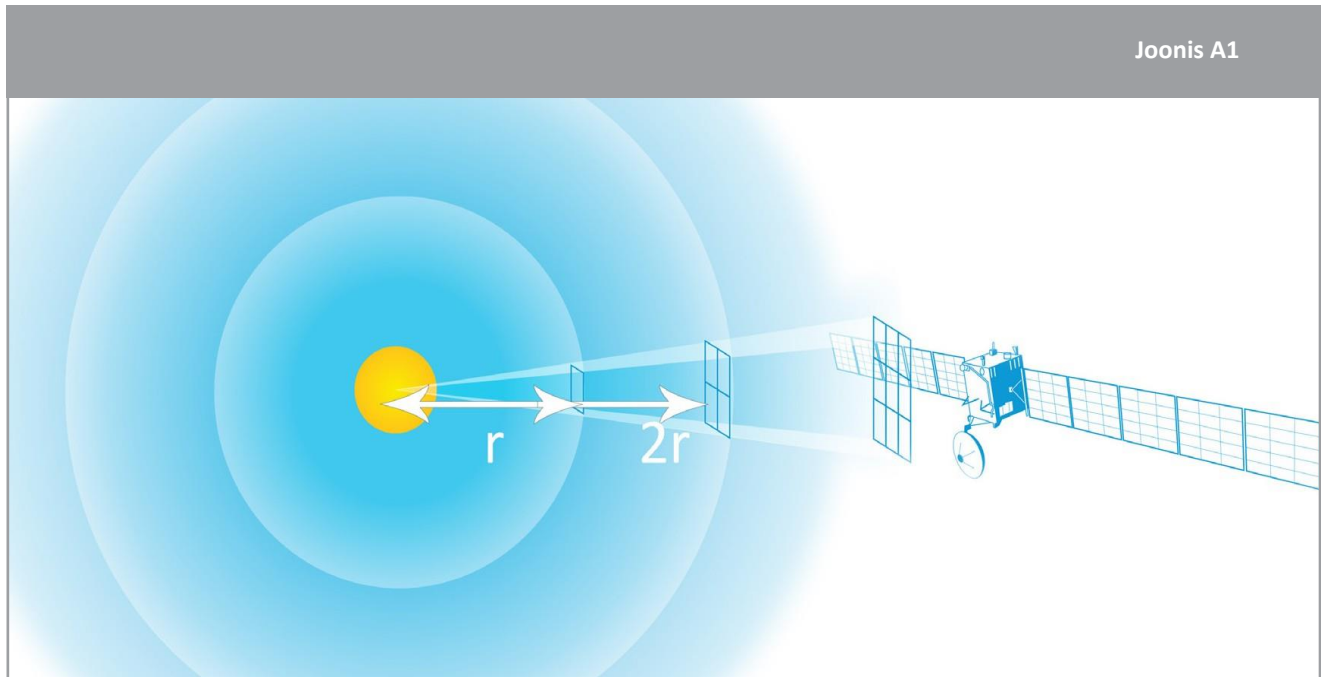


### → Tegevus 1: Pöördruudu seadus



↑ Päike kiirgab valgust ühtlaselt igas suunas. Kaugusel  $r$  läbib kiirgus ala  $A$ ; kui vahemaa kahekordistub ( $2r$ ), läbitud ala pindala neljakordistub ( $4A$ ).

Päike kiirgab valgust ühtlaselt kõikides suundades (vt joonis A1) ja seega võrdub kiirguse intensiivsus ( $I$ ) kaugusel ( $r$ ) Päikesest eralduva koguvõimsusega, mis on jaotatud kerale raadiusega ( $r$ ) ning pindalaga  $4\pi r^2$ .

$$\text{Päikesekiirguse intensiivsus } \left( \frac{W}{m^2} \right) = \frac{\text{Päikese poolt kiiratav võimsus } (W)}{4\pi r^2 (m^2)} \quad (1)$$

Kosmoselaeva poolt saadav päikesevalguse hulk sõltub tohutult sellest, kui kaugel ollakse Päikesest.

### Kas sa teadsid?

2003. aasta septembris käivitatud SMART-1 oli esimene ESA missioon Kuule. See oli esmakordne katsetus lahkuda Maa orbiidilt ainult päikeseenergia abil. Kuule jõudmiseks võttis see aega tervelt 13 kuud, mis on kõige kauem kestnud reis Kuule. Samuti tehti selle käigus uus rekord väikseima kütusekulu osas, kuna suurem osa energiast saadi päikeseelementidelt, mis asetsesid 7 m pikkustel tiibadel.



## Eksperiment

Selles eksperimendis proovite näidata pöördruudu seaduse kehtivust päikeseelemendi võimsuse kohta.

- Tehke katse läbiviimiseks vajalik eeltöö vastavalt lisa nr 1 sammudele 1–10.
- Kontrollige, et kõik seadmed on ühendatud ja töötavad korralikult.
- Alustage mõõtmiste tegemist, järgige sammudes 11 ja 12 toodud juhiseid.
- Võtke mõõtmisel arvesse tabelis 1 toodud elektripotentsiaalide erinevuse (U) ja elektrivoolu (I) näidud.
- Korrake mõõtmisi veel kaks korda.
- Arvutage päikeseelemendi väljundvõimsus ja täitke tabel 1.

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

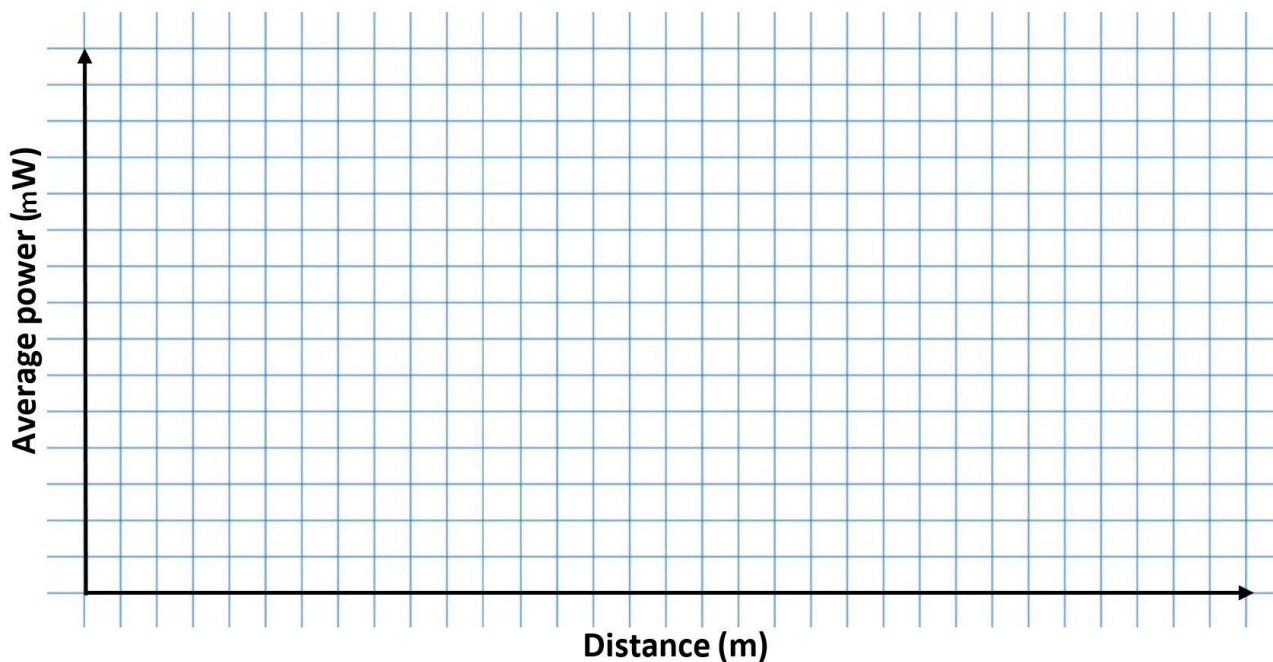
- Arvutage keskmine võimsus iga kauguse kohta.

Tabel 1

Kaugus	Eksperiment 1			Eksperiment 2			Eksperiment 3			Keskmine P (mW)
	U (V)	I (mA)	P (mW)	U (V)	I (mA)	P (mW)	U (V)	I (mA)	P (mW)	

↑ Elektripotentsiaalide erinevuse (U), elektrivoolu (I) ja vastava väljundvõimsuse (P) tabel

1. Joonistage keskmise väljundvõimsuse graafik funktsioonina valgusallika kaugusest:



2. Kas päikeseelemendi väljundvõimsus järgib pöördruudu seadust? Selgitage.

---



---



---

3. Millised määramatused esinevad teie eksperimendis? Kuidas need mõjutavad tulemust?

---



---



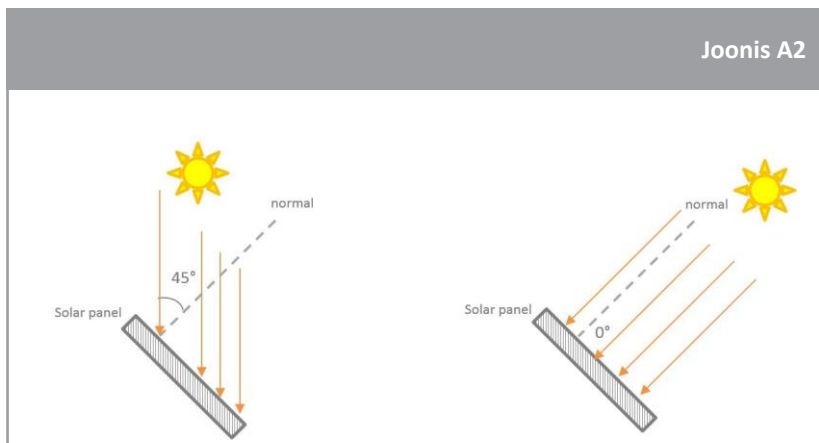
---

4. Kui me kahekordistame kaugust valgusallikast, kui suured peavad olema päikeseelemendid, et toota sama võimsust?

- Väiksemad
- Kaks korda suuremad
- Neli korda suuremad
- Üheksa korda suuremad

## → Tegevus 2: langemisnurk

Langemisnurk on väga oluline tegur. Langemisnurk on nurk langeva päikesekiire ja päikeseelemendi pinnanormaali vahel. Kui päikesekiired on päikeseelemendiga risti, on nende langemisnurk 0°.



↑ Langemisnurk 45° (vasakul) ja 0° (paremal).

1. Enne mõõtmiste alustamist ennustage, milline langemisnurk annab suurima võimsuse. Selgitage.

## Ekspereiment

Selles eksperimendis mõõdate, kui palju langemisnurk mõjutab teie päikeseelemendi võimsust.

- Kohandage 1. tegevuse katse eeltöö vastavalt lisa nr 2 sammudele 1–7.
- Viige katse läbi vastavalt lisa nr 2 toodud sammudele 8–10. Pange oma mõõtmiste tulemused kirja tabelisse nr 2 (elektripotentsiaalide erinevus (U) ja elektrivool (I) erinevate langemisnurkade korral).
- Korrake mõõtmisi veel kaks korda.
- Arvutage päikeseelemendi väljundvõimsus ja täitke tabel 2 lõpuni.

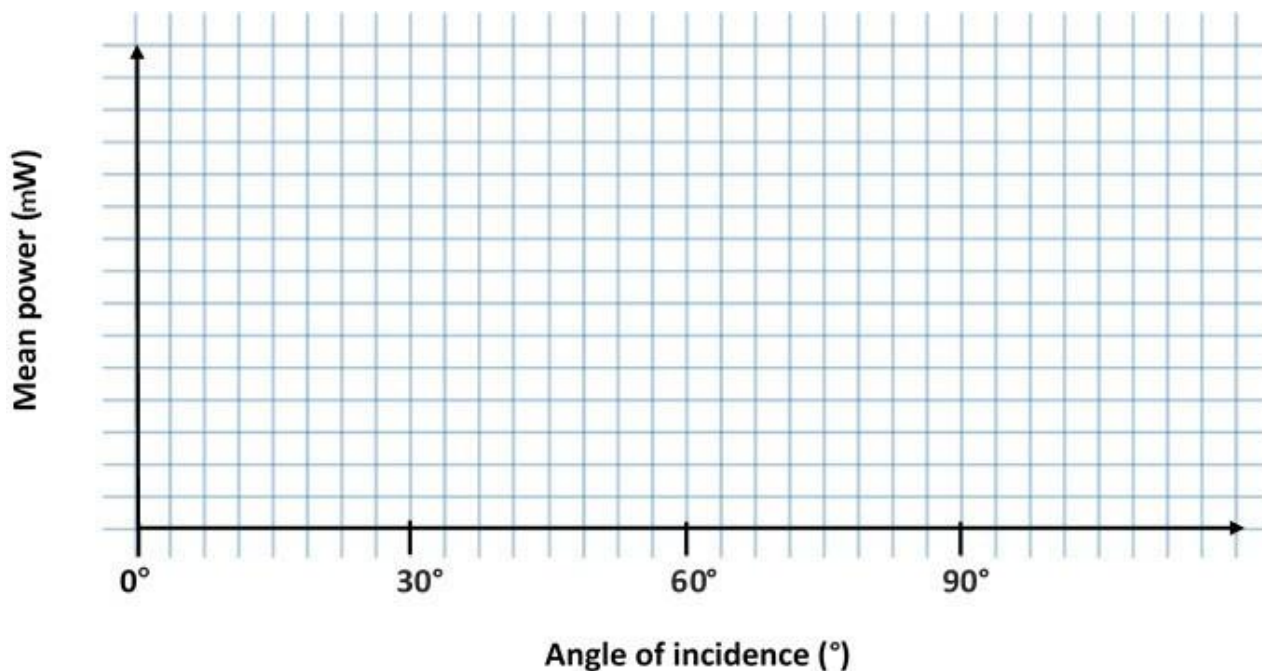
$$P(W) = I (A) * U (V)$$

- Arvutage keskmine võimsus iga langemisnurga kohta.

Tabel 2										
Kaugus	Ekspereiment 1			Ekspereiment 2			Ekspereiment 3			Keskmine 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°										

↑ Elektripotentsiaalide erinevus (U), elektrivool (I) ja väljundvõimsus (P) erinevate langemisnurkade korral.

2. Joonistage graafik keskmise võimsuse kohta funktsioonina langemisnurgast:



3. Milline langemisnurk annab suurima väljundvõimsuse? \_\_\_\_\_

4. Kas teie ennustus esimeses küsimuses osutus õigeks? Kui ei, siis selgitage miks.

---



---



---

5. Mis võiks olla selle põhjuseks, et võimsus ei ole null, kui päikeseelement on valgusallikaga paralleelne? (langemisnurk = 90°)

---



---



---

6. Kui lülitate lambi välja, kas siis on teie arvates süsteemis mingit väljundvõimsust? Testige oma arvamust ja selgita oma järeldusi.

---



---



---

7. Milliseid võimsuse väärtusi ootate, kui viite läbi eksperimendi langemisnurgaga 30°, 45°, 60° ja 90°? Selgitage oma vastust.

8. Millised on peamised määramatused eksperimendis?

9. Olete läbi mõõtmiste saanud teada kuidas langemisnurk mõjutab võimsust. Kuidas te paigutaksite oma päikeseelementid, et maksimeerida võimsust?

### Kas sa teadsid?

Rahvusvaheline kosmosejaam, mis on koduks kuni kuuele astronautile, saab oma energia päikeseelementidelt. Kuna kosmosejaam tiirleb ümber Maal, saab päikeseelementid pöörata otse Päikesele. Päikeseelementide pindala on 2500 m<sup>2</sup>, mis on pool jalgpalliväljakust!



## → Tegevus 3: Kosmose avastamine päikeseenergia abil

Millisel juhul on mõttekas kasutada päikeseenergiat kosmoseuuringuteks ja kuidas me saame kasutada oma teadmisi pöördruudu seaduse ja langemisnurga kohta meie kasuks?

**ESA Rosetta missioon**, mis sõitis 800 miljoni kilomeetri kaugusele Päikesest, vajas oma pardasüsteemide üleval hoidmiseks tohutuid päikeseelemente. Seevastu **ESA Merkuuri missioon BepiColombo** liigub Päikesele nii lähedal, et liiga suur päikesekiirguse hulk on päikeseelementidele ohtlik.

### Harjutused

1. Maa on Päikesest keskmiselt umbes 150 miljoni km kaugusel. Päikese keskmine kiirgusvõimsus on  $3,828 \cdot 10^{26} \text{W}$ . Kasutage valemit (1) (1. tegevuse juures), et arvutada valguse intensiivsus Maal ( $I_{\text{Maa}}$ ).
2. BepiColombo minimaalne kaugus Päikesest on 45 miljonit kilomeetrit. Selleks, et vähendada kuumakahjustusi päikeseelementidele, tuleb need suunata Päikesest eemale. Arvutage valguse intensiivsus ( $I_{\text{BepiColombo}}$ ) sellel kaugusel. Võrrelge seda Maale jõudva valguse intensiivsusega ( $I_{\text{Maa}}$ ).

3. Rosetta maksimaalne kaugus Päikesest oli 800 miljonit km. Arvuta valguse intensiivsus ( $I_{\text{Rosetta}}$ ) sellel kaugusel. Võrrelge seda Maale jõudva valguse intensiivsusega ( $I_{\text{Maa}}$ ).

4. Oma kauguse tõttu pidi Rosetta päikeseelementide pindala olema väga suur,  $64 \text{ m}^2$ . Milline peaks olema see suurus, kui Rosetta asuks Päikesest sama kaugel kui planeet Maa? Võtke arvesse ainult valguse intensiivsuse erinevust ja eeldage, et kõik ülejäänud muutujad jäävad samaks.

5. Nüüd kujutage ette, et Rosetta läheb uurima Päikesest 1,4 miljardi kilomeetri kaugusel asuvat Saturni. Milline peaks olema päikeseelementide suurus sellisel juhul? Võtke arvesse ainult valguse intensiivsuse erinevust ja eeldage, et kõik ülejäänud muutujad jäävad samaks.

6. Viimasel Saturni missioonil (Cassini-Huygensil) kasutati energia saamiseks radioisotoopgeneraatoreid. Cassini-Huygensi energiavajadus oli 885 W, Rosetta missiooni energiavajadus oli ainult 395 W. Arvutage Cassini-Huygensi missioonile (Saturni kaugusel) vajaminevate päikeseelementide pindala, eeldades et need on sama tüüpi Rosetta päikeseelementidega.

7. Cassini-Huygensis kasutatavate radioisotoopgeneraatorite mass oli 56,4 kg. Rosetta päikeseelementide mass oli 51,2 kg. Kui palju Cassini-Huygensi mass suureneks, kui missioon oleks kasutanud päikeseelemente (vt 5. küsimuse vastust)?

8. Millised on päikeseenergia kasutamise eelised ja puudused kosmoseuuringutes?

---

---

---

---



## → Lingid

### ESA

ESA klassiruum:

[esa.int/Education/Classroom\\_resources](https://esa.int/Education/Classroom_resources)

ESA Rosetta missioon [esa.int/rosetta](https://esa.int/rosetta)

ESA/JAXA BepiColombo missioon

[esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Science/BepiColombo\\_overview2](https://esa.int/Our_Activities/Space_Science/BepiColombo_overview2)

Cassini-Huygens missioon

[esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Science/Cassini-Huygens](https://esa.int/Our_Activities/Space_Science/Cassini-Huygens)

### Küsimuste kohta käiv tehniline info

Info Rosetta missiooni päikeseelementide massi kohta (lk 10)

[lpi.usra.edu/opag/nov\\_2007\\_meeting/presentations/solar\\_power.pdf](https://lpi.usra.edu/opag/nov_2007_meeting/presentations/solar_power.pdf)

Rosetta 64 m<sup>2</sup> päikeseelementide poolt toodetud efektiivne võimsus (5,25 AU kaugusel; 395 W)

[esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Science/Rosetta/The\\_Rosetta\\_orbiter](https://esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/The_Rosetta_orbiter)

Cassini kosmoselaeva detailne kirjeldus

[fas.org/nuke/space/bennett0706.pdf](https://fas.org/nuke/space/bennett0706.pdf)

Vajaminevate päikeseelementide mass sõltuvalt kaugusest Päikesest (slaid nr 10)

[lpi.usra.edu/opag/nov\\_2007\\_meeting/presentations/solar\\_power.pdf](https://lpi.usra.edu/opag/nov_2007_meeting/presentations/solar_power.pdf)

Missiooni BepiColombo päikeseelementidest koosneva tiiva paigaldamine

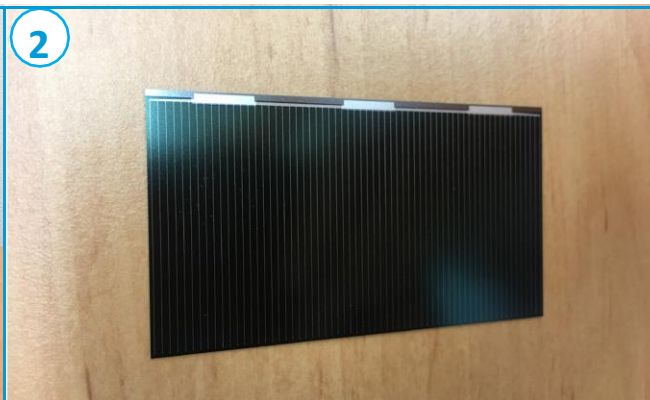
[youtube.com/watch?v=Lhw4aojbkvs](https://youtube.com/watch?v=Lhw4aojbkvs)

## → Lisa 1 – pöördruudu seadus



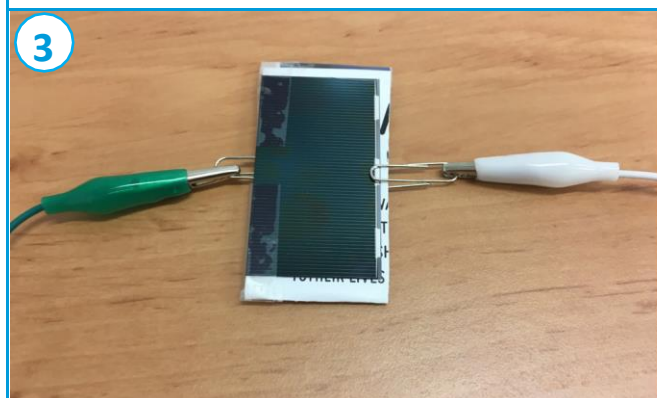
1

Vaja läheb 20–30 cm pikkust läbipaistmatut kasti...



2

... ja päikeseelementi.



3

Ühendage krokodilli otstega juhtmed päikeseelemendiga. Päikeseelemendi kujust sõltuvalt on teil tõenäoliselt vaja krokodilli jaoks lisada ühenduspunktid (nt kirjaklambrid).



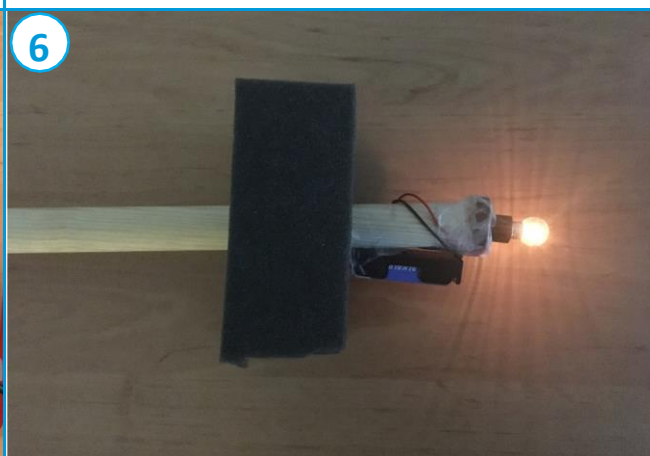
4

Ühendage päikeseelemendi testimiseks ampermeeter jadamisi ja voltmeetri rööbiti (või kasutage multimeetrit). Te peaksite nägema voolu ning elektripotentsiaalide erinevuse näituseid.



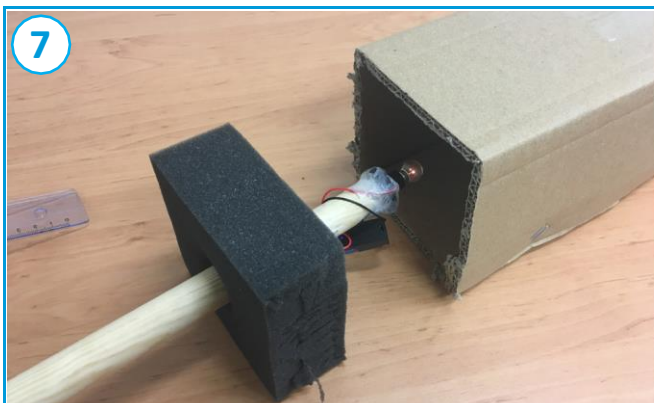
5

Kinnitage päikeseelement kasti sisse nii nagu pildil näidatud. Sulgege kast.



6

Paigaldage toki otsa väike elektripirn patareiga. Lõigake kasti ristlõike suurune tükk sobivat materjali (nt svamm), et vältida valguse kasti tulemist lambi tagant.



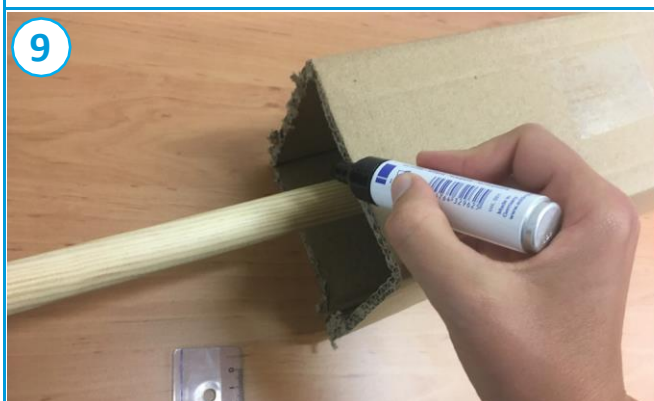
7

Lülitage valgus sisse ning pange pulk kasti. Svamm peaks hästi tihedalt kasti sobituma. Vajadusel kasutage läbipaistmatut kleeplinti või viige mõõtmised läbi pimedas ruumis.



8

Lükake ettevaatlikult pulk kasti nii, et valgusallikas puudutaks päikeseelementi. Olge tähelepanelik, et te päikeseelementi ei vigastaks!



9

Tõmmake markeriga pulgale kriips algsituatsiooni märkimiseks (või kinnitage mõõdulint pulga külge).



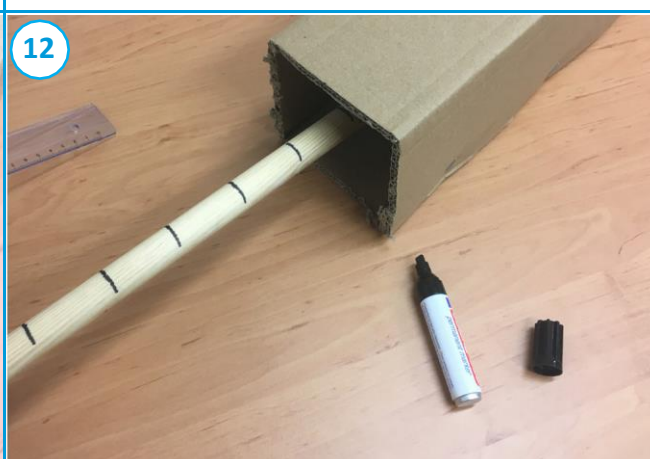
10

Olete eksperimendiks vajamineva eeltöö ära teinud. Kontrollige veel, et kõik vahendid töötavad korralikult ning on korralikult ühendatud.



11

Liigutage valgusallikat päikeseelemendist 5 cm kaugemale. Pange tabelisse nr 1 kirja elektrivoolu ja elektripotentsiaalide erinevuse näidud.

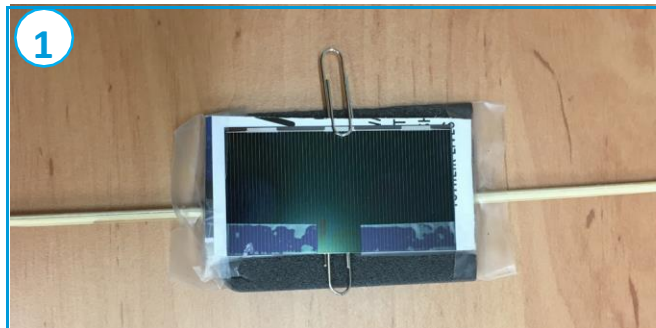


12

Liigutage valgusallikat päikeseelemendist eemale 1 cm pikkuste sammudega kuni valgusallikas on kasti alguses. Pange iga sammu juures kirja elektrivoolu ja elektripotentsiaalide erinevuse näidud. Korrake sama mõõtmist veel kaks korda.

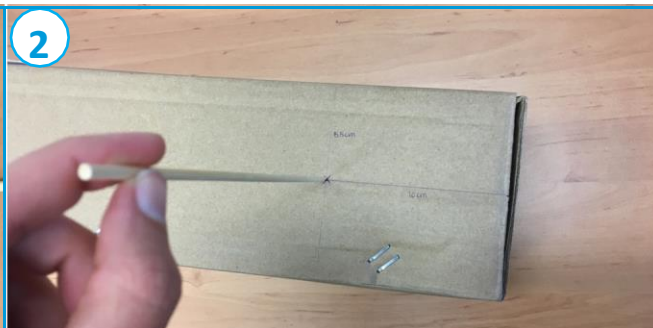


## → Lisa 2 – langemisnurk



1

Kasutage 1. tegevuse vahendeid. Kinnitage päikeseelemendi külge puust grillvarras nii, et varras asetseb keskel. Selle abiga saab päikeseelementi kastis pöörata.



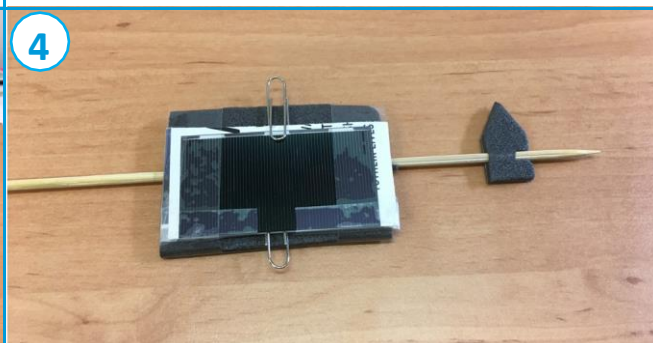
2

Kasutage sama kasti mida 1. tegevuse juures. Märkige kasti küljele koht, kust grillvarras läbi pista (ülemisest ja alumisest servast sama kaugel). Kindlasti peab päikeseelemendil olema piisavalt ruumi vabalt pöörlemiseks.



3

Märkige kastile 0°, 30°, 45°, 60° ja 90° nurgad (või kinnitage kastile mall).



4

Kinnitage varda otsa päikeseelemendiga samas suunas olev noole kujutis. See peab jääma väljaspool kasti ning näitab päikeseelemendi nurka kasti sees.



5

Pange päikeseelement kasti sisse ja ühendage see ampermeetriga jadamisi ja voltmeetriga rööbiti (või kasutage multimeetrit). Pange kast kinni.



6

Lülitage elektripirn põlema ja pange kasti. Vahemaa elektripirni ning päikeseelemendi vahel peaks olema umbes 10 cm. See kaugus ei tohi eksperimendi käigus muutuda (st pulka ei tohi liigutada).



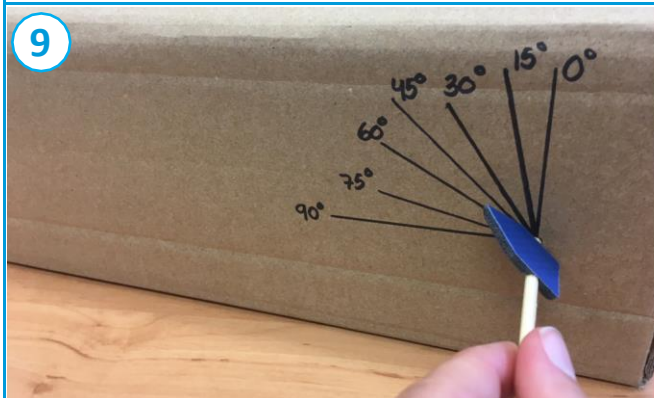
7

Testi kas päikeseelement on töökorras.



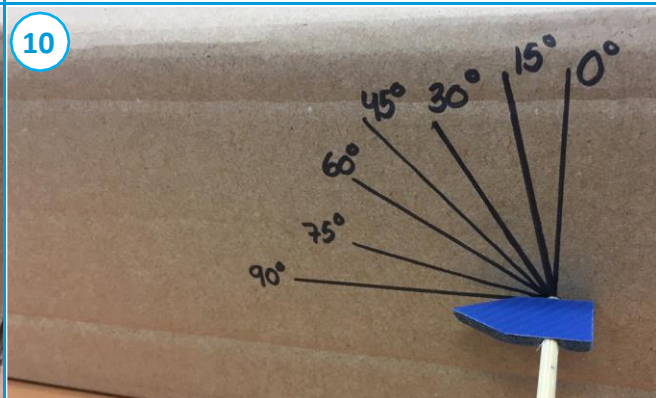
8

Mõõtke elektrivoolu ja elektripotentsiaalide erinevuse näidud kui päikeseelement on valgusega risti (st langemisnurk on  $0^\circ$ ). Pange tulemused kirja tabelisse nr 2.



9

Kallutage päikeseelementi järk-järgult, kirjutage iga nurga korral elektrivoolu ja elektripotentsiaalide erinevuse näidud tabelisse nr 2.



10

Kallutage päikeseelementi kuni see on paralleelne valguse suunaga (langemisnurk  $90^\circ$ ). Kirjutage elektrivoolu ja elektripotentsiaalide erinevuse näidud tabelisse nr 2. Korrake mõõtmisi veel kaks korda.