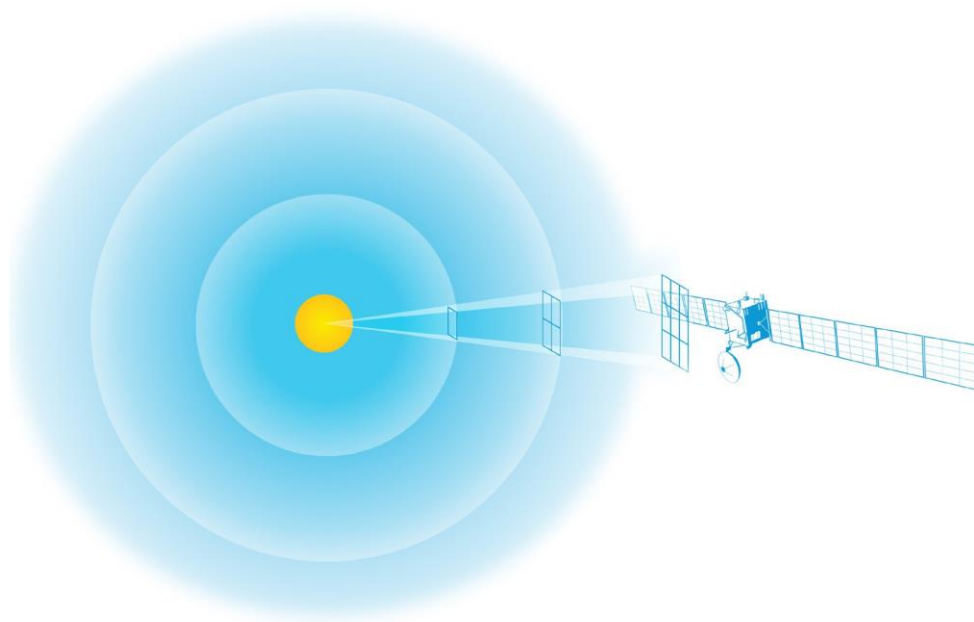
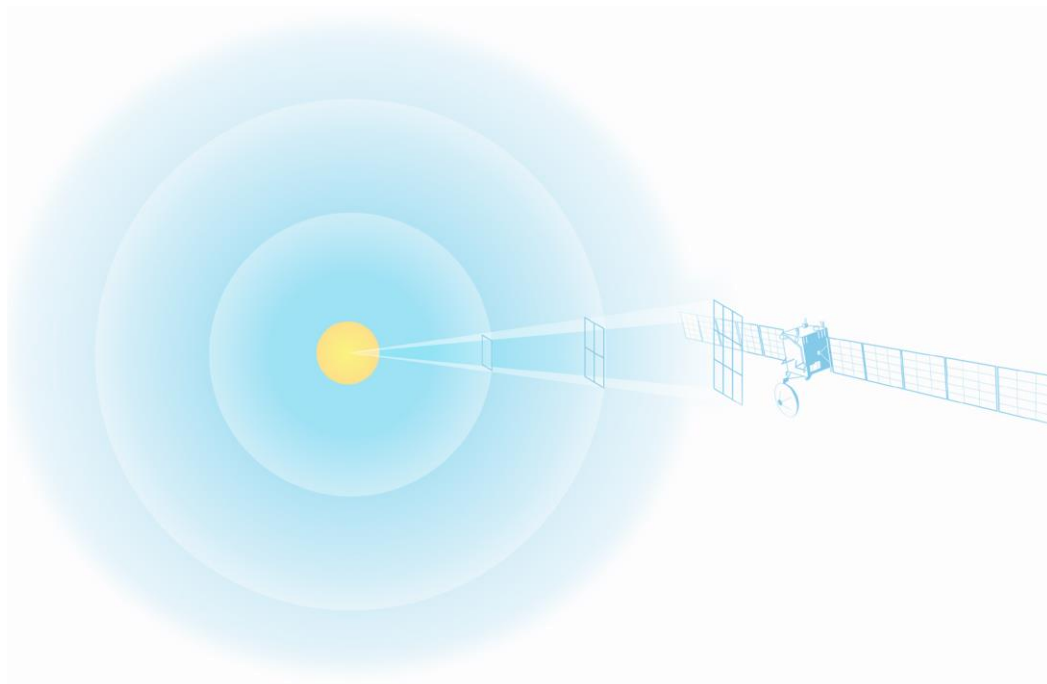


# tanítsunk a világűrrel!

## → Energia napfényből

Napenergia az űrkutatásban





## Tanári útmutató

Alapadatok	3. oldal
A tevékenységek áttekintése	4. oldal
Bevezetés	5. oldal
1. tevékenység: Az inverz négyzetes törvény	7. oldal
2. tevékenység: A beesési szög	9. oldal
3. tevékenység: Napenergia az űrkutatásban	11. oldal

Tanulói munkalap	13. oldal
------------------	-----------

Linkek	21. oldal
--------	-----------

1. melléklet: Az inverz négyzetes törvény	22. oldal
2. melléklet: A beesési szög	24. oldal

tanítsunk a világűrrel! – a napfény ereje | P09  
[www.esa.int/education](http://www.esa.int/education)

Az Európai Űrügynökség (ESA) Oktatási Irodája örömmel fogadja a visszajelzéseket és észrevételeket  
[teachers@esa.int](mailto:teachers@esa.int)

Készült az Európai Űrügynökség oktatási programja keretében  
Szerzői jogok 2018 © Európai Űrügynökség

## → A NAPFÉNY EREJE

### Napenergia az űrkutatásban

#### Alapadatok

**Tantárgy:** fizika

**Korosztály:** 14–18 év

**Típus:** tanulói tevékenység

**Nehézségi fok:** közepes

**Költség:** alacsony

**Tanári felkészülési idő:** 1 óra

**Tanítási idő:** 1,5 óra (plusz 20 perc a kísérlet előkészítése)

**Helyszín:** tanterem

**Eszközök:** napelemek

**Kulcsszavak:** fizika, napenergia, inverz négyzetes törvény, fényintenzitás, beesési szög, Naprendszer

#### Rövid ismertetés

A tevékenységek során a tanulók megismerkednek két olyan fogalommal, amelyek befolyásolják az űrmissziókhoz használt napelemek tervezését: az inverz négyzetes törvény és a beesési szög. Ezt követően elvégeznék két egyszerű kísérletet egy fotovillamos elem (napelem) és egy fényforrás segítségével. Először megméri, hogy a napelemek teljesítménye hogyan változik a fényforrástól való távolság függvényében, és megpróbálják kísérletileg igazolni a fényintenzitásra vonatkozó inverz négyzetes törvényt. Ezután megvizsgálják, hogyan függ a napelem teljesítménye a beesési szögtől. Végül megismerkednek e fogalmak szerepével az Európai Űrügynökség űrmisszióiban.

#### Tanulási célok

- Megtanuljuk, mi a fényintenzitás és hogyan kell kiszámítani azt.
- Megismerjük a beesési szög fogalmát.
- Megismerkedünk a napelemek szerepével.
- Gyakorlati kísérlet keretében vizsgáljuk az inverz négyzetes törvény és a beesési szög hatását.
- Gyakoroljuk az adatok elemzését és grafikus ábrázolását.
- Egyszerű elektromos áramköröket építünk napelemek felhasználásával.
- Tanulunk az elektromos potenciálkülönbségről, az elektromos áramról, a teljesítményről és a fényintenzitásról.
- Megvizsgáljuk az űrmissziók napenergia-igényét.

## → A tevékenységek áttekintése

A tevékenységek áttekintése					
	Cím	Leírás	Eredmény	Szükséges előzmények	Időtartam
1	Az inverz négyzetes törvény	Kísérlet keretében tanulmányozzuk az inverz négyzetes törvényt.	Megismerkedünk az inverz négyzetes törvénnyel, és megértjük, hogyan befolyásolja a napelemek teljesítményét.	Nincs	20 perc a kísérlet előkészítése és 30 perc a tevékenység
2	A beesési szög	Kísérlet keretében vizsgáljuk a beesési szög szerepét.	Megismerkedünk a beesési szög fogalmával, és megértjük, hogyan befolyásolja a napelemek teljesítményét.	Az 1.tevékenység elvégzése javasolt.	30 perc
3	Napenergia az űrkutatásban	Gyakoroljuk az inverz négyzetes törvény alkalmazását az Európai Űrügynökség valódi misszióinak példáin keresztül.	Megvizsgáljuk a napenergia előnyeit és hátrányait az űrkutatásban.	Az 1.tevékenység elvégzése javasolt.	30 perc

## → Bevezetés

A napenergiát gyakran használják az űrmissziók energiaellátására, mivel ez az egyetlen olyan energiaforrás, amely nem jelent többletterhet az űrhajónak, és amely több évig képes biztosítani az űrhajó számára szükséges energiát. Ebben a tananyagban két fontos tényezőt vizsgálunk meg, amelyeket figyelembe kell venni az űrmissziók napelemeinek tervezésekor: az inverz négyzetes törvényt és a beesési szöget.

## Az inverz négyzetes törvény

Az inverz négyzetes törvény kimondja, hogy egy fizikai mennyiség értéke fordítottan arányos az adott fizikai mennyiség forrásától való távolság négyzetével. Ennek egyik leghíresebb példája a fény inverz négyzetes törvénye: a fényforrásból érkező fényáram fordítottan arányos a fényforrástól való távolság négyzetével. A fényáram a fényforrásból az adott térszögre kisugárzott látható teljesítmény. Egy gömb alakú fényforrás, például a Nap esetében a fényáram megegyezik a **sugárzás intenzitásával (I)**. A Nap minden irányban egyenletesen sugározza a fényt, ezért a sugárzás intenzitása a Naptól való távolsággal az inverz négyzetes törvény szerint alakul. Ebben az esetben az inverz négyzetes törvény a következő egyenlettel írható le:

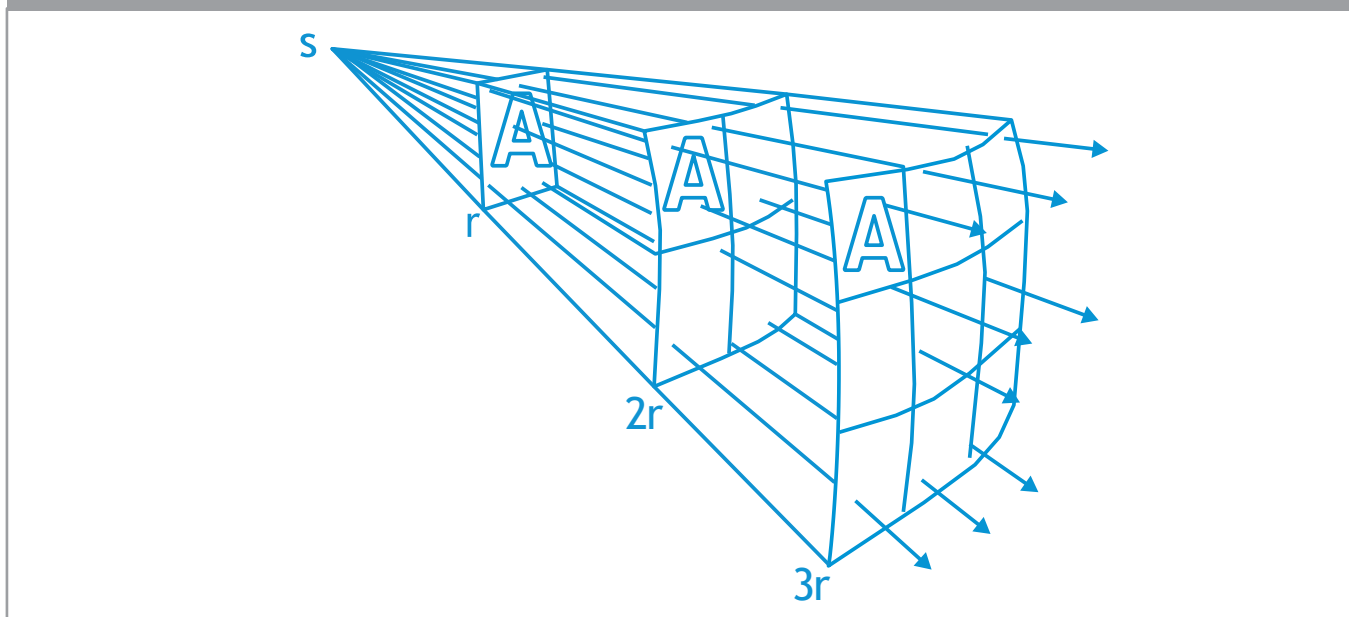
$$I \propto \frac{1}{r^2}$$

I = a napsugárzás intenzitása

r = a Naptól való távolság

Ez azt jelenti, hogy ha egy bolygó vagy űrhajó kétszer olyan messze van a Naptól, mint a Föld, akkor a napsugárzás intenzitása a Földön mért intenzitás negyede lesz (1. ábra).

1. ábra



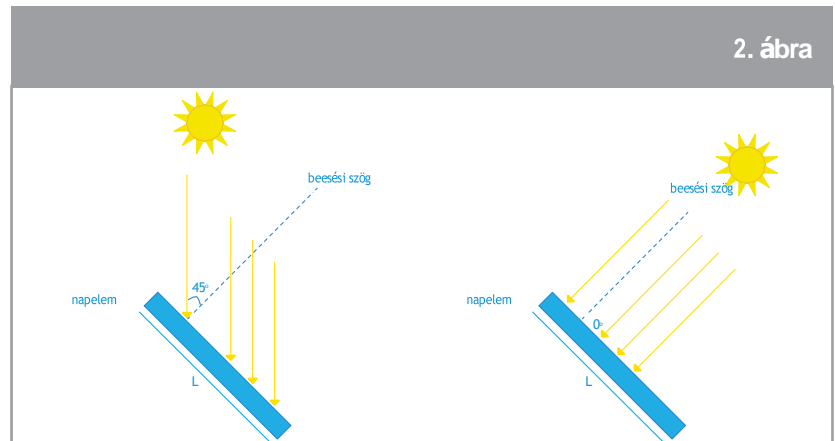
↑ A Nap az S ponton minden irányban egyenletesen sugározza a fényt. R távolságban a fény A területen halad át. Kétszeres távolság esetén (2r) a terület a négyszeresére (4A), háromszoros távolság esetén pedig a kilencszeresére (9A) nő.

Az inverz négyzetes törvénynek fontos szerepe van a napelemeket használó űrmisszióknál. Minél távolabb jár egy napenergiával működő űrhajó a Naptól, annál nagyobb területű napelemekre lesz szüksége az energiaigénye kielégítéséhez.

## A beesési szög

A napelemekre beérkező napfény beesési szöge ( $\theta$ ) szintén fontos tényező az energiatermelés szempontjából. A napelem akkor gyűjti a leghatékonyabban a napenergiát, ha a napsugarak merőlegesen érik, azaz a beesési szög  $0^\circ$ , mert ez maximalizálja a gyűjtőfelület hatékonyságát (lásd a 2. ábrát). Egy  $L$  hosszúságú napelem esetében a gyűjtőfelület egyenlő  $L \cdot \cos(\theta)$ , így a napelemre eső intenzitás is  $L \cdot \cos(\theta)$ .

Űrmissziók esetében a napfény beesési szöge kritikus tényező. Sok űrhajó elforgatható napelemekkel van felszerelve, hogy a napfény beesési szögét csökkentsék, és ezáltal maximalizálják az energiatermelést.



2. ábra

↑  $45^\circ$ -os (balra) és  $0^\circ$ -os (jobbra) beesési szög. A beesési szög a napelemek ( $L$  hosszúságú) felületére merőleges vonal és a beérkező napsugarak által bezárt szög. Ha a napsugarak merőlegesen a napelemre, akkor a beesési szögük  $0^\circ$ .

## Napenergia az űrmissziókban

Az alábbiakban bemutatunk néhány példát arra, hogy az inverz négyzetes törvény és a beesési szög hogyan befolyásolja az űrmissziók megtervezését.

### Rosetta

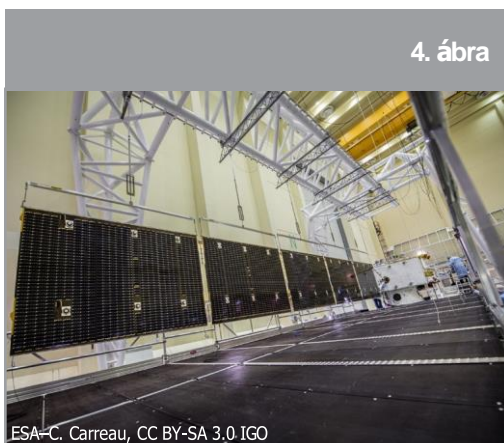
Az Európai Űrügynökség Rosetta nevű űrszondája több mint 10 évig utazott, hogy találkozzon a 67P/Csurjumov–Geraszimenko üstökössel. Útjának legtávolabbi pontján a Rosetta 800 millió kilométerre járt a Naptól, ahol a napsugárzás erőssége mindössze 4%-a a földinek. Ez volt az első olyan küldetés, amely az aszteroidaövön túlra irányult, és az energiatermelésben kizárólag napelemekre támaszkodott. A napelemek 2 méter hosszúak voltak, és  $64 \text{ m}^2$ -es összfelülettel rendelkeztek (lásd a 3. ábrát).



3. ábra

↑ A Rosetta űrszonda két napelemszárnya közül az egyik, teljesen nyitott helyzetben.

### BepiColombo



4. ábra

↑ A BepiColombo Mercury Transfer Module napelemszárnának kibontása.

A napelemekre beérkező fény nagy része hővé alakul át. Az Európai Űrügynökség Merkúrra indított BepiColombo nevű űrszondája a Nap közelében fog elrepülni, ezért a hőhatás nagyon erős lesz. Ha a BepiColombo napelemtáblái néhány másodpercnél tovább fordulnának közvetlenül a Nap felé, károsodnának és leállnának. A kb.  $200^\circ\text{C}$ -ot meghaladó túlforrósodásukat elkerülendő a napelemek a Naptól kissé elfordítva állnak. A szükséges elektromos energia előállításához a BepiColombo napelemeinek sokkal nagyobbak kell lenniük, mintha a területüket pusztán csak az inverz négyzetes törvény alapján számolnánk ki: a panelek összfelülete  $42 \text{ m}^2$  (lásd a 4. ábrát).

## → 1. tevékenység – Az inverz négyzetes törvény

A tevékenység során a tanulók az elektromos áram és az elektromos potenciálkülönbség mérésével kiszámítják egy napelem teljesítményét, és megpróbálják a kísérleti mérések alapján igazolni az inverz négyzetes törvényt.

### Eszközök

- kinyomtatott tanulói munkalap és 1. melléklet minden csoportnak
- egy egyik végén nyitott, vastagfalú kartondoboz
- elektromos kábelek
- sötét színű szigetelőszalag
- fényforrás (kisméretű izzó, 4.5V, 0.3A)
- vonalzó
- 30 cm hosszúságú rúd (pl. fapálca)
- a fény útját elzáró anyag (pl. szivacs, textil)
- amper- és voltmérő (vagy multiméter)
- krokodil csipeszek

### Gyakorlat

Alakítsunk az osztályban 3–4 fős csoportokat, és osszuk ki a tanulói munkalapot és az 1. mellékletet minden csoportnak. A kísérlet megkezdése előtt ismertessük meg a tanulókkal a sugárzás intenzitásának fogalmát.

#### A kísérlet előkészítése

A kísérlet előkészítéseként a tanulók végezzék el az 1. melléklet 1–9. lépését. Fontos, hogy a 9. lépésnél ne felejtsek el bejelölni a nulla távolságot, amikor a fényforrás a napelemhez ér. Az előkészületek befejeztével győződjenek meg arról, hogy minden berendezés működik és megfelelően csatlakoztatva van.

#### Kísérlet

A tanulók az 1. melléklet 10–12. lépését követve végezzék el az elektromos potenciálkülönbségre (U) és az elektromos áramra (I) vonatkozó méréseket, és az adataikat jegyezzék fel a tanulói munkalap 1. táblázatába.

Az első mérés előtt húzzák vissza a rudat legalább 5 cm-rel. Minden további mérésnél 1 cm-rel húzzák vissza a fényforrást, amíg el nem éri a kb. 30 cm-es távolságot. Ideális esetben 20–30 távolságértéket kell mérniük. Nagyobb távolsági intervallumokkal is dolgozhatnak, de akkor a teljesítménycsökkenés a fényforrástól és a napelemektől függően túl gyors lehet az inverz négyzetes törvény megfigyeléséhez. Érdemes előre tesztelnünk az optimális távolságokat, mielőtt a kísérletet a tanulókkal elvégeztetjük.

A tanulók kétszer ismételjék meg a méréseket, majd számítsák ki az átlagot. Vitassuk meg velük az eredmények megbízhatóságát és a tudományos eljárást.

Kérjük meg a tanulókat, hogy számítsák ki a kimeneti teljesítményt és töltsék ki a tanulói munkalap 1. táblázatát:

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



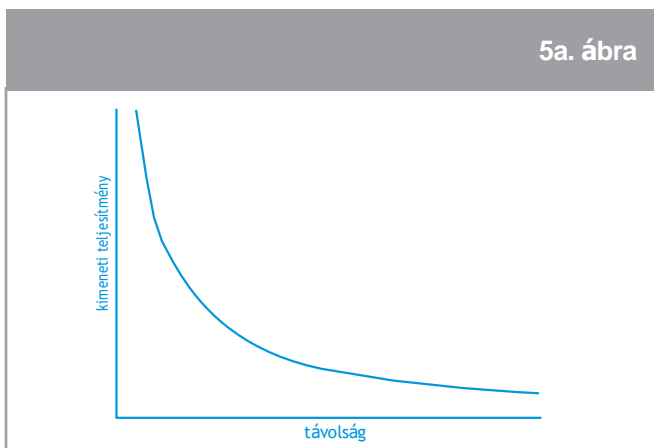
## Eredmények

Az eredmények elemzése során feltételezzük, hogy a napelemek által termelt teljesítmény egyenesen arányos a napelem által felvett teljesítménnyel (termelt teljesítmény = felvett teljesítmény x a napelem hatásfoka). A felvett teljesítmény arányos a fényforrásból származó fényintenzitással (mivel az intenzitás = teljesítmény/terület, és a terület a kísérlet során végig azonos marad). Ezért azt mondhatjuk, hogy a fotovillamos elem által termelt teljesítmény arányos a fény intenzitásával.

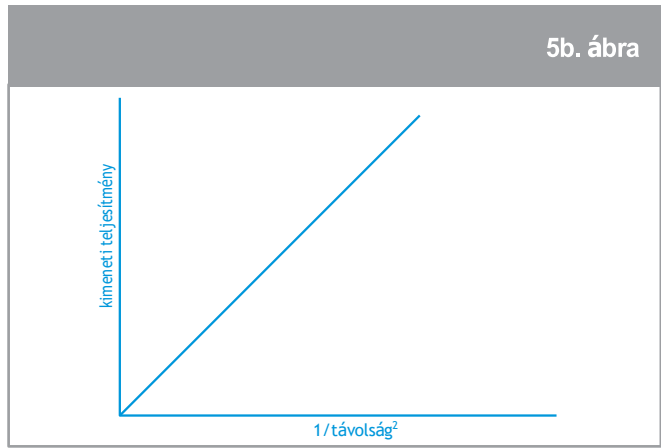
Ahhoz, hogy az inverz négyzetes törvénynek megfeleljen, a napelem által termelt teljesítménynek (P) arányosnak kell lennie a távolság négyzetének reciprokával (r).

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

Az adatok elemzéséhez a tanulóknak ábrázolniuk kell a teljesítményt a távolság függvényében (5a. ábra), a teljesítményt pedig az  $1/\text{távolság}^2$  függvényében (5b. ábra). A grafikonok várható eredményeit az alábbi ábrák mutatják: a második grafikonnak egy egyenes vonalat kell kiadnia.



↑ A kimeneti teljesítmény ábrázolása a távolság függvényében.



↑ A kimeneti teljesítmény ábrázolása az  $1/\text{távolság}^2$  függvényében.

Nem biztos, hogy a tanulóknak sikerül pontosan igazolniuk az inverz négyzetes törvényt. Egyes tényezők befolyásolhatják az eredményeiket:

- Előfordulhat, hogy a doboz nem teljesen sötét, és a külső fényhatások befolyásolják a méréseket.
- A kísérlet adott keretei között a távolság mérésében sok a hibalehetőség.
- Előfordulhat belső fényszórás.
- A napelem belső ellenállása változhat a kísérlet során.
- A napelemhez közeli mérések nem feltétlenül követik az inverz négyzetes törvényt, mivel a fényforrás nem közelíthető pontforráshoz.

A tanulóktól azt a végkövetkeztetést várjuk, hogy ha megduplázzuk a fényforrástól való távolságot, akkor négyszer nagyobb napelemre van szükségünk ugyanannyi energia előállításához.



## → 2. tevékenység: A beesési szög

A tevékenység során a tanulók megismerik a beesési szög fogalmát és a napelemek optimális elhelyezésének jelentőségét. Elvégeznek egy kísérletet, amelynek segítségével megméri, hogy a beesési szög hogyan befolyásolja a kimeneti teljesítményt.

### Eszközök

- kinyomtatott tanulói munkalap és 2. melléklet minden csoportnak
- az 1. tevékenység kísérleti berendezése (lásd a 2. mellékletben)
- pálca a napelem forgatásához (pl. bambusz grillnyárs)
- szögmérő

### Gyakorlat

A tevékenységhez alakítsunk 3–4 fős csoportokat, és osszuk ki a tanulói munkalapot és a 2. mellékletet minden csoportnak.

A kísérlet megkezdése előtt ismételjük át a tanulókkal a beesési szög fogalmát.

#### A kísérlet előkészítése

A 2. tevékenység az 1. tevékenység folytatása. A tanulók a 2. melléklet 1–7. lépését követve alakítsák át úgy az 1. tevékenység kísérleti berendezését, hogy a napelemet adott szögben el tudják dönteni.<sup>1</sup> A mérések megkezdése előtt győződjenek meg arról, hogy minden berendezés működik és megfelelően csatlakoztatva van.

#### Kísérlet

A tanulók a 2. melléklet 8–10. lépéseiben leírtak szerint végezzék el a méréseket, és rögzítsék az eredményeiket a tanulói munkalap 2. táblázatában. Még kétszer ismételjék meg a méréseket, ügyelve arra, hogy a körülmények minden alkalommal hasonlóak legyenek. Végül minden beesési szög esetében számítsák ki az átlagos teljesítményt.

<sup>1</sup> Ha a tanulók korábban nem végezték el az 1. tevékenységet, akkor a kísérlet előkészítéséhez végezzék el az 1. melléklet 1–7. lépését az 5. lépés kihagyásával, majd kövessék a 2. melléklet útmutatását.

## Eredmények

Kérjük meg a tanulókat, hogy ábrázolják az átlagos teljesítményt a beesési szög függvényében. A tanulóktól az adataik alapján azt a következtetést várjuk, hogy a teljesítmény akkor a legnagyobb, amikor a fénysugarak merőlegesen érik a napelemet (beesési szög =  $0^\circ$ ).

Bár a kapott értéknek elvileg nullának kellene lennie akkor, amikor a napelem a fényforrással párhuzamosan áll (beesési szög =  $90^\circ$ ), elsősorban a dobozon belüli fényszórás miatt ez nem fog megvalósulni.

Még ha a lámpa ki is van kapcsolva, az áramkörben továbbra is lehet mérhető maradékáram (sötétáram). A precíz méréseket igénylő tudományos kísérletek elvégzésekor az értékeket úgy kell korrigálni, hogy ezt a hibát levonjuk a leolvasott értékekből.

Ha a tanulók úgy döntenek, hogy a beesési szög =  $-30^\circ$ ,  $-60^\circ$  és  $-90^\circ$ , hasonló értékeket kell kapniuk, mivel a rendszer szimmetrikus. A kísérlet eredménye attól is függ, hogy a rendszer mennyire jól van beállítva.

Néhány hibaforrást már említettünk az 1. tevékenységnél. A mostani tevékenységnél a lehetséges hibaforrások között figyelembe kell még vennünk a szögmérés bizonytalanságait és a napelem elhelyezkedését a dobozban.

Végül a tanulók válaszoljanak a munkalap 9. kérdésére: arra kell jutniuk, hogy a napelem teljesítményének maximalizálásához a beesési szögnek a  $0^\circ$ -hoz kell közelítenie. Javasolhatnak egy olyan mechanizmust, amely a napelemek irányát és dőlésszögét a Nap látszólagos mozgásához igazítja.

Ezekben a kísérletekben a hőhatás elhanyagolható, mivel a fényforrás teljes energiája csak néhány watt. A Napot megközelítő űreszközök, például a BepiColombo esetében azonban a hőhatás számottevő, és nagyban befolyásolja a küldetés megtervezését. Azt a szempontot is figyelembe kell venni, hogy a földi környezettel ellentétben az űrben uralkodó vákuum nem teszi lehetővé a napelemek levegővel történő hűtését.

### → 3. tevékenység: Napenergia az űrkutatásban

A tevékenység során a tanulók az Európai Űrügynökség valódi űrmisszióinak példáin keresztül gyakorolják az inverz négyzetes törvény alkalmazását. Betekintést kapnak abba, hogy az inverz négyzetes törvény hogyan határozza meg az űrmissziók során használt napelemek méretét, és hogy a beesési szögnek milyen döntő jelentősége van a Naphoz közel merészkedő küldetéseknél.

### Eredmények

1. A Földnek a Naptól való átlagos távolsága ( $I_{\text{Föld}}$ ) mellett kapott fényintenzitás kiszámítható az inverz négyzetes törvény és a tanulói munkalapon megadott értékek segítségével:

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

2. A Naptól 45 millió km távolságban a fényintenzitás a következőképpen számítható ki:

$$I_{\text{BepiColombo}} = \frac{3,828 \cdot 10^{26} \text{ W}}{4\pi(4,5 \cdot 10^{10} \text{ m})^2} = 15\,043 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$
$$I_{\text{BepiColombo}} = 11 I_{\text{Föld}}$$

A Naptól ekkora távolságban a fényintenzitás 11-szerese a földinek. A hőkárosodást elkerülendő a napelemeket állandóan el kell dönten a Naptól. Ezért a napelemek tényleges felülete ( $42 \text{ m}^2$ ) sokkal nagyobb, mintha a napelemek közvetlenül a Nap felé nézhetnének.

3. Az Európai Űrügynökség Rosetta űrszonda pályájának legtávolabbi pontján közel 800 millió km-re volt a Naptól. Ebben a távolságban a fényintenzitást a következőképpen számították ki:

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

Ehhez képest  $I_{\text{Föld}}$ :

$$I_{\text{Rosetta}} = 0,035 I_{\text{Föld}}$$

A Naptól 800 millió km-re a fény intenzitása körülbelül 3,5%-a földi értéknek.

4. A Rosetta napelemeinek hatékonysága 18% és 26% között változott. A pálya legtávolabbi pontján tapasztalható alacsony fényintenzitás miatt ezeknek a napelemeknek nagyon nagy, mintegy  $64 \text{ m}^2$  -es felülettel kellett rendelkezniük.

Feltéve, hogy az egyetlen változó a fényintenzitás különbsége lenne, ha a Rosetta földi távolságban keringett volna, a napelemek területe csak ennyi lenne:

$$A_{\text{Föld}} = 0,035 \cdot 64 \text{ m}^2 = 2,24 \text{ m}^2$$

5. Az inverz négyzetes törvény alapján a fényintenzitás a Szaturnusz távolságában a következő:

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

A földi távolságra vonatkozó számításhoz hasonlóan:

$$I_{\text{Rosetta}} = 3,1 I_{\text{Szaturnusz}}$$

Ez azt jelenti, hogy 1,4 milliárd km-es távolságban a napelemeknek 3,1-szer nagyobbak kellene lenniük, mint a Naptól 800 millió km-es távolságban.

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

6. A Cassini–Huygens űrszonda energiaigénye 2,2-szer nagyobb, mint a Rosettáé (885 W / 395 W = 2,2), ezért egy radioizotópos termoelektromos generátornak nevezett nukleáris energiaforrást használt. Ha napelemekre támaszkodott volna, akkor azok területének 2,2-szer nagyobbak kellett volna lennie a 4. kérdésben kiszámított értéknél.

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

7. A napelemek négyzetméterenkénti tömege:

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

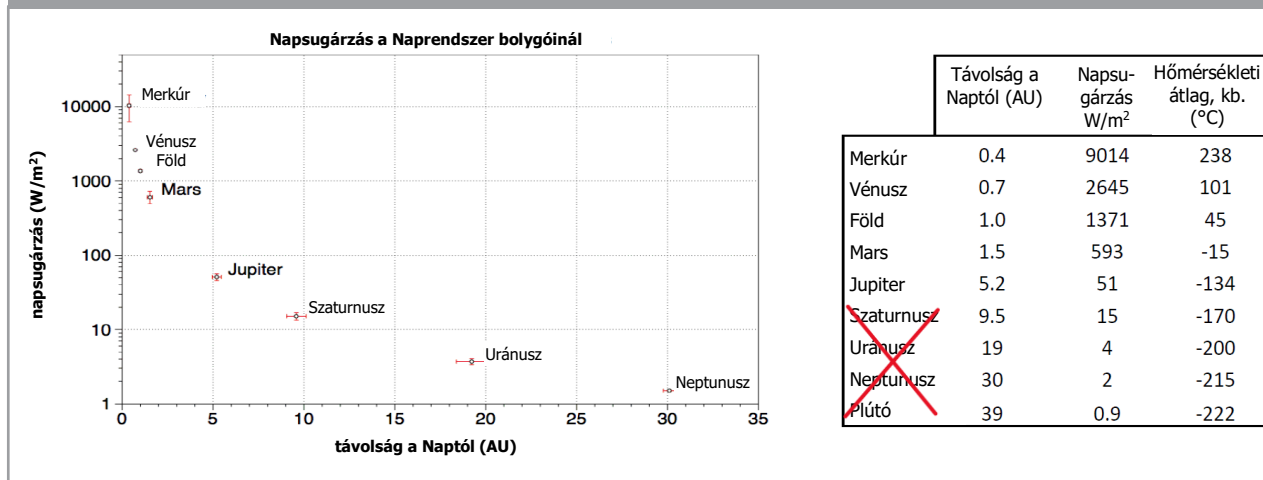
A Cassini energiaellátásához szükséges napelemek össztömege tehát kb.:

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

A radioizotópos termoelektromos generátorok tömege 56,4 kg.  
A tömegtöbblet tehát 292,8 kg lenne.

8. A napenergia jelentős előnye, hogy megújuló energiaforrás, és nem jelent többletterhet az űrhajónak. Az inverz négyzetes törvény értelmében a fényintenzitás a Naptól való távolsággal gyorsan csökken (lásd a 6. ábrát). Ez azt jelenti, hogy a Naptól távolodva egyre nagyobb napelemtáblák kellenek a fedélzeti energiaszükséglet biztosításához, a Jupiteren túl pedig már túl sötét van a napenergia felhasználásához.

6. ábra



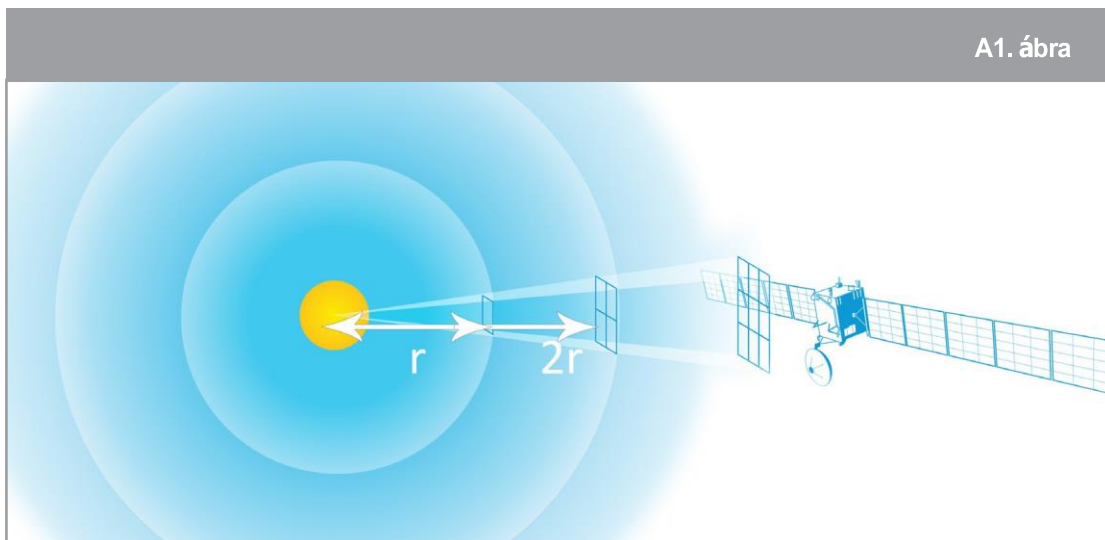
↑ Napsugárzás (fényintenzitás) a Naprendszer bolygóinál.

Ahogy a 6. kérdésben kiszámítottuk, ha a Cassini–Huygens napelemeket használna, azok tömege több mint hatszorosa lenne a radioizotópos termoelektromos generátorokénak! A tömeg számításba vétele nagyon fontos az űrkutatásban, mert minden plusz kilogrammal több üzemanyag szükséges a földi gravitációból való kilépéshez. Figyelembe kell venni azonban az atomenergiával kapcsolatos biztonsági és védelmi korlátokat is.

## → A NAPFÉNY ENERGIÁJA

### Napenergia az űrkutatásban

#### → 1. tevékenység: Az inverz négyzetes törvény



↑ A Nap minden irányban egyenletesen sugározza a fényt. R távolságban a fény A területen halad át. Kétszeres távolság esetén (2r) a terület a négyszeresére (4A) nő.

A Nap minden irányban egyenletesen bocsát ki fényt (lásd az A1. ábrát), így a fényintenzitás (I) egy adott távolságban (r) megegyezik a Nap által kibocsátott teljes teljesítménnyel, amely egy  $4\pi r^2$  felületű, r sugarú gömbön (r) oszlik el.

$$\text{A napsugárzás intenzitása (W/m}^2\text{)} = \frac{\text{A Nap által kibocsátott teljesítmény (W)}}{4\pi r^2(\text{m}^2)} \quad (1)$$

A Naptól való távolságuk függvényében a Naprendszerben mozgó űrhajókat érő napfény mennyisége nagymértékben különbözik.

### Tudtad?

A 2003 szeptemberében indított SMART-1 volt az Európai Űrügynökség első Hold-missziója. Ez volt az első olyan küldetés, amely kizárólag napenergiára támaszkodott ahhoz, hogy ha lassan is, de elhagyja a Föld körüli pályát. 13 hónapos útjával ez volt a történelem leghosszabb holdutazása. Megdöntötte ugyanakkor a Hold-missziók legalacsonyabb kilométerenkénti üzemanyag-fogyasztási rekordját, mivel az elektromos energia nagy részét a kb. 7 méter hosszú napelemszárnyakból nyerte.



## Kísérlet

Ebben a kísérletben megpróbáljátok igazolni a napelem teljesítményére vonatkozó inverz négyzetes törvényt.

- Készítsétek elő a kísérletet az 1. mellékletben található útmutató 1–10. lépése szerint!
- Ellenőrizzétek, hogy minden berendezés csatlakoztatva van és megfelelően működik!
- A 11. és 12. lépéseket követve kezdjétek meg a méréseket!
- Rögzítsétek az elektromos potenciálkülönbségre (U) és az elektromos áramra (I) vonatkozó mérési eredményeiteket az 1. táblázatban!
- Ismételjétek meg a méréseket még két alkalommal!
- Számítsátok ki a napelem kimeneti teljesítményét, és töltsétek ki az 1. táblázatot!  

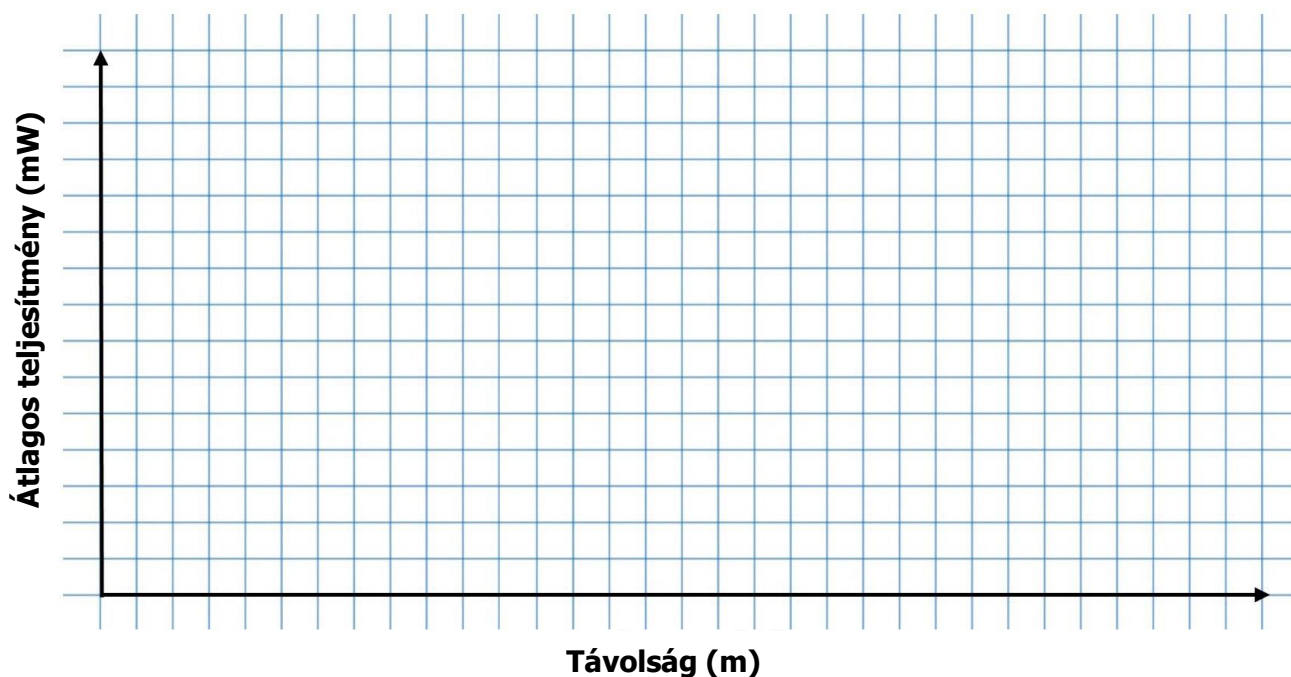
$$P(W) = I(A) \cdot U(V)$$
- Számítsátok ki az átlagos teljesítményt minden távolság esetében!

## 1. táblázat

[illegible]

↑ Táblázat az elektromos potenciálkülönbség (U), az elektromos áram (I) és a kapcsolódó kimeneti teljesítmény (P) rögzítéséhez.

1. Ábrázoljátok az átlagos kimeneti teljesítményt a fényforrástól való távolság függvényében:



2. Igazolja a napelem kimeneti teljesítménye az inverz négyzetes törvényt? Indokoljátok meg az eredményt!

---

---

---

3. Milyen bizonytalansági tényezők vannak a kísérletben? Hogyan befolyásolják ezek az eredményt?

---

---

---

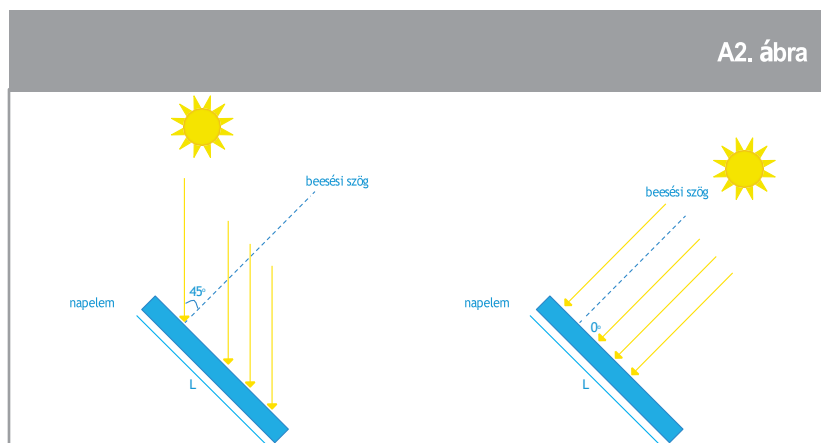
4. Ha megduplázzuk a fényforrástól való távolságot, mekkorának kell lennie a napelemeknek ahhoz, hogy ugyanannyi energiát termeljen?

- ☐ Kisebbeknek kell lenniük
- ☐ Kétszer akkorának kell lenniük
- ☐ Négyyszer akkorának kell lenniük
- ☐ Kilencszer akkorának kell lenniük



## → 2. tevékenység: A beesési szög

A napelemeket érő napfény beesési szöge fontos tényező. Beesési szög alatt a napelemekre merőleges egyenes és a napelemeket érő napsugarak által bezárt szöget értjük. Ha tehát a napsugarak merőlegesek a napelemre, akkor a beesési szögük  $0^\circ$ .



↑  $45^\circ$ -os (balra) és  $0^\circ$ -is (jobbra) beesési szög.

1. A mérések megkezdése előtt próbáljátok megtippelni, mekkora beesési szög adja a legnagyobb teljesítményt. Indokoljátok meg a becsléseket.

## Kísérlet

Ebben a kísérletben megmérjük, hogy a beesési szög hogyan befolyásolja a napelemek teljesítményét.

- A 2. melléklet 1–7. lépései szerint alakítsátok át az 1. tevékenység kísérleti berendezését.
- A 2. melléklet 8–10. lépéseit követve végezzétek el a kísérletet. Rögzítsétek az elektromos potenciálkülönbségre (U) és az elektromos áramra (I) vonatkozó mérési eredményeiteket különböző beesési szögek esetében a 2. táblázatban.
- Ismételjétek meg a méréseket még kétszer.
- Számítsátok ki a napelem kimeneti teljesítményét, és töltsétek ki a 2. táblázatot.  

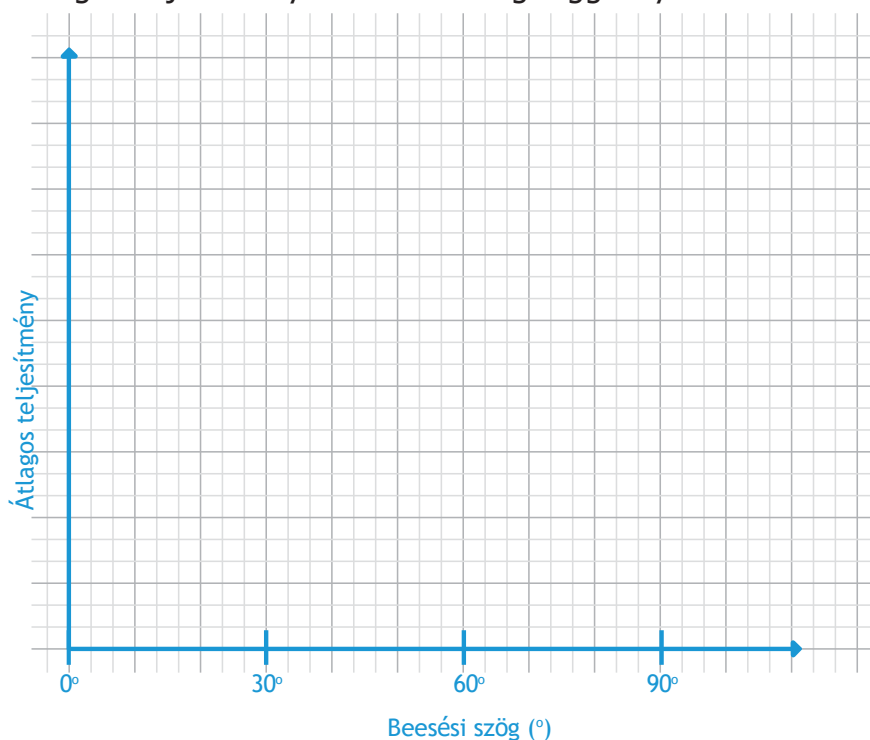
$$P(W) = I(A) \cdot U(V)$$
- Számítsátok ki az átlagos teljesítményt minden beesési szög esetében.

2. táblázat

Távolság	1. kísérlet			2. kísérlet			3. kísérlet			Átlagos P (mW)
	U (V)	I (mA)	P (mW)	U (V)	I (mA)	P (mW)	U (V)	I (mA)	P (mW)	
$0^\circ$										
$30^\circ$										
$45^\circ$										
$60^\circ$										
$90^\circ$										

↑ Elektromos potenciálkülönbség (U), elektromos áram (I) és kapcsolódó kimeneti teljesítmény (P) eltérő beesési szögek esetén.

2. Ábrázoljátok az átlagos teljesítményt a beesési szög függvényében:



3. Mekkora beesési szög adja a legnagyobb teljesítményt? \_\_\_\_\_

4. Helyes volt az 1. kérdésben tett becslésetek? Ha nem, meg tudjátok magyarázni az eltérés okát?

---



---



---

5. Mit gondoltok, miért nem nulla a kimeneti teljesítmény, ha a napelem párhuzamos a fényforrással? (Beesési szög =  $90^\circ$ )

---



---



---

6. Vajon lesz teljesítménykibocsátás, ha a kísérletet kikapcsolt lámpa mellett végzitek el? Teszteljétek a feltevéseteket, és magyarázzátok meg az eredményt.

---



---



---

7. Milyen teljesítményértékekre számítanátok, ha a kísérletet  $-30^\circ$ ,  $-45^\circ$ ,  $-60^\circ$  és  $-90^\circ$ -os beesési szöggel végeznétek? Indokoljátok meg válaszotokat.

---



---



---

8. Melyek a kísérlet fő bizonytalansági tényezői? Előfordulnak-e hibák a méréseitekben?

---



---



---

9. Megmértétek, hogyan függ a teljesítmény a beesési szögtől. Hogyan építenétek fel a napelemeiteket a teljesítmény maximalizálása érdekében?

---



---



---

## Tudtad?

A Nemzetközi Űrállomás (ISS) napelemekkel működik. A képen az egyszerre akár hat űrhajósnak is otthont adó ISS néhány napelemtáblája látható. A Föld körül keringve az ISS napelemei a Nap irányába forgathatók. A panelek összfelülete  $2500 \text{ m}^2$  – ez egy fél futballpálya méretének felel meg!



### → 3. tevékenység: Napenergia az űrkutatásban

Mikor érdemes napenergiát használni az űrkutatásban, és hogyan hasznosíthatjuk az inverz négyzetes törvényre és a beesési szögre vonatkozó ismereteinket?

A Naptól 800 km távolságban utazva az **Európai Űrügynökség Rosetta nevű űrszondájának** hatalmas napelemekre volt szüksége fedélzeti rendszereinek energiaellátásához. Ezzel szemben a Merkúrhoz indított BepiColombo űrszonda olyan közel halad a Naphoz, hogy a napelemeket érő erőteljes sugárzás károsíthatja azokat.

### Gyakorlat

1. A Föld átlagos távolsága a Naptól körülbelül 150 millió km. A Nap által kibocsátott átlagos teljesítmény  $3,828 \cdot 10^{26}$  W. Az 1. feladatban szereplő (1) egyenlet segítségével számítsátok ki a fényintenzitást a Föld távolságában ( $I_{\text{Föld}}$ ).

2. A BepiColombo legkisebb távolsága a Naptól körülbelül 45 millió km lesz. Az intenzív hőhatás károsító hatását elkerülendő a napelemeket el kell dönteni a Nap irányától. Számítsátok ki a fényintenzitást ( $I_{\text{BepiColombo}}$ ) ebben a távolságban, és hasonlítsátok össze az  $I_{\text{Föld}}$  értékkel.

3. A Rosetta legnagyobb távolsága a Naptól mintegy 800 millió km volt. Számítsátok ki a fényintenzitást ( $I_{\text{Rosetta}}$ ) ebben a távolságban, és hasonlítsátok össze az  $I_{\text{Föld}}$  értékkel.

4. Figyelembe véve az űrszonda energiaigényét és a pályája legtávolabbi pontján tapasztalható alacsony fényintenzitást, a Rosetta napelemeinek igen nagy, mintegy  $64 \text{ m}^2$  összfelülettel kellett rendelkezniük. Mekkora lennének a napelemek, ha a Rosetta a Föld távolságában haladna? Csak a fényintenzitás különbségére fókuszáljunk, és tegyük fel, hogy minden más változó állandó marad.

5. Most képzeljük azt, hogy a Rosetta a Szaturnusz felfedezésére indul, 1,4 milliárd km-re a Naptól. Mekkora napelemekre lenne szüksége ebben a távolságban? Csak a fényintenzitás különbségére fókuszáljunk, és tegyük fel, hogy minden más változó állandó marad.

6. A legutóbbi Szaturnusz-misszió űrszondája, a Cassini–Huygens radioizotópos termoelektromos generátorokkal (RTG) működött. A Cassini–Huygensnek  $885 \text{ W}$  teljesítményre volt szüksége, míg a Rosettának csak  $395 \text{ W}$ -ra. Számítsuk ki, mekkora napelemekre lenne szükség a Cassini–Huygens energiaellátásához a Szaturnusz távolságában, feltételezve, hogy ezek hasonlóak lennének a Rosetta napelemeihez.

7. A Cassini–Huygensnél használt radioizotópos termoelektromos generátorok tömege  $56,4 \text{ kg}$  volt, a Rosetta napelemeié  $51,2 \text{ kg}$ . Az 5. kérdés számításai szerint mennyivel nőne a Cassini–Huygens tömege, ha a küldetés napelemeket használt volna?

8. Mik az előnyei és hátrányai a napenergia felhasználásának az űrkutatásban?

→ **Linkek**

## Az Európai Űrügynökség segédanyagai

Holdtábor-kihívás

[esa.int/Education/Moon\\_Camp](https://esa.int/Education/Moon_Camp)

Animációk a Hold felfedezéséről

[esa.int/Education/Moon\\_Camp/Making\\_a\\_Home\\_on\\_the\\_Moon](https://esa.int/Education/Moon_Camp/Making_a_Home_on_the_Moon)

Oktatási segédanyagok

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

## Az Európai Űrügynökség űrprogramjai

A Rosetta-küldetés

[esa.int/rosetta](https://esa.int/rosetta)

Az ESA/JAXA BepiColombo-küldetés

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

A Cassini–Huygens-küldetés

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

## A kérdésekhez kapcsolódó technikai információk

Információk a Rosetta napelemeinek tömegéről (10. oldal)

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

A Rosetta által 5,25 AU-nál termelt tényleges teljesítmény (395 W, 64 m<sup>2</sup>)

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

A Cassini űrszonda műszaki adatai

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

A napelemek tömegére vonatkozó információk a 10. diáról

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

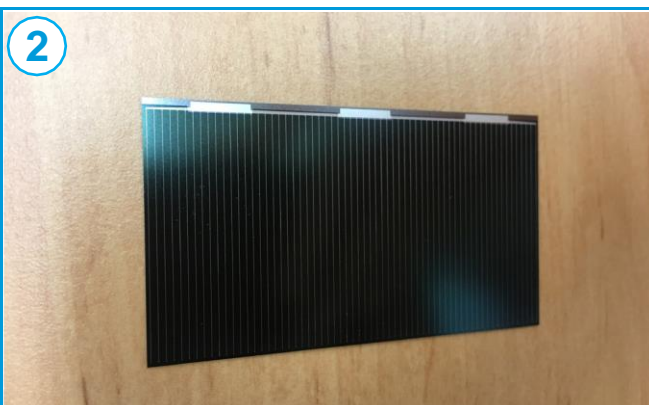
A BepiColombo napelemszárnyainak kibontása

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

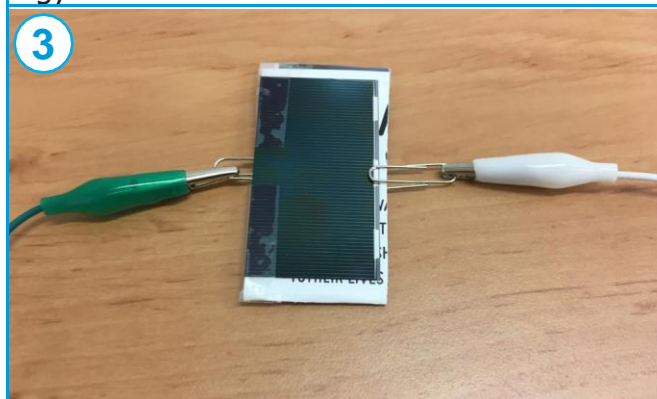
## → 1. melléklet – Az inverz négyzetes törvény



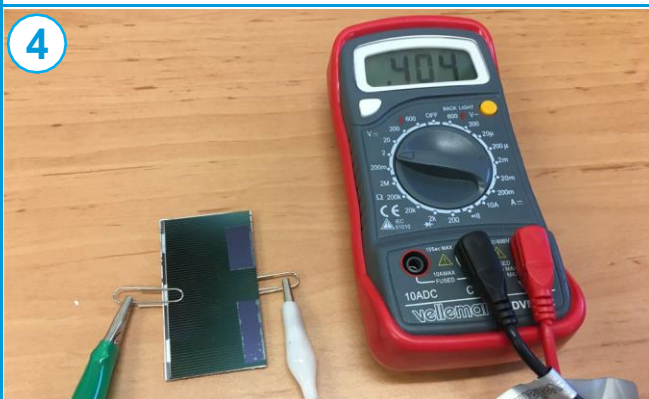
Szükségeztek lesz egy 20–30 cm-es, vastagfalú karton dobozra, amelyben elfér egy kisméretű izzó.



Kelleni fog egy napelem is.



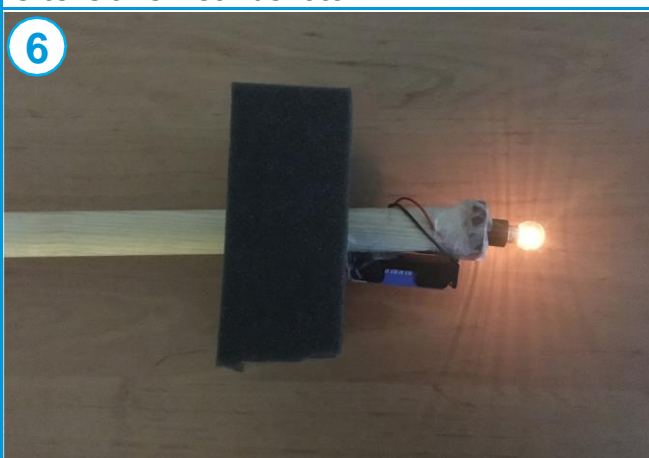
Csatlakoztassátok a krokodil csipeszeket a napelemhez. Ha a napelem típusa szükségessé teszi, alakítsatok ki csatlakozási pontokat a csipeszeknek, pl. gémkapcsokkal.



Ellenőrizzétok a napelem megfelelő működését egy ampermérő soros és egy voltmérő párhuzamos csatlakoztatásával (vagy egy multiméterrel). Az elektromos áram és az elektromos potenciálkülönbség értékeit kell leolvasnotok.

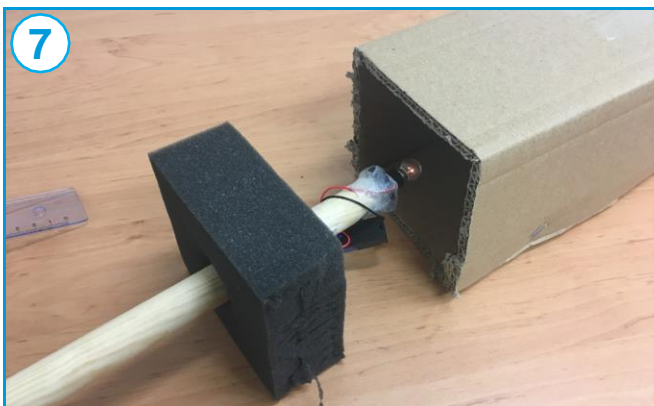


Rögzítsétek a napelemet a doboz belsejében a képen látható módon. Zárjátok le a dobozt.



Rögzítsétek az égőt és az elemet egy rúd végére. A képen látható módon szabjátok ki egy akkora anyagdarabot (pl. sötét színű szivacsból), amekkora a doboz keresztmetszete, hogy a fényforrás mögül érkező fény útját elzárja.





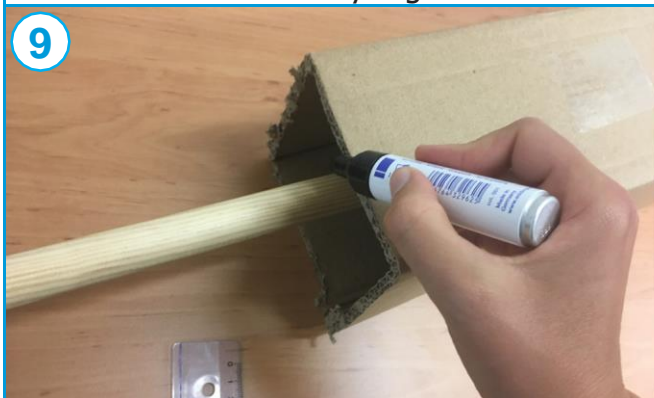
7

Kapcsoljátok be a fényforrást, és helyezzétek a rudat a dobozba. A sötét szivacsot a lehető legszorosabban illesszétek a dobozba, és ha szükséges, fényszigeteljétek a dobozt sötét szigetelőszalaggal, vagy végezzétek a méréseket sötétített helyiségben.



8

Óvatosan toljátok a rudat a dobozba, amíg a fényforrás a napelemhez nem ér. Vigyázzatok, nehogy eltörjön a napelem.



9

Jelöljétek meg a kiindulási helyzetet a rúdon filctollal, vagy rögzítsetek egy mérőszalagot a rúdhoz, és jegyezzétek fel az értéket.



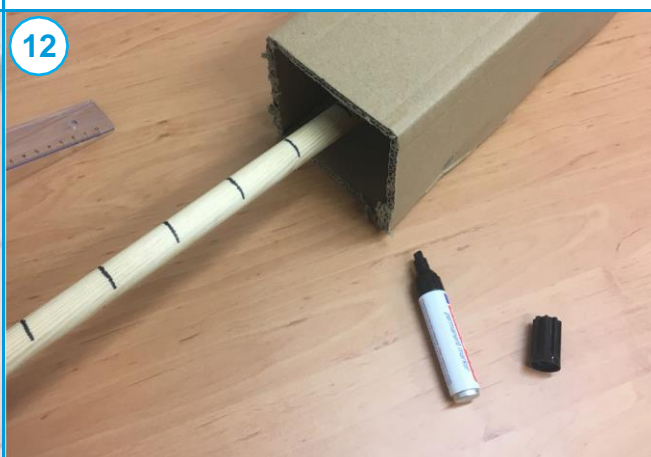
10

Az előkészületek végeztével ellenőrizzétek, hogy minden eszköz működik, és megfelelően csatlakoztatva van.



11

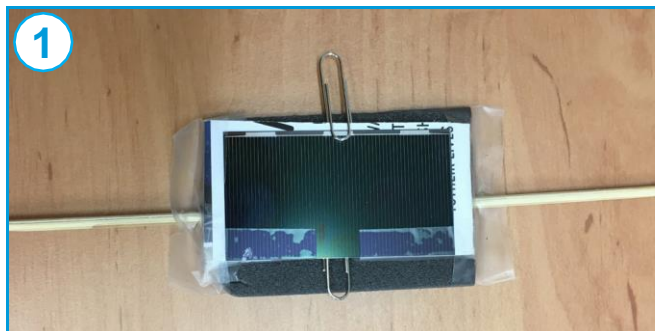
Távolítsátok el a fényforrást a napelemtől 5 cm-rel. Jegyezzétek fel az elektromos áramot és az elektromos potenciálkülönbséget a munkalap 1. táblázatába.



12

Távolítsátok a fényforrást a napelemtől 1 cm-enként, amíg a fényforrás a doboz végéhez ér. Jegyezzétek fel az elektromos potenciálkülönbséget és az elektromos áramot minden pozícióban. Ismételjétek meg a méréseket kétszer, azonos feltételekkel.

## → 2. melléklet – A beesési szög



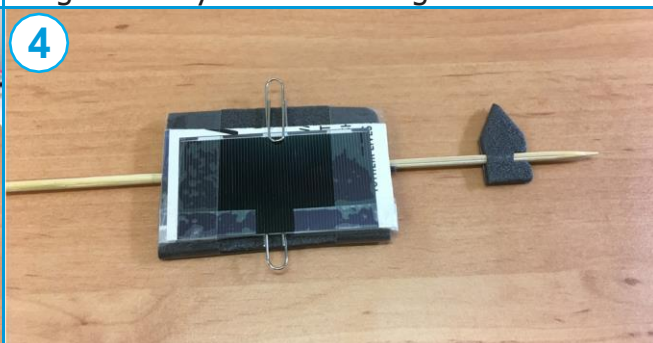
Használjátok az eszközöket az 1. tevékenységből. Rögzítsétek a napelemet egy pálcára, amellyel forgatni tudjátok a doboz belsejében. A forgástengely a napelem közepén legyen.



Jelöljétek ki egy pontot az 1. tevékenységben használt doboz oldalán, ahol a pálca áthalad rajta. Ellenőrizzétek, hogy a pálca függőlegesen és középen legyen, azonos távolságra a doboz felső és az alsó szélétől. A napelemnek legyen elegendő helye a szabad forgáshoz.



Jelöljétek be a függőlegeshez képest  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  és  $90^\circ$  fokos szögeket a doboz egyik oldalán, vagy rögzítsetek oda egy szögmérőt.



Rögzítsetek egy kartondarabot a pálcára a napelemmel azonos tájolással. Ez a dobozon kívül jelzi majd a napelem szögét a doboz belsejében.



Helyezzétek a napelemet a dobozba, és csatlakoztassatok egy ampermérőt sorosan és egy feszültségmérőt párhuzamosan (vagy használjátok multimétert). Zárjátok le a dobozt.



Kapcsoljátok be a fényforrást, és helyezétek a dobozba a napelemtől kb. 10 cm-re. Ez a távolság a kísérlet során maradjon állandó, a rudat nem szabad mozgatni.

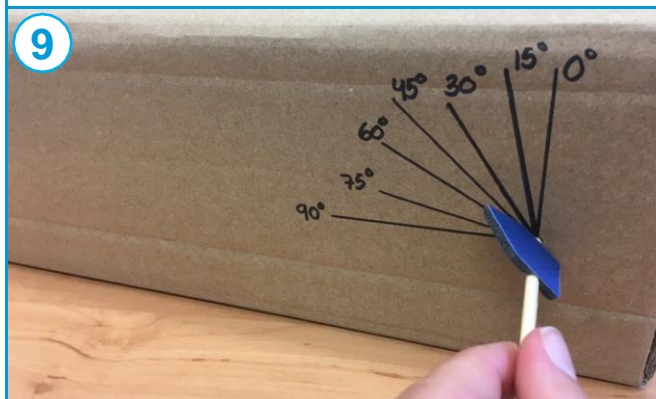




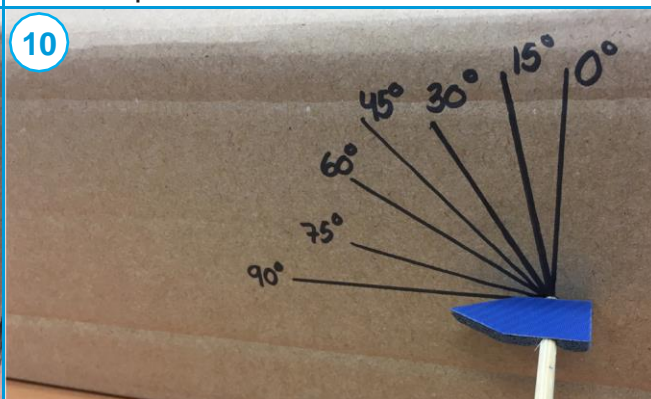
7 Teszteljétek, hogy működik-e a készülék.



8 Mérjétek meg az elektromos áramot és az elektromos potenciálkülönbséget, amikor a napelem merőleges a fényforrásra (beesési szög  $0^\circ$ ). Rögzítsétek az eredményt a munkalap 2. táblázatában.



9 A pálcát elforgatva fokozatosan döntsetek meg a napelemet a doboz oldalán jelzett szögekben. Mérjétek meg az elektromos áramot és az elektromos potenciálkülönbséget minden egyes szög esetében, és rögzítsétek a munkalap 2. táblázatában.



10 Fordítsátok el a napelemet addig, amíg a fényforrással párhuzamos nem lesz (beesési szög  $90^\circ$ ). Mérjétek meg az elektromos áramot és az elektromos potenciálkülönbséget ebben a pozícióban, és rögzítsétek a 2. táblázatban. Ismételjétek meg a kísérletet még kétszer.