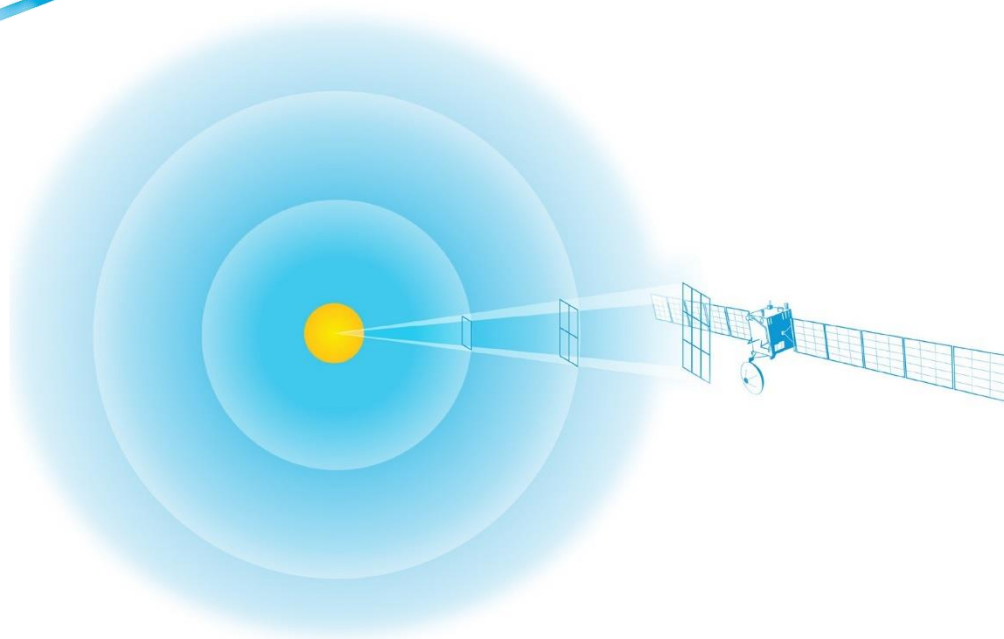


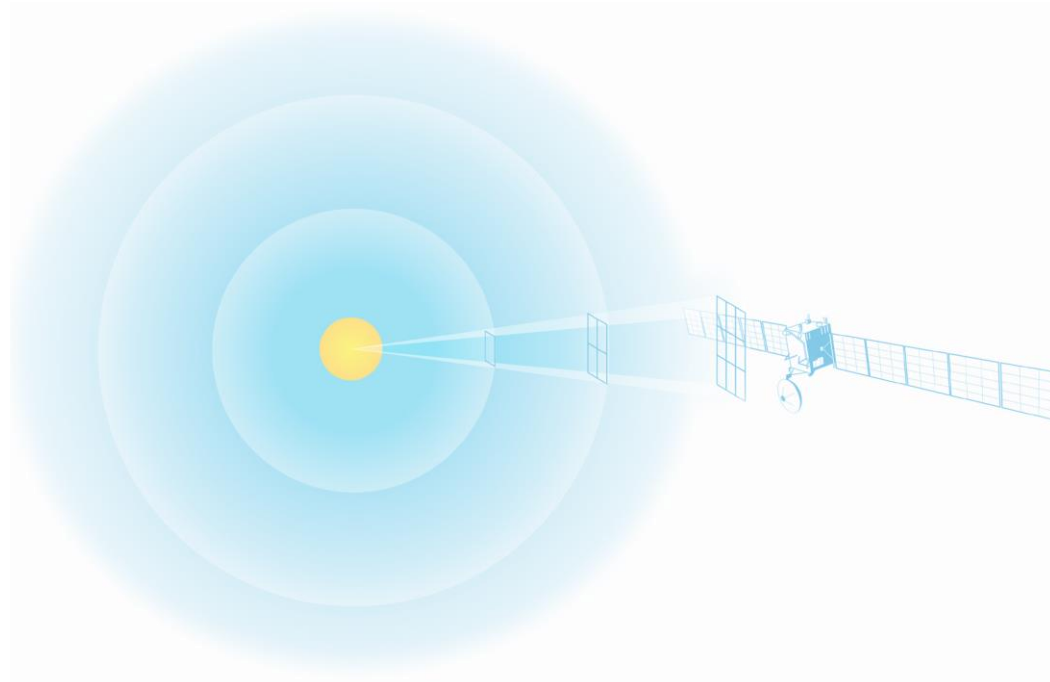
# Õpeta koos kosmosega

## → ENERGIA PÄIKESEVALGUSEST

Kosmoseuuringute varustamine päikeseenergiaga

**PILOT**





## Õpetaja juhend

Lühike kokkuvõte	lk 3
Tegevuste kokkuvõte	lk 4
Sissejuhatus	lk 5
Tegevus 1: pöördruudu seadus	lk 7
Tegevus 2: langemisnurk	lk 9
Tegevus 3: kosmose avastamine päikeseenergia abil	lk 11

## Õpilaste tööleht

### Lingid

Lisa 1: pöördruudu seadus

Lisa 2: langemisnurk

Õpeta kosmosega – energia päikesevalgusest | P09  
[www.esa.int/education](http://www.esa.int/education)

Euroopa Kosmoseagentuuri Haridusosakonnale saab anda tagasisidet siin:  
[teachers@esa.int](mailto:teachers@esa.int)

ESA Haridus  
Copyright 2018 © Euroopa Kosmoseagentuur

# → ENERGIA PÄIKESEVALGUSEST

## Kosmoseuuringute varustamine päikeseenergiaga

### Lühike kokkuvõte

**Teema:** füüsika

**Vanusevahemik:** 14–18

**Tüüp:** õpilaste praktiline tegevus

**Raskusaste:** keskmine

**Kulud:** madalad

**Õpetaja ettevalmistusaeg:** 1 tund

**Õppetunnile kuluv aeg:** 1 tund ja 30 minutit

(pluss 20 minutit katse ettevalmistamiseks)

**Asukoht:** klassiruum

**Hõlmab:** päikeseelementide kasutamist

**Märksõnad:** füüsika, päikeseenergia, pöördruudu seadus, valguse intensiivsus, langemisnurk, Päikesesüsteem

### Ülevaade

Õpilased tutvuvad kahe olulise päikeseelementide disainiga seotud mõistega: pöördruudu seaduse ning langemisnurgaga. Õpilased viivad läbi kaks lihtsat uurimust kasutades päikeseelementi (fotogalvaanilist raku) ja valguseallikat. Esiteks mõõdavad nad kuidas päikeseelementi toodetud võimsus sõltub valgusallika kaugusest ja püüavad eksperimentaalselt tõestada pöördruudu seadust valguse intensiivsuse näitel. Seejärel viivad õpilased läbi teise katse, kus nad uurivad päikeseelementi väljundvõimsuse sõltuvust langemisnurgast. Lõpuks rakendavad nad neid mõisteid tegelike ESA kosmosemissioonide juures.

### Õppe-eesmärgid

- Õpilased saavad aru mis on valguse intensiivsus ning oskavad seda arvutada.
- Õpilased saavad aru, mis on langemisnurk.
- Õpilased õpivad tundma päikeseelemente.
- Õpilased uurivad praktiliste katsete kaudu pöördruudu seadust ning valguse langemisnurka ja selle mõju.
- Õpilased oskavad andmeid analüüsida ning diagrammile kanda.
- Õpilased oskavad päikeseelementide abil ehitada lihtsaid voluuhelaid.
- Õpilased tutvuvad järgnevate nähtustega: elektripotentsiaalide vahe, elektrivool, võimsus ja valguse intensiivsus.
- Õpilased uurivad päikeseenergiale esitatavaid nõudeid kosmosemissioonidel.

## → Kokkuvõtte tegevustest

Kokkuvõtte tegevustest					
	Pealkiri	Kirjeldus	Tulemus	Eeltingimused	Aeg
1	Pöördruudu seadus	Valguse intensiivsuse pöördruudu seaduse uurimine eksperimendi abil	Pöördruudu seaduse mõistmine ja arusaamine kuidas see mõjutab päikeseelementide võimsust	Pole	20 minutit eksperimendi ettevalmistamiseks, 30 minutit läbiviimiseks
2	Langemisnurk	Langemisnurga uurimine eksperimendi abil	Langemisnurgast arusaamine ning mõistmine kuidas see mõjutab päikeseelementide võimsust	Soovitav eelnevalt lõpule viia 1. tegevus	30 minutit
3	Kosmose uurimine päikeseenergia abil	Pöördruudu seaduse uurimine läbi tõelise ESA kosmosemissioonide	Päikeseenergia eelised ja puudused kosmoseuuringutes	Soovitav eelnevalt lõpule viia 1. tegevus	30 minutit

## → Sissejuhatus

Kosmosemissioonidel kasutatakse sageli päikeseenergiat, sest see on ainus energia, mida ei ole vaja Maa pealt kaasa võtta ja mis suudab kosmoselaeva mitu aastat toita. Uurime kahte olulist tegurit, millega tuleb missioonide päikeseelementide disainimisel arvestada – pöördruudu seadust ning langemisnurka.

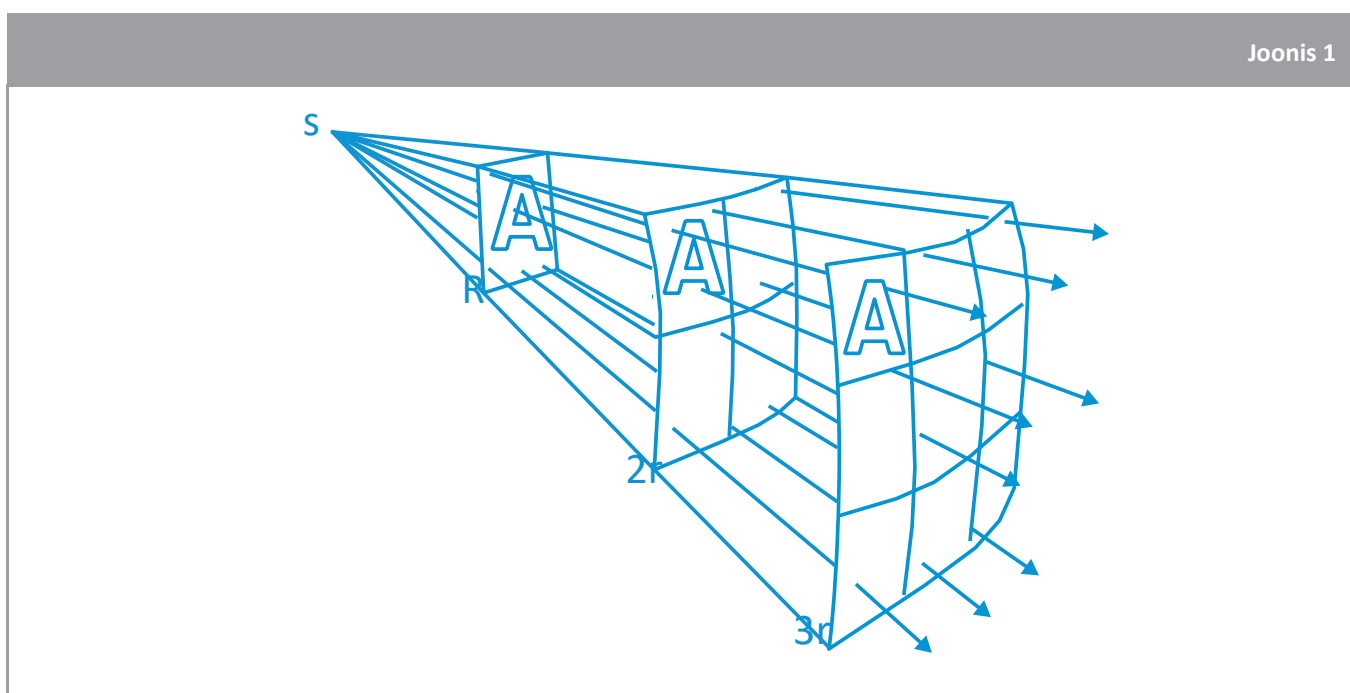
### Pöördruudu seadus

Pöördruudu seaduse järgi on füüsikaline suurus pöördvõrdeline selle füüsikalise suuruse allika kauguse ruuduga. Näiteks valguse intensiivsus on pöördvõrdeline valgusallika kauguse ruuduga. Valguse intensiivsus (ehk valgustugevus) on energia, mida valgus kannab läbi oma levimissuunaga risti oleva pinnahüki. Ümmarguse valgusallika (nt Päike) puhul on valguse intensiivsus võrdne kiirguse intensiivsusega ( $I$ ). Päike kiirgab valgust ühtlaselt kõigis suundades ja kiirguse intensiivsus järgib pöördruudu seadust:

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

See tähendab, et kui planeet või kosmoselaev on Päikesest kaks korda kaugemal kui Maa, on päikesekiirguse intensiivsus vaid veerand Maal mõõdetud kiirgusest (joonis 1).

Joonis 1



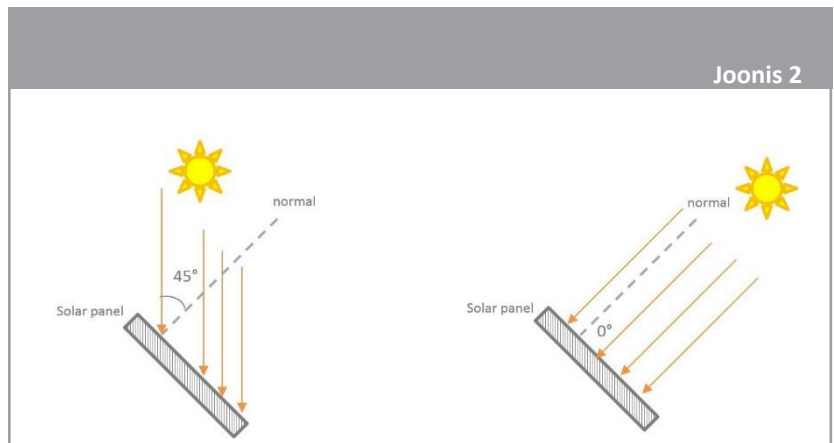
↑ Päike punktis S kiirgab valgust ühtlaselt kõigis suundades. Kaugusel  $r$  läbib kiirgus ala  $A$ ; kui vahemaa kahekordistub ( $2r$ ), läbitud ala pindala neljakordistub ( $4A$ ) ja kui vahemaa kolmekordistub, muutub läbitud ala pindala 9 korda suuremaks ( $9A$ ).

Pöördruudu seaduse mõistmine mõjutab oluliselt päikeseelementide rakendusi kosmosemissioonidel. Mida kaugemal on päikeseenergiaal töötav kosmoselaev Päikesest, seda suurem peab olema päikeseelementide pindala, et toota sama palju elektrit.

## Langemisnurk

Päikesevalguse langemisnurk päikeseelemendil on samuti oluline tegur elektri tootmisel. Päikeseelement töötab kõige tõhusamalt, kui päikesekiired on päikeseelemendi pinnaga risti, st langemisnurk on  $0^\circ$ , sellisel juhul on kogumisala maksimaalne (vt joonis 2).

Kosmosemissioonide puhul on päikesevalguse langemisnurk väga oluline tegur. Paljud kosmoselaevad on varustatud pööratavate päikeseelementidega, et vähendada päikesevalguse langemisnurka ja seeläbi maksimeerida elektri tootmist.



Joonis 2

↑ langemisnurk  $45^\circ$  (vasakul) ja  $0^\circ$  (paremal). Langemisnurk on nurk langeva päikesekiire ja päikeseelemendi pinnanormaali vahel. Kui päikesekiired on päikeseelemendiga risti, on nende langemisnurk  $0^\circ$ . Vasakul pool on päikeseelemendi efektiivne kogumisala  $\cos(45)$ -kordne päikeseelemendi pindalast, seega on ka päikeseelemendile langev kiirgus võimalikust  $\cos(45)$ -kordne.

## Päikeseenergia kosmosemissioonil

### Rosetta

ESA Rosetta missioon, mille ülesandeks oli lähedalt uurida komeeti 67P/Churyumov-Gerasimenko, kestis üle 10 aasta. Oma teekonna kõige kaugemas punktis oli Rosetta 800 miljoni kilomeetri kaugusel Päikesest, kus päikesevalguse tase on vaid 4% Maa peal saadavast valgusest. See oli esimene missioon, mis liikus peamisest asteroidi vööst kaugemale, kasutades ainult päikeseenergiat. Päikeseelementide ulatus oli 32 meetrit ja nende kogupindala oli  $64 \text{ m}^2$  (vt joonis 3).



Joonis 3

↑ Rosetta kosmoselaev, millel on üks oma kahest päikesetiivast täielikult kasutusele võetud.

### BepiColombo



Joonis 4

ESA-C. Carreau, CC BY-SA 3.0 IGO

↑ Merkuuri missiooni BepiColombo transpordimooduli päikesetiiva kasutuselevõtt.

ESA Merkuuri uurimise missioon BepiColombo lendab Päikesele väga lähedal. Mitte kõike päikeseelemendile jõudvat valgust ei saa muuta elektriks – osa valgusest muundub soojuseks. Kui BepiColombo päikeseelemendid oleksid suunatud otse Päikese poole rohkem kui paar sekundit, kahjustaks see materjale ning päikeseelemendid lakkaksid töötamast. Selleks, et hoida päikeseelemendid jahedamatena (umbes  $200^\circ\text{C}$ ), kallutatakse need Päikesest eemale. See tähendab, et päikeseelemendid ei saa olla nii väikesed kui pöördruudu seaduse alusel arvatult. BepiColombo päikeseelemendid peavad olema  $42 \text{ m}^2$  (vt joonis 4).

## → Tegevus 1 – pöördruudu seadus

Selle praktilise tegevuse raames arvutavad õpilased päikeseelemendi võimsust, mõõtes elektrivoolu ja elektripotentsiaalide erinevust ning püüavad oma eksperimentaalsete mõõtmistega näidata pöördruudu seaduse kehtivust.

### Seadmed

- Iga rühma peale välja prinditud õpilaste tööleht ning lisa nr 1
- Pimenduskast (ühest otsast avatud)
- Elektrijuhtmed
- Kleeplint
- Valgusallikas (väike lamp, 4,5 V; 0,3A)
- Joonlaud
- 30 cm pulk (nt puidust)
- Valgust varjutav materjal (nt käsna, riie)
- Ampermeeter ja voltmeeter (või multimeeter)
- Krokodilli otstega juhtmed

### Harjutused

Jagage õpilased 3–4 liikmelistesse rühmadesse. Andke igale rühmale õpilaste tööleht ning lisa nr 1. Enne katse alustamist tutvustage õpilastele kiirguse intensiivsuse mõistet.

### Eeltöö

Paluge õpilastel täita lisa nr 1 lehelt sammud 1–9. Sammu nr 9 juures veenduge, et õpilased märgivad olukorras, kus valgusallikas puudutab päikeseelementi, vahekauguseks 0. Õpilastel tuleb veenduda, et kõik seadmed töötavad ning on korralikult ühendatud.

### Eksperiment

Õpilastel tuleb järgida lisa nr 1 lehelt samme 10–12 ning mõõta elektripotentsiaalide erinevust ( $U$ ) ja elektrivoolu ( $I$ ). Tulemused tuleb panna kirja tabelisse nr 1.

Enne esimest mõõtmist peaksid õpilased tõmbama valgusallika pulka vähemalt 5 cm päikeseelemendist eemale. Igal järgneval mõõtmisel peaksid õpilased valgusallikat eemale tõmbama 1 cm võrra, kuni valgusallikas jõuab päikeseelemendist umbes 30 cm-ni. Ideaalis peaksid õpilased mõõtma 20–30 erinevat vahemaad. On võimalik kasutada suuremaid intervale, kuid võimsuse langus võib olla liiga kiire, et jälgida pöördruudu seadust. Võimsuse langus sõltub valgusallikast ja päikeseelementidest. Soovitame õpetajal leida enne õpilaste katset optimaalsed vahemikud oma valgusallika ning päikeseelemendiga.

Õpilased peaksid mõõtmisi tegema veel kaks korda ning siis arvutama keskmise. Arutage õpilastega mõõtmiste tulemuste ja teadusliku meetodi usaldusväarsuse üle.

Õpilastel tuleb töölehe tabeli nr 1 täitmiseks arvutada väljundvõimsus:

$$P(W) = I (A) \cdot U (V)$$

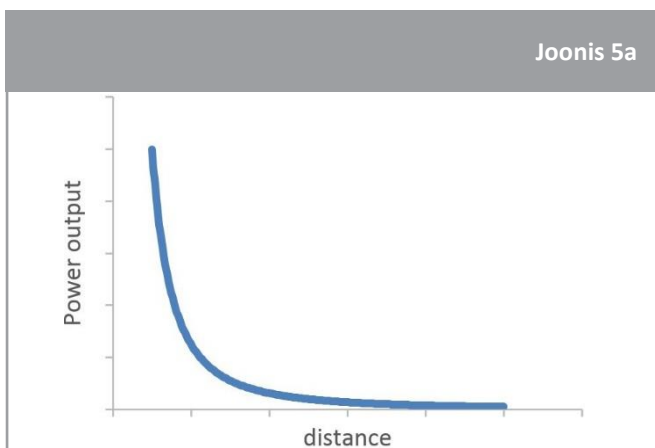
## Tulemused

Tulemuste analüüsimisel eeldame, et päikeseelemendi toodetud võimsus on proportsionaalne päikeseelemendi poolt saadava energiaga (toodetud võimsus = saadud võimsus x elemendi kasutegur). Toodetud võimsus on proportsionaalne valgusallika valgustugevusega (kuna intensiivsus = võimsus/pindala ja pindala jääb kogu katse vältel samaks). Seetõttu võime öelda, et päikeseelemendi toodetud võimsus on proportsionaalne valguse intensiivsusega.

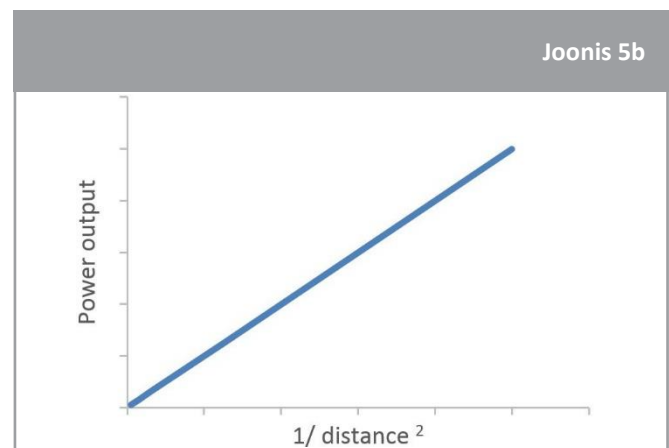
Vastavalt pöördruudu seadusele, peab päikeseelemendi toodetud võimsus (P) olema proportsionaalne kauguse pöördruuduga.

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

Nende andmete analüüsimiseks peaksid õpilased joonistama võimsuse funktsioonina kaugusest (joonis 5a) ja võimsuse funktsioonina kauguse pöördruudust (joonis 5b); teine graafik peaks andma sirgjoone.



↑ Võimsus funktsioonina kaugusest (oodatav graafik)



↑ Võimsus funktsioonina kauguse pöördruudust (oodatav graafik)

Õpilaste tulemused ei pruugi täpselt kokku langeda pöördruudu seadusega. Siin on toodud mõned tegurid, mis võivad tulemusi mõjutada:

- Kast ei ole täiesti pime; kõikumised välisvalguses mõjutavad mõõtmistulemusi;
- Viga kauguse mõõtmisel;
- Võib toimuda valguse hajumine (kasti sees);
- Päikeseelemendi sisetakistus võib katse jooksul muutuda;
- Päikeseelemendi lähedal tehtavad mõõtmised ei pruugi järgida pöördruudu seadust, sest valgusallikat ei saa käsitleda punktvalgusallikana.

Kokkuvõtteks peaksid õpilased tuvastama, et kui me kahekordistame kaugust valgusallikast, on meil sama koguse energia tootmiseks vaja 4 korda suuremaid päikeseelemente.



## → Tegevus 2: Langemisnurk

Õpilased saavad teada kui oluline on päikeseelementide paigutamise juures arvestada valguse langemisnurgaga. Katsega mõõdetakse langemisnurga mõju väljundvõimsusele.

### Seadmed

- Iga rühma peale välja prinditud õpilaste tööleht ning lisa nr 2
- Esimeses tegevuses kasutatud seadmed (vt lisa nr 2)
- Pulk päikeseelemendi pööramiseks (näiteks puidust grillvarras)
- Mall

### Harjutused

Jagage õpilased 3–4 liikmelistesse rühmadesse. Andke igale rühmale õpilaste tööleht ning lisa nr 2. Enne katse alustamist tutvustage õpilastele langemisnurga mõistet.

### Eeltöö

See langemisnurga tegevus (nr 2) on jätkuks pöördruudu seaduse tegevusele (nr 1). Õpilastel tuleb oma eksperimentaalset seadet uuendada nii, et nad saaksid päikeseelementi valitud nurga all pöörata. Õpilased peaksid kohandama oma 1. tegevuse eksperimenti vastavalt lisa nr 2 sammudele 1–7. Enne mõõtmiste alustamist peaksid õpilased veenduma, et kõik seadmed töötavad ja on korralikult ühendatud.

### Eksperiment

Õpilased peaksid läbi viima mõõtmised vastavalt lisa nr 2 sammudele 8–10 ning panema tulemused kirja tabelisse nr 2. Õpilastel tuleb korrata mõõtmisi veel kaks korda, tagades, et mõõtmistingimused on samasugused. Õpilastel tuleb arvutada iga langemisnurga keskmine võimsus.

---

<sup>1</sup> Kui õpilased ei ole varem läbi viinud tegevust nr 1, peaksid nad eksperimenti tegemiseks järgima samme 1–7 lisa nr 1, seejuures jätma vahele sammu nr 5, ning seejärel tegema läbi lisa nr 2.

## Tulemused

Paluge õpilastel joonistada keskmine võimsus funktsioonina langemisnurgast.

Õpilased peaksid oma andmetes välja tooma, et võimsus on suurim, kui päikeseelement on valguskiirtega risti (langemisnurk =  $0^\circ$ ).

Kuigi eeldatav näit valgusallikaga paralleelse päikeseelemendi korral (langemisnurk =  $90^\circ$ ) peaks olema null, siis tegelikkuses see nii ei ole. Peamiseks põhjuseks on valguse hajumine kasti sees.

Isegi kui valguslamp on välja lülitatud, võib vooluringis olla mõõdetav jääkvool (tume vool). Teaduslike eksperimentide puhul tuleks väärtuseid korrigeerida, lahutades selle vea (jääkvoolu suuruse) näitudest.

Mõningaid vigade allikaid on juba mainitud 1. tegevuse juures. Praeguse tegevuse juures peame võimalike veaallikatena võtma arvesse nurga mõõtmise määramatust ning kastis oleva päikeseelemendi seadistamise ebatäpsust.

Kokkuvõtteks peaksid õpilased vastama õpilaste töölehe küsimusele nr 9 ja leidma, et päikeseelemendi võimsuse maksimeerimiseks peaks langemisnurk olema  $0^\circ$  lähedal. Õpilased võiksid välja pakkuda Päikese jälgimise mehhanismi, mis kallutaks päikeseelemente vastavalt Päikese liikumisele.

Nendes katsetes on ebaoluline soojendav efekt, mis on ülioluline BepiColombo jaoks. Põhjuseks on see, et lambipirni võimsus on palju väiksem kui Päikese võimsus. Samuti jahutab päikeseelemente Maa peal õhk, kuid kosmoses ei ole õhku.

## → Tegevus 3: Kosmose avastamine päikeseenergia abil

Selle tegevuse käigus näevad õpilased kuidas praktiliselt pöördruudu seadust ESA kosmosemissioonidel kasutada. Õpilased mõistavad, kuidas pöördruudu seaduse omadused mõjutavad seda, kui suured peavad olema päikeseelemendid ja kui oluline on Päikese lähedastele missioonidele langemisnurk.

### Tulemused

1. Valguse intensiivsust, mis saadakse Maa keskmisel kaugusel Päikesest ( $I_{Maa}$ ), saab arvutada pöördruudu seaduse ja õpilaste töölehel esitatud väärtuste abil:

$$I_{Maa} = \frac{3,828 * 10^{26} W}{4\pi(1,5 * 10^{11} m)^2} = 1354 \frac{W}{m^2}$$

2. Valguse intensiivsus Päikesest 45 miljoni km kaugusel:

$$I_{BepiColombo} = \frac{3,828 * 10^{26} W}{4\pi(4,5 * 10^{10} m)^2} = 15043 \frac{W}{m^2}$$

$$I_{BepiColombo} = 11I_{Maa}$$

Sellel kaugusel on valguse intensiivsus 11 korda suurem kui Maa kaugusel (Päikesest). Selleks, et suuri kuumakahjustusi vältida suunatakse päikeseelemendid Päikesest eemale. See tähendab, et päikeseelemendid ei saa olla nii väikesed kui otse Päikese poole suunatud päikeseelementide korral, vaid peavad olema suuremad (42 m<sup>2</sup>).

3. ESA Rosetta kosmoselaev oli trajektoiril, mis viis selle 800 miljoni kilomeetri kaugusele Päikesest. Sellel kaugusel arvutatakse valguse intensiivsust järgmiselt:

$$I_{Rosetta} = \frac{3,828 * 10^{26} W}{4\pi(8 * 10^{11} m)^2} = 47,6 \frac{W}{m^2}$$

Võrreldes Maaga:

$$I_{Rosetta} = 0,035 * I_{Maa}$$

Valguse intensiivsus 800 miljoni kilomeetri kaugusel Päikesest on umbes 3,5 % valguse intensiivsusest Maal.

4. Vaatamata Rosettal kasutatud väga kõrge efektiivsusega päikeseelementidele (tõhusus oli vahemikus 18–26%), pidi päikeseelementide pindala olema väga suur, 64 m<sup>2</sup>. Põhjuseks oli väga madal valguse intensiivsus orbiidi kõige kaugemas punktis.

Kui eeldame, et ainus muutuja on valguse intensiivsuse erinevus, siis oleks pidanud Rosetta päikeseelementide pindala Päikesest Maa kaugusel orbiidil olema ainult:

$$A_{Maa} = 0,035 * 64 m^2 = 2,24 m^2$$

5. Kasutades pöördruudu seadust saame valguse intensiivsuse Saturni kaugusel Päikesest järgmise valemiga:

$$I_{Saturn} = \frac{3,828 * 10^{26} W}{4\pi(1,4 * 10^{12} m)^2} = 15,5 \frac{W}{m^2}$$

Sarnaselt Maa kaugusele Päikesest saab arvutada:

$$I_{Rosetta} = 3,1 I_{Saturn}$$

See tähendab, et võrreldes 800 miljoni kilomeetri kaugusega (Päikesest) peaksid päikeseelemendid olema 1,4 miljardi kilomeetri kaugusel (Päikesest) 3,1 korda suuremad.

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

6. Kosmosesond Cassini-Huygensi võimsusnõuded olid 2,2 korda suuremad kui Rosetta omad (885 W/395 W = 2.2) ja seetõttu kasutati seal tuumaenergiat (radioisotoopgeneraatoreid). Kui selle asemel oleks kasutatud päikeseenergiat, oleks päikeseelementide pindala pidanud olema 2,2 korda suurem kui 4. küsimuses arvatud väärtus.

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

7. Päikeseelemendi mass ruutmeetri kohta on:

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

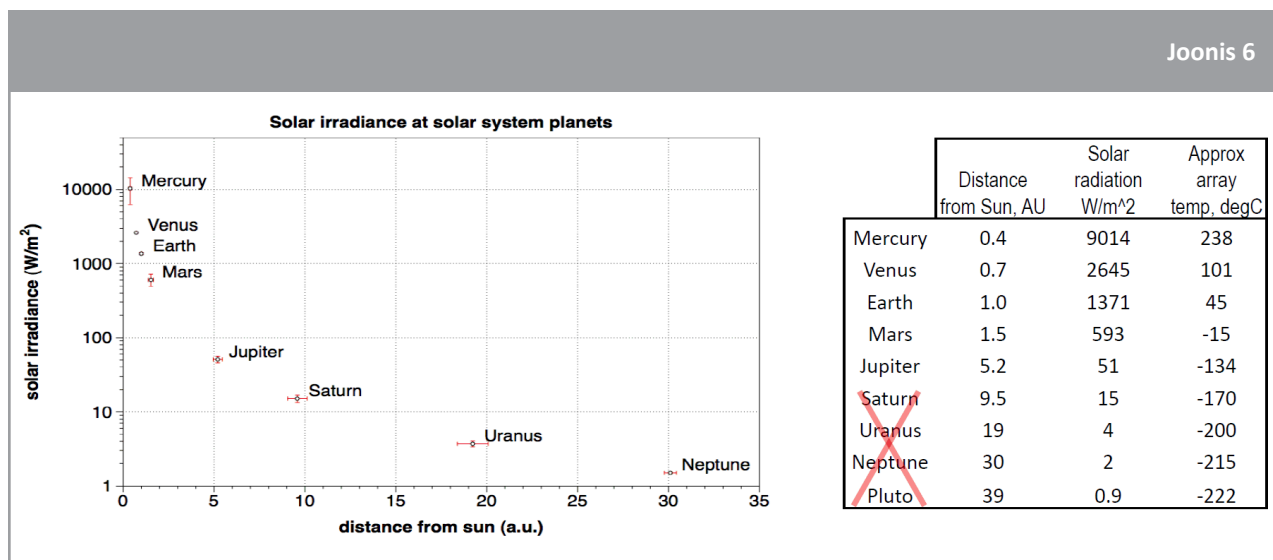
Seega oleks Cassini jaoks vajalike päikeseelementide kogumass pidanud olema ligikaudu:

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

Radioisotoopgeneraatorid kaalusid 56,4 kg, seega 292,8 kg vähem kui oleks kaalunud päikeseelemendid.

8. Päikeseenergia on väga oluline, sest see on taastuv energiaallikas ja seda pole vaja kosmoselaevaga kohale tuua. Vastavalt pöördruudu seadusele väheneb Päikesest eemaldumisel valguse intensiivsus kiiresti (vt joonis 6). See tähendab, et Päikesest kaugemal olles on vaja suuremaid päikeseelementide kogumeid, et tagada kosmoselaeva jaoks vajaminev energia. Jupiterist kaugemal on päikeseenergia kasutamiseks liiga pime.

Joonis 6



Päikesekiirgus (valguse intensiivsus) Päikesesüsteemi planeetidel.

Kuuenda küsimuse juures nägime, et kui kosmosesond Cassini-Huygens oleks kasutanud päikeseenergiat, oleks nende mass pidanud olema rohkem kui kuus korda suurem kui kasutusel olnud radioisotoopgeneraatorite mass! Kosmoseuuringute juures on mass väga tähtis, sest iga täiendava kilogrammi kohta kulub Maa gravitatsiooniväljast lahkumiseks rohkem kütust. Siiski tuleb arvestada ka tuumaenergiaga seotud ohutus- ja turvalisuse piirangutega.