega je obratni kvadratni zakon svetlobe; tok, ki ga prejme svetlobni vir, je obratno sorazmeren s kvadratom razdalje od svetlobnega vira. Pri svetlobi je tok količina moči, ki seva skozi dano območje. Za sferični vir svetlobe, kot je Sonce, je tok enak **intenzivnosti sevanja** (I). Sonce oddaja svetlobo enakomerno v vse smeri, zato bo intenzivnost sevanja sledila obratnemu kvadratnemu zakonu z oddaljenostjo od Sonca. Obratni kvadratni zakon je za ta primer povzet v naslednji enačbi:

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

I = intenziteta sončnega sevanja
 r = oddaljenost od sonca

Če je torej planet ali vesoljsko plovilo dvakrat dlje od Sonca kot Zemlja, bo intenziteta sončnega sevanja znašala le četrtno tiste, izmerjene na Zemlji (slika 1).

Slika 1

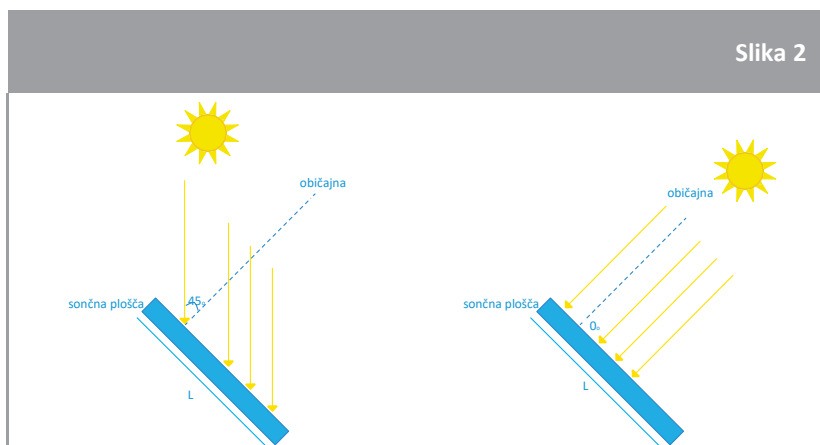


↑ Sonce v točki S enakomerno oddaja svetlobo v vse smeri. Na razdalji r gre svetloba skozi območje A. Ko se razdalja podvoji ($2r$), se območje poveča štirikrat ($4A$); in ko se razdalja potroji, območje postane $9A$.

Razumevanje obratnega kvadratnega zakona ima pomembne posledice za vesoljske odprave, ki jih poganjajo sončne celice. Bolj kot je vesoljsko plovilo na sončni pogon oddaljeno od Sonca, večja mora biti površina njegovih sončnih plošč, da zadosti enakim zahtevam glede moči.

Vpadni kot

Vpadni kot θ sončne svetlobe na sončni plošči je prav tako pomemben dejavnik za proizvodnjo električne energije. Sončna plošča bo najučinkoviteje zbirala sončno energijo, ko sončni žarki padajo pravokotno na njeno površino, z vpadnim kotom 0° , saj to poveča efektivno zbiralno površino (glejte sliko 2). Za sončno ploščo z dolžino L je efektivna zbiralna površina enaka $L \cdot \cos(\theta)$, zato je intenzivnost na sončnem sestavu prav tako $L \cdot \cos(\theta)$.



↑ Vpadni kot 45° (levo) in 0° (desno). Vpadni kot je kot med vpadnimi sončnimi žarki in normalo na sončne plošče (z dolžino L). Ko so sončni žarki pravokotni na sončno ploščo, imajo vpadni kot 0° .

Za vesoljske odprave je vpadni kot sončne svetlobe ključni dejavnik.

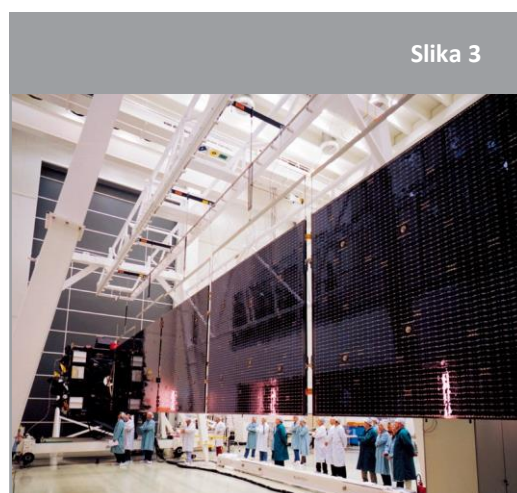
Številna vesoljska plovila so opremljena z vrtljivimi sončnimi ploščami, da zmanjšajo vpadni kot sončne svetlobe in s tem povečajo proizvodnjo energije.

Sončna energija za vesoljske odprave

Primeri, kako obratni kvadratni zakon in vpadni kot vplivata na načrtovanje vesoljskih odprav.

Rosetta

Odprava ESA Rosetta je potovala več kot 10 let, da bi se srečala s kometom 67P/Churyumov-Gerasimenko. Na najbolj oddaljeni točki svojega potovanja je bila Rosetta 800 milijonov kilometrov od Sonca, kjer ravni sončne svetlobe predstavljajo le 4 % tiste, ki jo prejme Zemlja. To je prva odprava, ki potuje onkraj glavnega asteroidnega pasu in se za proizvodnjo energije zanaša izključno na sončne celice. Njene sončne plošče so dolge 32 metrov in imajo skupno površino 64 m^2 (glejte sliko 3).



↑ Vesoljsko plovilo Rosetta s popolnoma aktiviranimi od svojih dveh sončnih kril.

BepiColombo



↑ Namestitev sončnega krila na modul za transfer BepiColombo.

Velik del vhodne svetlobe, ki doseže sončne celice, se pretvori v toploto. Odprava ESA BepiColombo proti Merkurju bo letela blizu Sonca, kjer bo učinek segrevanja posledično zelo velik. Če so sončne plošče BepiColombo usmerjene neposredno v Sonce za več kot nekaj sekund, bi se materiali poškodovali in sončne plošče bi prenehale delovati. Da bi sončne plošče ostale hladnejše (okoli 200°C), so nagnjene stran od sonca. Za proizvodnjo električne energije, morajo biti sončne plošče veliko večje, kot če bi površino izračunali samo z obratnim kvadratnim zakonom. Za BepiColombo morajo biti plošče dolge 42 m (glejte sliko 4).

→ Dejavnost 1 – Obratni kvadratni zakon

Pri tej praktični dejavnosti bodo učenci izračunali izhodno moč sončne plošče z merjenjem električnega toka in razlike električnega potenciala ter iz svojih poskusnih meritev poskušali pridobiti obratni kvadratni zakon .

Oprema:

- delovni listi in priloga 1 za vsako skupino
- temna škatla (odprta na enem delu)
- električni kabli
- lepilni trak
- vir svetlobe (majhna žarnica, 4,5 V; 0,3 A)
- ravnilo
- 30-cm palica (na primer lesena palica)
- material za blokiranje svetlobe (na primer goba, krpa)
- ampermeter in voltmeter (ali multimeter)
- sponke

Vaja

Dijake razdelite v skupine po tri ali štiri. Razdelite delovne liste, vsaki skupini tudi prilogo 1. Pred začetkom poskusa dijake seznanite s pojmom jakost sevanja.

↑ Priprava poskusa

Dijaki bodo najprej morali pripraviti poskus. Dokončati morajo korake od 1 do 9 iz priloge 1. Pri koraku 9 se prepričajte, da dijaki označijo razdaljo nič, ko se vir svetlobe dotika sončne celice. Po končani namestitvi se morajo prepričati, ali vsa oprema deluje in je pravilno povezana.

Poskus

Dijaki morajo opraviti svoje meritve razlike električnega potenciala (U) in električnega toka (I). Upoštevajo naj korake od 10 do 12 v prilogi 1 in svoje podatke zabeležijo v tabeli 1 na delovnem listu.

Preden opravijo prvo meritev, morajo palico umakniti za vsaj 5 cm. Za vsako naslednjo meritev morajo vir svetlobe umakniti za 1 cm, dokler ne dosežejo razdalje približno 30 cm. Idealno bi bilo, da dijaki izmerijo 20 do 30 različnih razdalj. Možno je uporabiti večje intervale, vendar je lahko padec izhodne moči prehitel, da bi opazili obratni kvadratni zakon; variacija je odvisna od vira svetlobe in sončnih celic. Svetujemo, da pred izvedbo poskusa skupaj z dijaki preizkusite optimalne razdalje.

Dijaki naj meritve ponovijo še dvakrat in izračunajo povprečje. Pogovorite se o zanesljivosti rezultatov in znanstvenem procesu.

Dijaki naj izpolnijo tabelo 1 na svojem delovnem listu in izračunajo izhodno moč:

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

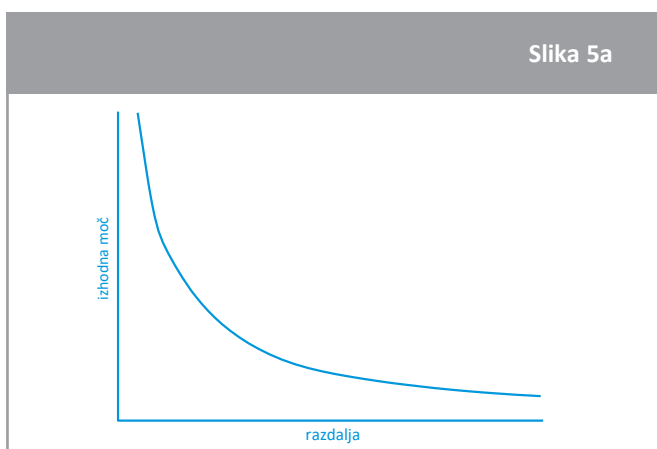
Rezultati

Pri analizi teh rezultatov predpostavljamo, da je moč, ki jo proizvedejo sončne celice, neposredno sorazmerna z močjo, ki jo prejme sončna celica (proizvedena moč = prejeta moč x učinkovitost celice). Prejeta moč je sorazmerna z jakostjo svetlobe iz svetlobnega vira (ker je jakost = moč/površina, površina pa ostaja enaka skozi ves poskus). Zato lahko rečemo, da je moč, ki jo proizvede fotovoltaična celica, sorazmerna z jakostjo svetlobe.

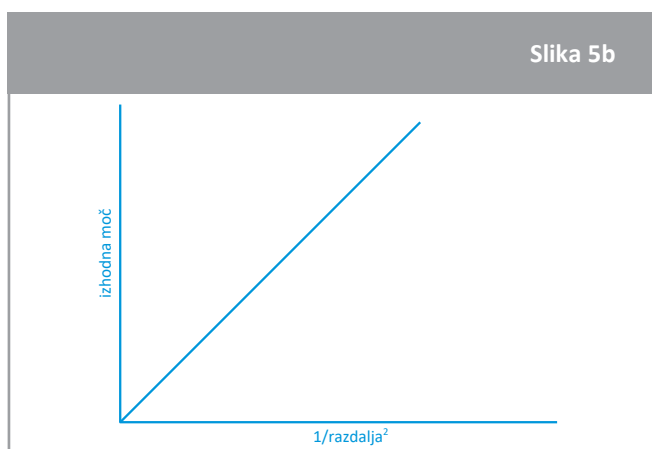
Da bi upoštevali obratni kvadratni zakon, mora biti moč, ki jo proizvede sončna plošča (P), sorazmerna s kvadratom razdalje (r).

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

Za analizo svojih podatkov učenci narišejo moč kot funkcijo razdalje (slika 5a) in moč kot funkcijo $1/\text{razdalja}^2$ (slika 5b); drug izris mora pokazati ravno črto.



↑ Graf pričakovane izhodne moči glede na razdaljo.



↑ Graf pričakovane izhodne moči glede na $1/\text{razdalja}^2$.

Učenci morda ne bodo dobili natančnega obratnega kvadratnega zakona. Spodaj je nekaj dejavnikov, ki lahko vplivajo na rezultate:

- V škatli morda ni popolnoma temno, zato nihanja zunanje svetlobe vplivajo na meritve.
- V tej postavitvi lahko pri merjenju razdalje pride do napake.
- Morda pride do notranje razpršitve svetlobe.
- Notranji upor sončne celice se lahko med poskusom spreminja.
- Meritve v bližini sončne celice morda ne sledijo obratnemu kvadratnemu zakonu, ker vira svetlobe ni mogoče približati točkovnemu viru.

Dijakibi morali zaključiti, da potrebujemo 4-krat večje sončne plošče za enako količino energije, če podvojimo razdaljo do vira svetlobe.

→ Dejavnost 2: Vpadni kot

Pri tej dejavnosti bodo dijaki spoznali pomen vpadnega kota in prednosti optimalne postavitve sončnih celic. S poskusom bodo izmerili, kako vpadni kot vpliva na izhodno moč.

Oprema:

- delovni listi in priloga 2, natisnjena za vsako skupino
- poskusna postavitve iz dejavnosti 1 (glejte prilogo 2)
- palica za vrtenje sončne celice (na primer palica za žar)
- kotomer

Vaja

Za to dejavnost ponovno ustvarite skupine s 3 ali 4 dijaki. Razdelite delovne liste, vsaki skupini še prilogo 2.

Pred začetkom poskusa dijake seznanite s pojmom vpadnega kota.

↑ Priprava poskusa

Dejavnost 2 je nadaljevanje dejavnosti 1. Dijaki bodo morali posodobiti svojo poskusno postavitve, da bodo lahko nagnili sončno ploščo pod določenim kotom. Po korakih od 1 do 7 v prilogi 2¹ morajo prilagoditi poskus iz dejavnosti 1. Pred začetkom meritev se morajo prepričati, ali vsa oprema deluje in je pravilno povezana.

Poskus

Dijaki morajo opraviti meritve, kot je opisano v korakih od 8 do 10 v prilogi 2, in jih zabeležiti v tabelo 2 na delovnem listu. Meritve naj ponovijo še dvakrat, pri čemer morajo zagotoviti, da so vsi pogoji podobni, in izračunajo srednjo moč za vsak vpadni kot.

¹ Če dijaki še niso opravili dejavnosti 1, morajo upoštevati navodila korakov od 1 do 7 v prilogi 1 za pripravo poskusa, preskočiti korak 5, nato pa slediti navodilom v prilogi 2.

Rezultati

Dijaki naj narišejo srednjo moč kot funkcijo vpadnega kota.

Iz svojih podatkov ugotovijo, da je izhodna moč največja, ko je sončna plošča pravokotna na svetlobne žarke (vpadni kot = 0°).

Čeprav bi moral pričakovani odčitek, ko je sončna celica vzporedna z virom svetlobe (vpadni kot = 90°), načeloma znašati nič, to ne bo možno, predvsem zaradi razpršitve svetlobe znotraj škatle.

Tudi če je svetilka ugasnjena, lahko v tokokrogu še vedno obstaja merljiv preostali tok (temni tok). Pri izvajanju znanstvenih poskusov, ki zahtevajo natančne meritve, je treba vrednosti popraviti tako, da se ta napaka odšteje od odčitkov.

Če učenci nagnejo svoje sončne celice tako, da imajo vpadni kot = -30° , -60° in -90° , bi morali dobiti podobne vrednosti, ker je sistem simetričen. Eksperimentalno gledano bo to odvisno od tega, kako dobro je sistem usklajen.

Nekateri viri napak so že bili omenjeni v dejavnosti 1. Pri tej dejavnosti moramo upoštevati tudi negotovost pri merjenju kota in poravnavo sončne plošče v škatli kot enega od možnih virov napake.

Na koncu morajo dijaki odgovoriti na vprašanje 9 na delovnem listu in ugotoviti, da mora biti za največjo možno izhodno moč sončne plošče vpadni kot blizu 0° . Predlagajo lahko mehanizem za sledenje soncu s sončnimi ploščami, ki se vrtijo in nagibajo glede na navidezno gibanje sonca.

Pri teh poskusih je učinek segrevanja zanemarljiv, saj je skupna energija žarnice le nekaj vatov. Pri vesoljskih plovilih, ki letijo blizu Sonca, kot je BepiColombo, je učinek segrevanja velik in ima velik vpliv na zasnovo misije. Dodaten vidik, ki ga je treba upoštevati: sončne celice se na Zemlji lahko hladijo z zrakom, kar pa ne velja za vakuum v vesolju.

→ Dejavnost 3: Raziskovanje vesolja s sončno energijo

Pri tej dejavnosti dijaki vadijo uporabo obratnega kvadratnega zakona za resnične vesoljske odprave ESA. Odkrili bodo, kako lastnosti obratnega kvadratnega zakona vplivajo na velikost sončnih plošč, in da je vpadni kot ključnega pomena za odprave v bližino Sonca.

Rezultati

1. Intenzivnost svetlobe, prejete na povprečni oddaljenosti Zemlje od Sonca (I_{Zemlja}), je mogoče izračunati z uporabo obratnega kvadratnega zakona in vrednosti, navedenih na delovnem listu:

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

2. Na razdalji 45 milijonov km od Sonca se jakost svetlobe izračuna kot:

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

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

Na tej oddaljenosti od Sonca je jakost svetlobe 11-krat večja kot na oddaljenosti Zemlje. Toplotna škoda na sončnih ploščah bo znatna, kar pomeni da jih je treba trajno nagniti stran od Sonca. To pomeni, da je realna površina sončnih plošč v izmeri 42 m² veliko večja, kot če bi bilo možno sončne plošče obrniti neposredno proti Soncu.

3. Vesoljsko plovilo ESA Rosetta je sledilo poti, ki ga je odvedla 800 milijonov km stran od Sonca. Na tej razdalji se jakost svetlobe izračuna kot:

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

V primerjavi z I_{Zemlja} :

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

Intenzivnost svetlobe na razdalji 800 milijonov km od Sonca je približno 3,5 % jakosti svetlobe na oddaljenosti Zemlje od Sonca.

4. Čeprav so jih napajale visoko učinkovite sončne celice, so imele sončne plošče Rosetta različno učinkovitost, in sicer med 18 in 26 %. V kombinaciji z nizko intenzivnostjo svetlobe na najbolj oddaljeni točki v orbiti so morale imeti sončne plošče Rosette zelo veliko površino – 64 m². Ob predpostavki, da bi bila edina spremenljivka razlika v jakosti svetlobe, če bi Rosetta krožila na razdalji Zemlje, bi bila površina sončnih plošč samo:

$$A_{\text{Zemlja}} = 0,035 \times 64 \text{ m}^2 = 2,24 \text{ m}^2$$

5. Z uporabo obratnega kvadratnega zakona je jakost svetlobe na oddaljenosti Saturna podana z:

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

Podobno kot pri izračunu razdalje Zemlje: $I_{\text{Rosetta}} = 3.1 I_{\text{Saturn}}$

To pomeni, da bi morale biti sončne plošče 3,1-krat večje na razdalji 1,4 milijarde km, v primerjavi z oddaljenostjo 800 milijonov km od Sonca.

$$A_{\text{Saturn}} = 3,1 \times 64 \text{ m}^2 = 198,4 \text{ m}^2$$

6. Energijske zahteve odprave Cassini-Huygens so 2,2-krat večje od Rosettinih ($885 \text{ W} / 395 \text{ W} = 2,2$), zato uporablja jedrski vir energije, imenovan radioizotopski termoelektrični generator. Če bi namesto tega uporabila sončne sklope, bi morala biti površina sončnega sklopa 2,2-krat večja od vrednosti, izračunane v vprašanju 4.

$$A_{\text{Cassini-Huygens}} = 2,2 \times 198,4 \text{ m}^2 = 436,5 \text{ m}^2$$

7. Sončne plošče imajo maso na kvadratni meter:

$$\frac{51,2 \text{ kg}}{64 \text{ m}^2} = 0,8 \text{ kg m}^{-2}$$

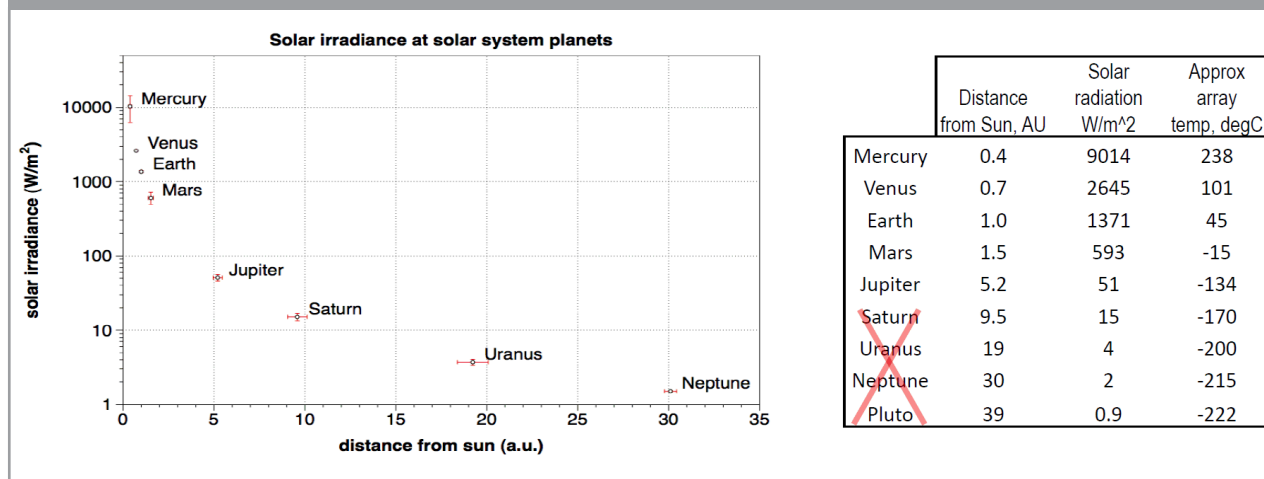
Skupna masa sončnih plošč, potrebnih za napajanje Cassinija, bi bila torej približno:

$$0,8 \text{ kg m}^{-2} * 436,5 \text{ m}^2 = 349,2 \text{ kg}$$

Radioizotopski termoelektrični generatorji so tehtali 56,4 kg. Povečanje mase bi znašalo 292,8 kg.

8. Sončna energija je zelo pomembna, ker predstavlja obnovljiv vir energije in ker ni izstreljena z vesoljskim plovilom. Zaradi obratnega kvadratnega zakona jakost svetlobe hitro pada z oddaljenostjo od Sonca (glej sliko 6). To pomeni, da so potrebni večji sončni sklopi za zagotavljanje potreb po energiji na plovilu dlje od Sonca in da je na razdaljah onkraj Jupitra dejansko pretemno za uporabo sončne energije.

Slika 6



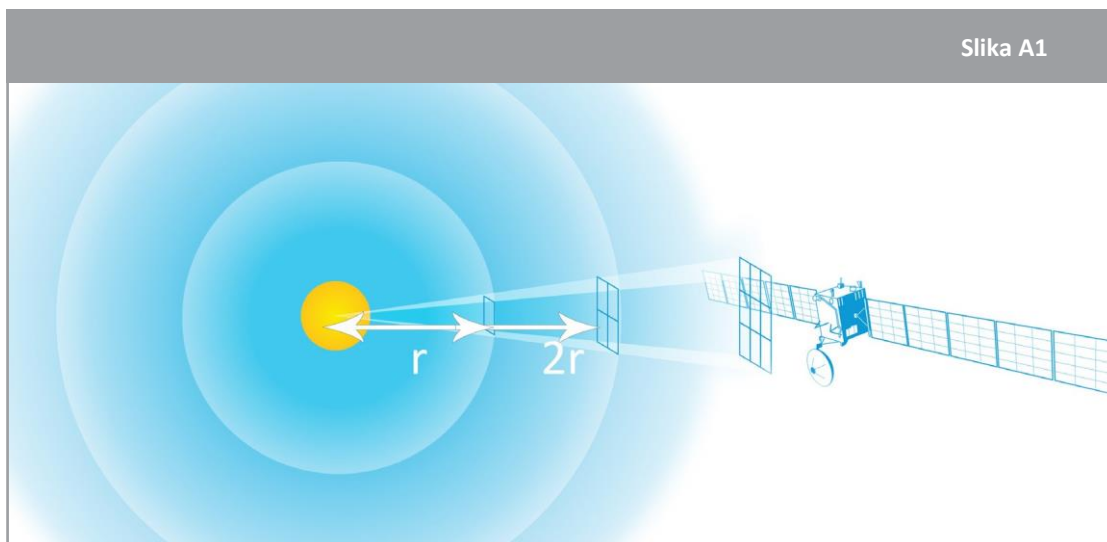
↑ Sončno sevanje (svetlobna jakost) na planetih sončnega sistema.

Kot je izračunano v vprašanju 6; če bi odprava Cassini-Huygens potrebovala sončne plošče, bi bila njihova masa šestkrat večja od mase radioizotopskih termoelektričnih generatorjev! Upoštevanje mase je zelo pomembno za raziskovanje vesolja, saj je za vsak dodaten kilogram potrebno več goriva, da uideemo gravitaciji Zemlje. Vendar je treba upoštevati varnostne omejitve, povezane zlasti z jedrsko energijo.

→ ENERGIJA IZ SONČNE SVETLOBE

Zagotavljanje vesoljskega raziskovanja s sončno energijo

→ Dejavnost 1: Obratni kvadratni zakon



↑ Sonce enakomerno oddaja svetlobo v vse smeri. Na razdalji r gre svetloba skozi območje A . Ko se razdalja podvoji ($2r$), bo enaka količina svetlobe pokrila štirikrat večje območje ($4A$).

Sonce oddaja svetlobo enakomerno v vse smeri (glej sliko A1), zato bo jakost svetlobe (I) na dani razdalji (r) enaka skupni moči, ki jo oddaja Sonce, porazdeljeni na kroglo polmera (r) s površino $4\pi r^2$.

$$\text{Intenzivnost sončnega sevanja (W/m}^2\text{)} = \frac{\text{Moč, ki jo oddaja sonce (W)}}{4\pi r^2(\text{m}^2)} \quad (1)$$

Vesoljska plovila v osončju izkusijo velike razlike v količini sončne svetlobe, ki jo prejmejo glede na njihovo oddaljenost od Sonca.

Ali veš?

Plovilo SMART-1, ki je bilo izstreljeno septembra 2003, je postalo prva odprava ESA na Luno. To je bila prva odprava z namenom zapustiti Zemljino orbito izključno z uporabo sončne energije – čeprav počasi – in s 13 meseci postaviti rekord za najdaljše potovanje na Luno. Plovilo SMART-1 je podrlo rekord najnižje porabe goriva na kilometer za katero koli potovanje na Luno, saj je večino električne energije črpalo iz sončnih plošč na svojih krilih; vsako krilo je bilo dolgo približno 7 m.



Poskus

V tem poskusu boste poskusili pridobiti obratni kvadratni zakon za izhodno moč sončne celice.

- Poskus pripravite po navodilih v prilogi 1, od koraka 1 do koraka 10.
- Prepričajte se, da je vsa oprema povezana in deluje pravilno.
- Začnite z meritvami. Sledite navodilom v korakih 11 in 12.
- Svoje meritve razlike električnega potenciala (U) in odčitke električnega toka (I) zabeležite v tabeli 1.
- Meritve ponovite še dvakrat.
- Izračunajte izhodno moč sončne celice in izpolnite tabelo 1.

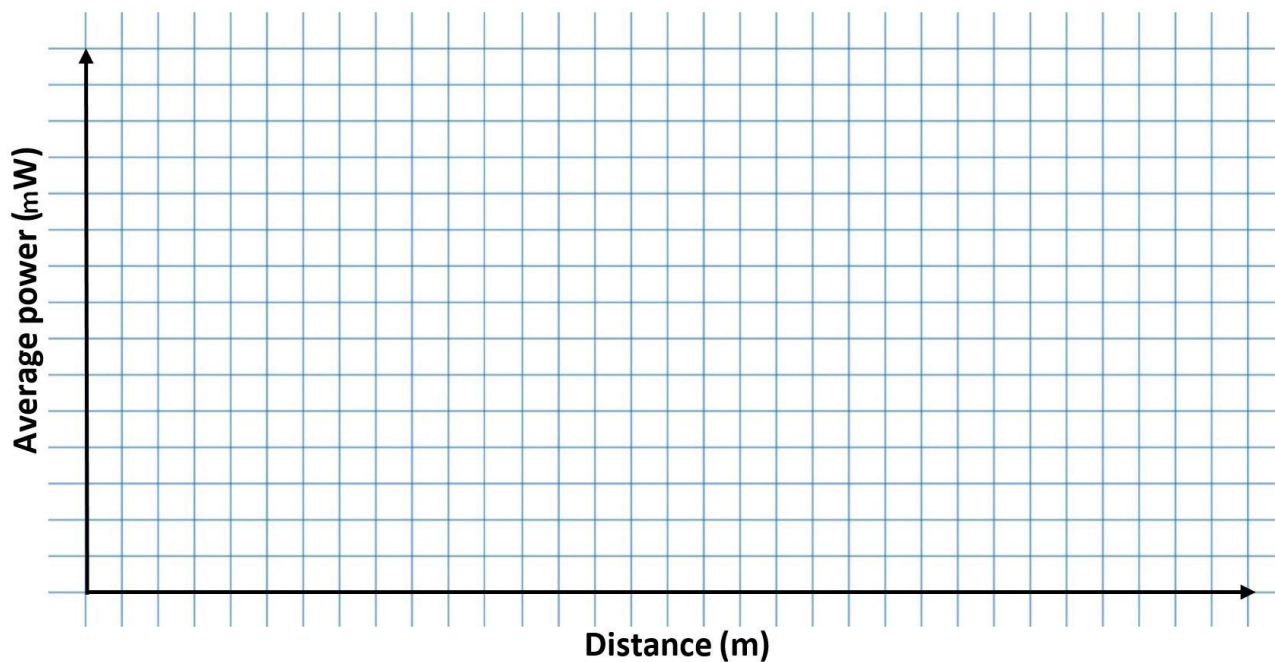
$$P(W) = I (A) * U (V)$$

- Izračunaj povprečno moč za vsako razdaljo.

										Tabela 1
Razdalja	Poskus 1			Poskus 2			Poskus 3			Povpr. P (mW)
	U (V)	I (mA)	P (mW)	U (V)	I (mA)	P (mW)	U (V)	I (mA)	P (mW)	

↑ Tabela za zapise razlike električnega potenciala (U), toka (I) in ustrezne izhodne moči (P)

1. Nariši povprečno izhodno moč kot funkcijo razdalje svetlobnega vira:



2. Ali izhodna moč sončne celice sledi obratnemu kvadratnemu zakonu? Pojasni.

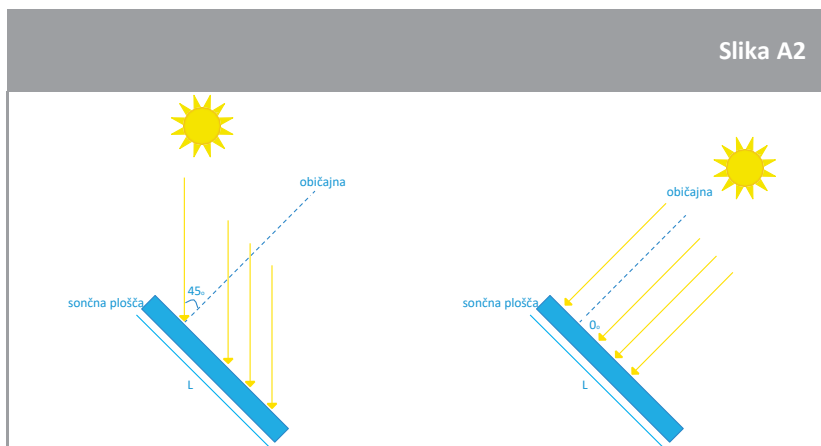
3. Katere negotovosti ima poskus? Kako vplivajo na tvoj rezultat?

4. Če podvojimo razdaljo do vira svetlobe, kako velike morajo biti sončne plošče, da proizvedejo enako moč?

- Morale bi biti manjše.
- Morale bi biti 2-krat večje.
- Morale bi biti 4-krat večje.
- Morale bi biti 9-krat večje.

→ Dejavnost 2: Vpadni kot

Vpadni kot sončne svetlobe na sončne celice je pomemben dejavnik. Vpadni kot je kot med vpadnimi sončnimi žarki in normalo na sončne plošče. Ko so sončni žarki pravokotni na sončno ploščo, imajo vpadni kot 0°.



↑ Predstavitev vpadnega kota 45° (levo) in 0° (desno).

1. Pred začetkom meritev napovej, kateri vpadni kot bo ustvaril največjo moč. Pojasi svoje ugibanje.

Poskus

V tem poskusu boste izmerili, koliko vpadni kot vpliva na izhodno moč sončnih celic.

- Poskusno postavitve iz dejavnosti 1 prilagodite tako, da upoštevate korake od 1 do 7 v navodilih v prilogi 2.
- Poskus opravi po navodilih v korakih 8 do 10 Priloge 2. Svoje meritve razlike električnega potenciala (U) in električnega toka (I) za različne vpadne kote zabeleži v tabeli 2 spodaj.
- Meritve ponovite še dvakrat.
- Izračunajte izhodno moč sončne celice in izpolnite tabelo 2.

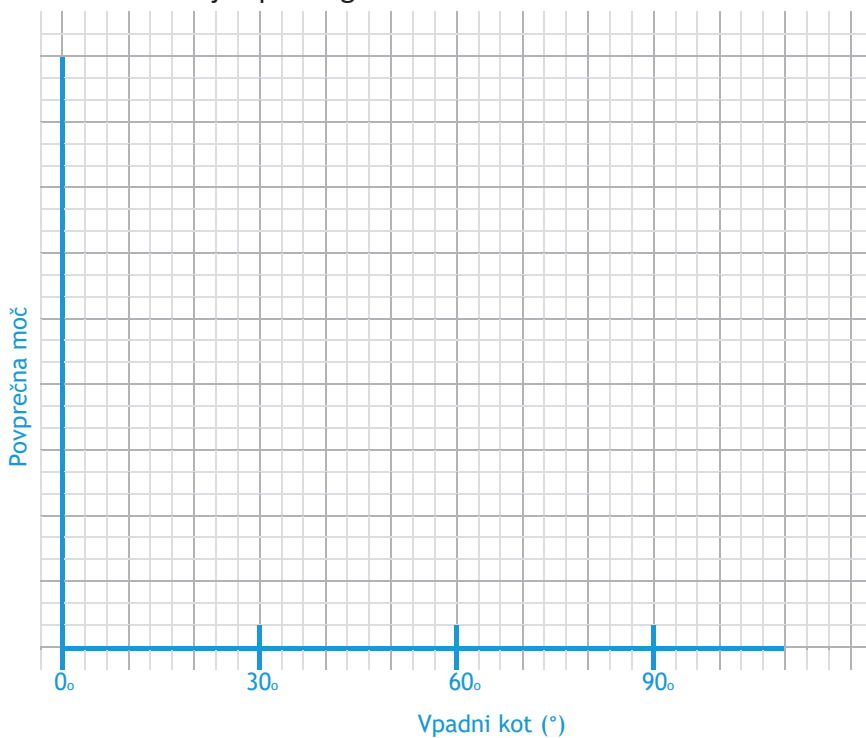
$$P(W) = I (A) * U (V)$$

- Izračunaj povprečno moč za vsak vpadni kot.

Tabela 2										
Razdalja	Poskus 1			Poskus 2			Poskus 3			Povpr. 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°										

↑ Zapiši razlike električnega potenciala (U), električnega toka (I) in izhodne moči (P) za različne vpadne kote.

2. Nariši povprečno moč kot funkcijo vpadnega kota:



3. Kateri vpadni kot ustvari največjo izhodno moč? _____

4. Je bila tvoja napoved pri vprašanju 1 pravilna? Če ni bila; lahko pojasniš, zakaj se je razlikovala?

5. Zakaj izhodna moč ni enaka nič, ko je sončna celica vzporedna z virom svetlobe? (Vpadni kot = 90 °)

6. Pričakuješ odčitek kakršne koli izhodne moči, če izvedeš poskus z ugasnjeno svetilko? Preizkusi svoje ugibanje in pojasni svoje ugotovitve.

7. Kakšne vrednosti moči so pričakovane, če se izvede poskus z vpadnim kotom pri -30° , -45° , -60° in -90° ? Utemelji svoj odgovor.

8. Katere so glavne negotovosti v poskusu? Imajo tvoje meritve kakšne napake?

9. Izmeril/-a si, kako je moč odvisna od vpadnega kota. Kako bi zgradil/-a svoje sončne celice, da bi povečal/-a izhodno moč?

Ali veš?

Mednarodno vesoljsko postajo (ISS) napajajo sončne plošče. Slika na desni prikazuje nekatere sončne plošče na ISS, ki je dom do šestim astronautom hkrati. Med kroženjem ISS okoli Zemlje je mogoče sončne plošče obrniti tako, da so bolj neposredno usmerjene v Sonce. Paneli se raztezajo na površini 2500 m^2 – to je enako velikosti polovice nogometnega igrišča!



→ Dejavnost 3: Raziskovanje vesolja s sončno energijo

Kdaj je dobro uporabiti sončno energijo za raziskovanje vesolja in kako lahko svoje znanje o obratnem kvadratnem zakonu in vpadnem kotu uporabimo sebi v prid?

Odprava ESA Rosetta, ki je potovala 800 milijonov km od Sonca, je potrebovala ogromne sončne plošče, da je lahko proizvedla dovolj energije za delovanje svojih sistemov. V nasprotju pa **odprava ESA BepiColombo** proti Merkurju potuje tako blizu Sonca, da bo deležna ogromne količine sevanja, ki je lahko zelo škodljivo za sončne plošče.

Vaja

1. Zemlja je od Sonca oddaljena povprečno približno 150 milijonov km. Povprečna moč, ki jo oddaja Sonce, je $3,828 \cdot 10^{26} \text{W}$. Uporabi enačbo (1) v dejavnosti 1, da izračunaš jakost svetlobe na razdalji Zemlje (I_{Zemlja}).

2. Najmanjša razdalja odprave BepiColombo do Sonca bo približno 45 milijonov km. Da bi zmanjšali škodo na sončnih ploščah zaradi močne vročine, jih je treba nagniti stran od sonca. Izračunaj jakost svetlobe ($I_{\text{BepiColombo}}$) na tej razdalji. Primerjaj jo z I_{Zemlja} .

3. Največja oddaljenost Rosette od Sonca je bila 800 milijonov km. Izračunaj jakost svetlobe (I_{Rosetta}) na tej razdalji. Primerjaj jo z I_{Zemlja} .

4. Glede na potrebo po moči v kombinaciji z nizko jakostjo svetlobe na najbolj oddaljeni točki v orbiti so morale imeti sončne plošče Rosette zelo veliko površino – 64 m^2 . Kako velike bi morale biti sončne plošče, če bi bila Rosetta od Sonca oddaljena toliko kot Zemlja? Upoštevaj samo razliko v jakosti svetlobe in predpostavi, da vse druge spremenljivke ostanejo konstantne.

5. Zdaj pa si predstavljaš, da gre Rosetta raziskovat Saturn, ki je od Sonca oddaljen 1,4 milijarde km. Kako velike bi morale biti sončne plošče na tej razdalji? Upoštevaj samo razliko v jakosti svetlobe in predpostavi, da vse druge spremenljivke ostanejo konstantne.

6. Zadnjo odpravo na Saturn, Cassini-Huygens, so poganjali radioizotopski termoelektrični generatorji (RTG). Odprava Cassini-Huygens je potrebovala 885 W moči, Rosetta pa le 395 W. Izračunaj velikost sončnih plošč, ki bi bile potrebne za zagotavljanje energije odpravi Cassini-Huygens (na oddaljenosti Saturna), ob predpostavki, da bi bili podobni sončnim ploščam odprave Rosetta.

7. Radioizotopski termoelektrični generatorji, ki jih je uporabljala odprava Cassini-Huygens, so imeli maso 56,4 kg. Sončne plošče odprave Rosetta so imele maso 51,2 kg. Koliko bi se povečala masa odprave Cassini-Huygens, če bi uporabljala sončne plošče, kot je izračunano v vprašanju 5?

8. Kakšne so prednosti in slabosti uporabe sončne energije za raziskovanje vesolja?

→ Povezave

Viri ESA

Medpredmetni šolski projekt Moon Camp
esa.int/Education/Moon_Camp

Animacije o raziskovanju Lune
esa.int/Education/Moon_Camp/Making_a_Home_on_the_Moon

Viri ESA:

esa.int/Education/Classroom_resources

Vesoljski projekti ESA

Odprava ESA Rosetta esa.int/rosetta

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

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

Tehnične informacije v zvezi z vprašanji

Podatki o masi sončnih plošč odprave Rosetta (stran 10)
lpi.usra.edu/opag/nov_2007_meeting/presentations/solar_power.pdf

Efektivna moč, ki jo pri 5,25 AU ustvari odprava Rosetta (395 W, 64 m²)
esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/The_Rosetta_orbiter

Specifikacije za vesoljsko plovilo Cassini
fas.org/nuke/space/bennett0706.pdf

Podatki o masi sončnih plošč, ocenjeni iz diapozitiva 10
lpi.usra.edu/opag/nov_2007_meeting/presentations/solar_power.pdf

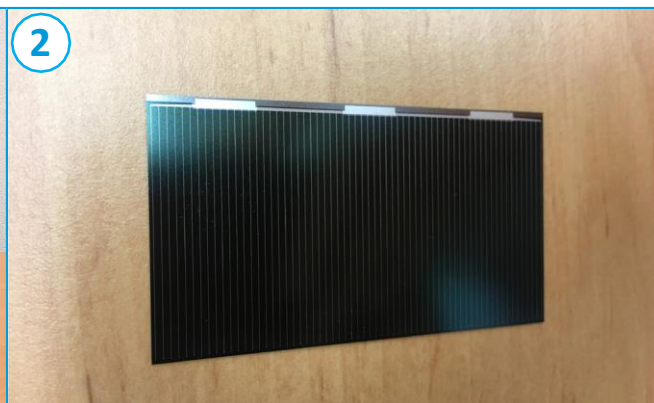
Vzpostavitev solarnega krila odprave BepiColombo
youtube.com/watch?v=Lhw4aojbkvs

→ Priloga 1 – Obratni kvadratni zakon



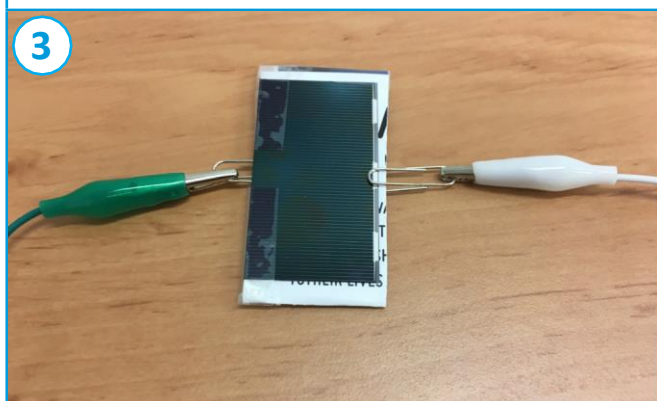
1

Potrebuješ temno škatlo (20–30 cm dolžine zadostuje za majhno žarnico).



2

Potrebuješ tudi sončno celico.



3

Priključi žice na sončno celico. Morda bo treba ustvariti priključne točke za žice glede na sončno celico, ki je na voljo. To lahko preprosto storiš s sponko za papir.



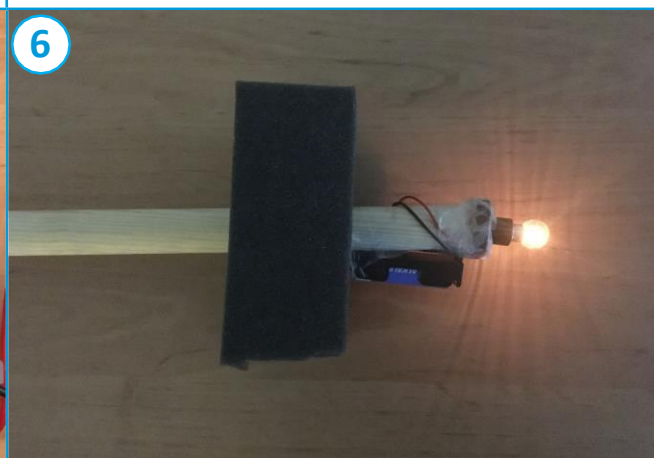
4

Pravilno delovanje svoje sončne celice preveri tako, tako da zaporedno povežeš ampermeter in vzporedno voltmeter (ali multimeter). Pokazati se morajo odčitki toka in razlike električnega potenciala.



5

Sončno celico pritrdi na notranjo stran škatle, kot je prikazano na sliki. Zapri škatlo.



6

Na konec palice pritrdi majhno luč z baterijo. Izreži kos materiala v dimenzijah prečnega prereza škatle, da preprečiš vdor svetlobe izza vira svetlobe, kot je prikazano na sliki.



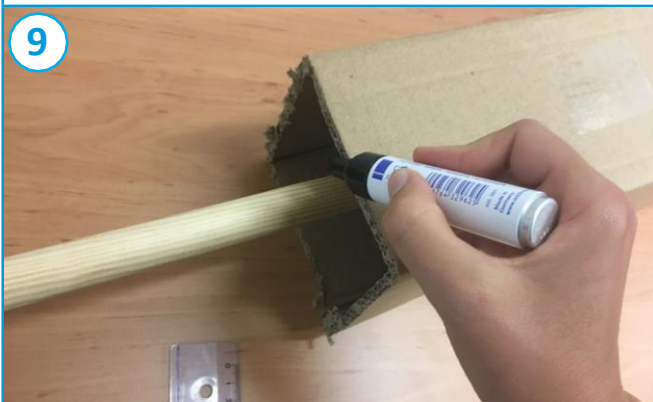
7

Vklopi vir svetlobe in vstavi palico v škatlo. Temna pena naj se čim tesneje prilega škatli, po potrebi škatlo svetlobno izoliraj s temnim selotejmom oziroma meritve opravi v temnem prostoru.



8

Palico previdno vstavi v škatlo, dokler se vir svetlobe ne dotakne sončne celice. Pazi, da ne poškoduješ sončne celice.



9

Zabeleži ta začetni položaj na palici z markerjem ali na palico pritrdi merilni trak in zabeleži vrednost.



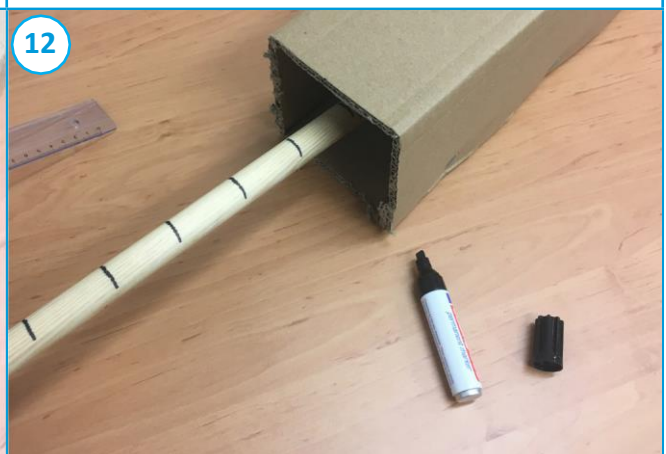
10

Poskus je pripravljen. Prepričaj se, da vsa oprema deluje in je pravilno priključena.



11

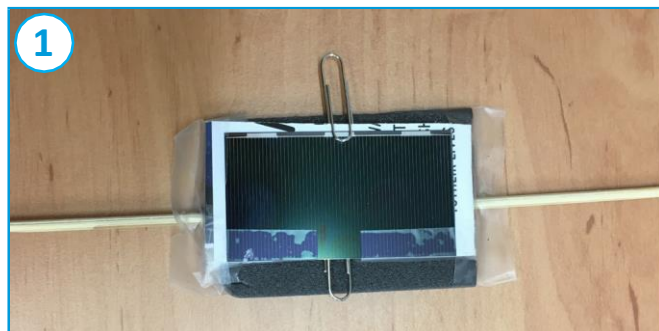
Odmakni vir svetlobe od sončne celice za 5 cm. Meritev toka in razlike električnega potenciala zapiši v tabelo 1 na svoj delovni list.



12

Vir svetlobe odmikaj od sončne plošče v korakih po 1 cm, dokler ni na robu škatle. Zapiši razliko električnega potenciala in tok na vsakem položaju. Meritve ponovi dvakrat pri enakih pogojih in razdaljah.

→ Priloga 2 – Vpadni kot



1

Uporabi opremo iz dejavnosti 1. Sončno celico pritrži na majhno palico. Tako jo bo mogoče vrteti znotraj škatle. Os vrtenja naj bo v središču sončne celice.



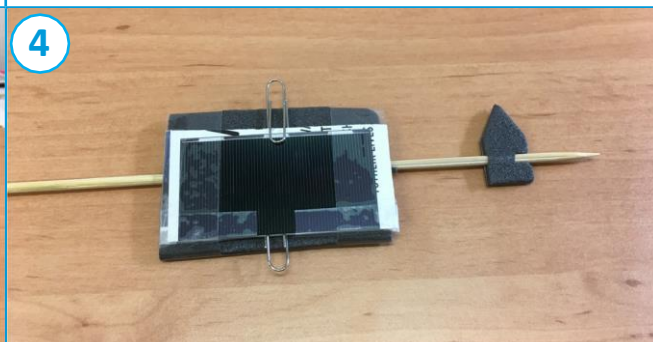
2

Uporabi škatlo iz dejavnosti 1. Označi točko na strani škatle, kjer bo palica šla skozi. Prepričaj se, da je postavljena na sredini navpične osi in z enako razdaljo od vrha do dna. Prepričaj se, da ima sončna celica dovolj prostora za prosto vrtenje.



3

Na navpični osi na eni strani škatle označi kote 0° , 30° , 45° , 60° in 90° stopinj (ali pritrži kotomer).



4

Na palico pritrži kos kartona v enaki smeri, kot jo ima sončna celica. To bo postavljeno na zunanji strani škatle in bo označevalo kot sončne celice znotraj zaprte škatle.



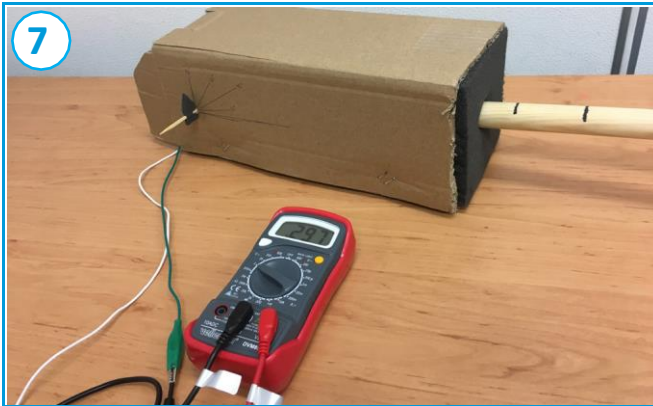
5

Sončno celico vstavi v škatlo. Nanjo zaporedno poveži ampermeter in vzporedno voltmeter (oziroma poveži multimeter). Zapri škatlo.



6

Vklopi vir svetlobe in ga vstavi v škatlo. Razdalja med virom svetlobe in sončno celico naj bo približno 10 cm. Ta razdalja naj bo konstantna ves čas poskusa (palica se ne sme premikati).



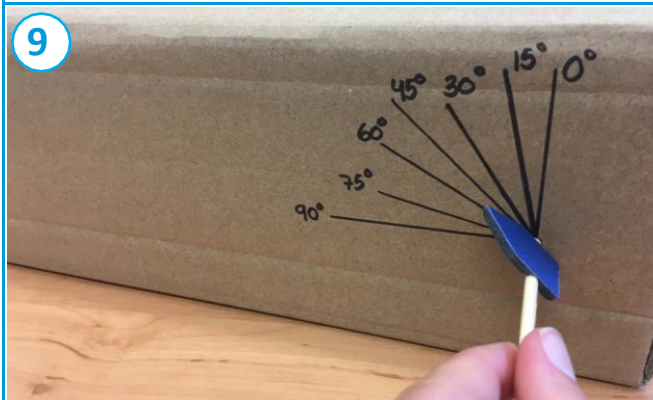
7

Preizkusi, ali deluje.



8

Izmeri tok in razlike električnega potenciala, ko je sončna celica pravokotna na vir svetlobe (vpadni kot 0°). Svoje meritve zabeleži v tabelo 2 v delovnem listu za učence.



9

Postopoma nagibaj sončno celico tako, da zasukaš majhno palico in odčitaš kot ob strani. Izmeri razlike toka in električnega potenciala pri vsakem kotu in jih zapiši v tabelo 2 v delovnem listu za učence.



10

Sončno celico sukaj, dokler ni vzporedna z virom svetlobe (vpadni kot 90°). Izmeri tok in razlike v električnem potencialu na tem mestu ter jih zabeleži v tabeli 2. Poskus ponovi še dvakrat