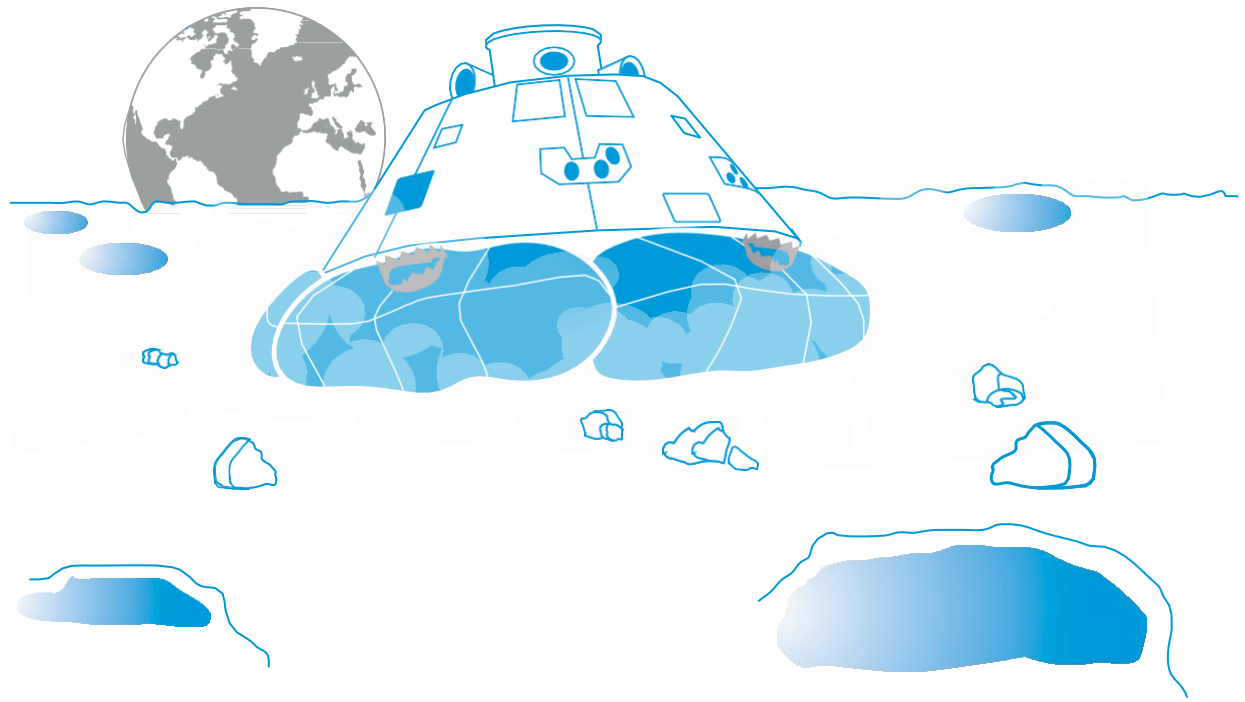
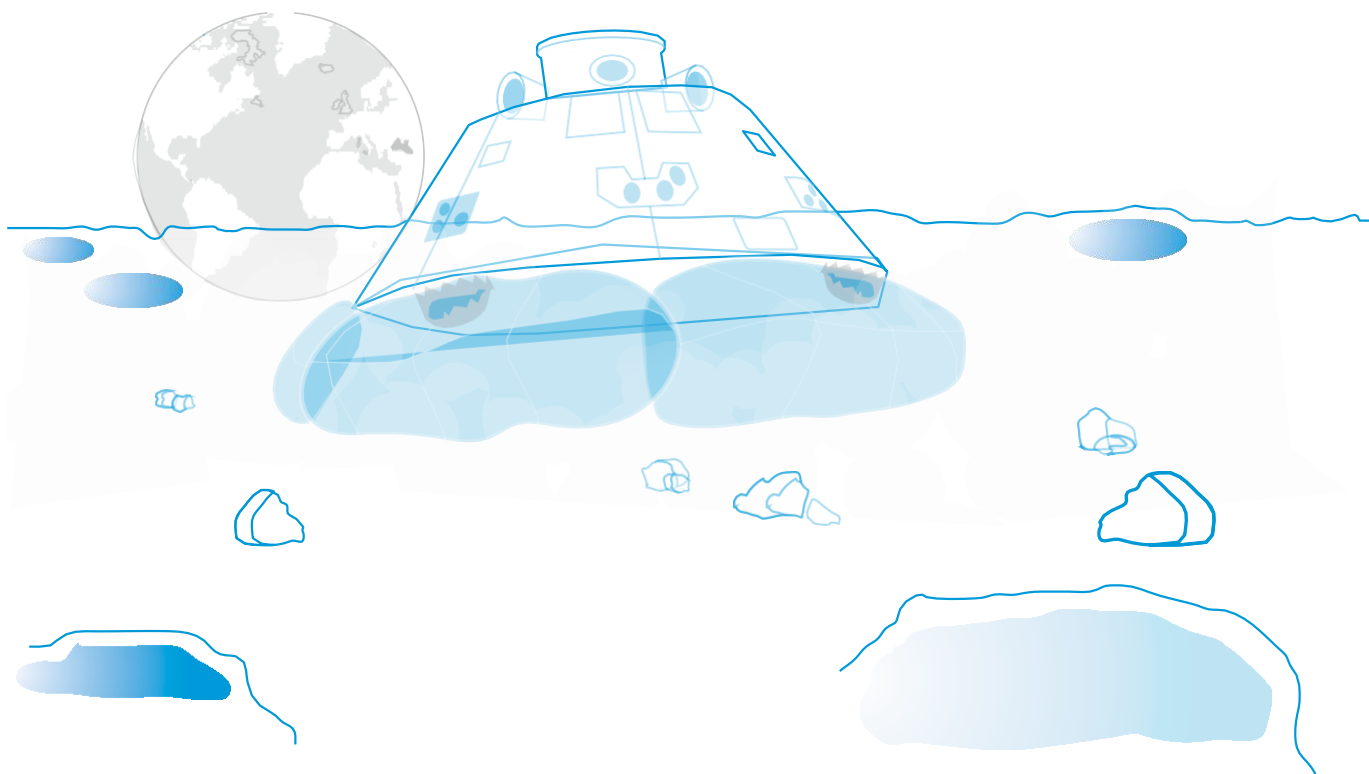


tanítsunk a világűrrel

→ **UTAZÁS A HOLDRA**

Hogy juthatunk el a Holdig?





Tanári útmutató

Alapadatok

5. oldal

A tevékenységek áttekintése

6. oldal

Bevezetés

7. oldal

1. tevékenység: a Hold távolsága

8. oldal

2. tevékenység: Lőjünk mozgó célpontra

10. oldal

3. tevékenység: Gravitáció a Holdon

13. oldal

Tanulói munkalap

15. oldal

Linkek

17. oldal

tanítsunk a világűrrel! – holdra szállás | P37
www.esa.int/education

**Az Európai Űrügynökség (ESA) Oktatási Irodája örömmel
fogadja a visszajelzéseket és észrevételeket**
teachers@esa.int

**Az Európai Űrügynökség oktatási programja az Európai
Űrügynökség Oktatási Erőforrás Iroda (ESERO) Nordic-kal
együttműködésben**
Szerzői jogok 2018 © Európai Űrügynökség

→ UTAZÁS A HOLDRA

Hogyan juthatunk el a Holdig?

ALAPADATOK

Tantárgy: fizika, matematika

Korosztály: 10–14 év

Nehézségi fok: közepes

Tanári felkészülési idő: 1 óra

Tanítási idő: összesen 1 óra 30 perc

Költség: alacsony (0–10 euró)

Helyszín: tanterem

Kulcsszavak: fizika, matematika, oldutazás, gravitáció, gyorsulás, sebesség, Newton törvényei, exponenciális függvény (megérzési szinten), nagyságrendek

Rövid ismertetés

A tevékenységek keretében a tanulók megismerik a Hold távolságát, a Holdra vezető űrhajós út idejét és az indítási irányt. Kísérletet végeznek a földi gravitáció egyhatodát kitevő holdi tömegvonzás szimulációjára, lejtő és golyó felhasználásával.

Tanulási célok

Értsük meg a Föld és a Hold közötti távolságot.

Értsük meg a Hold Föld körüli pályáját és mozgását

A Földről a Holdra vezető űrhajós út jellemzői: idő, irány, célzás

Ismerkedünk a nagyságrend fogalmával

Kísérletet végzünk a holdi nehézségi gyorsulás földi szimulálására

Gyakoroljuk a csapatmunkát és az eredmények megvitatását, bemutatását.

→ A tevékenységek áttekintése

A tevékenységek áttekintése					
	Cím	Leírás	Eredmény	Szükséges előzmények	Időtartam
1	A Föld és Hold távolsága	Összehasonlítást végzünk ismert kiterjedésű objektumokkal: hányat lehet elhelyezni belőlük a Föld-Hold távolságon? Átkötés: mennyi idő alatt tehető meg ez az út űrhajóval?	Köznapi értelemben is alkothatunk fogalmakat a Hold távolságáról	Nincs	30 perc
2	Célzás mozgó célpontra: indítsunk űrhajót a Holdra!	Megértjük a Hold mozgását és az űrhajó sebességét. Kiszámítjuk, mennyivel kell „elé célozni”	Táblázatot töltünk ki: milyen holdutazási idő mellett mennyivel kell „elé célozni”	Az 1. tevékenység elvégzése.	30 perc
3	Élet a Holdon: mit jelent az egyhatod gravitáció?	Lejtőkísérletet végzünk guruló golyóval	Meghatározzuk azt a lejtőszöget, amely esetén a guruló golyó a holdi gravitáció szerint gyorsul	A 2. tevékenység elvégzése.	30 perc

→ Bevezetés

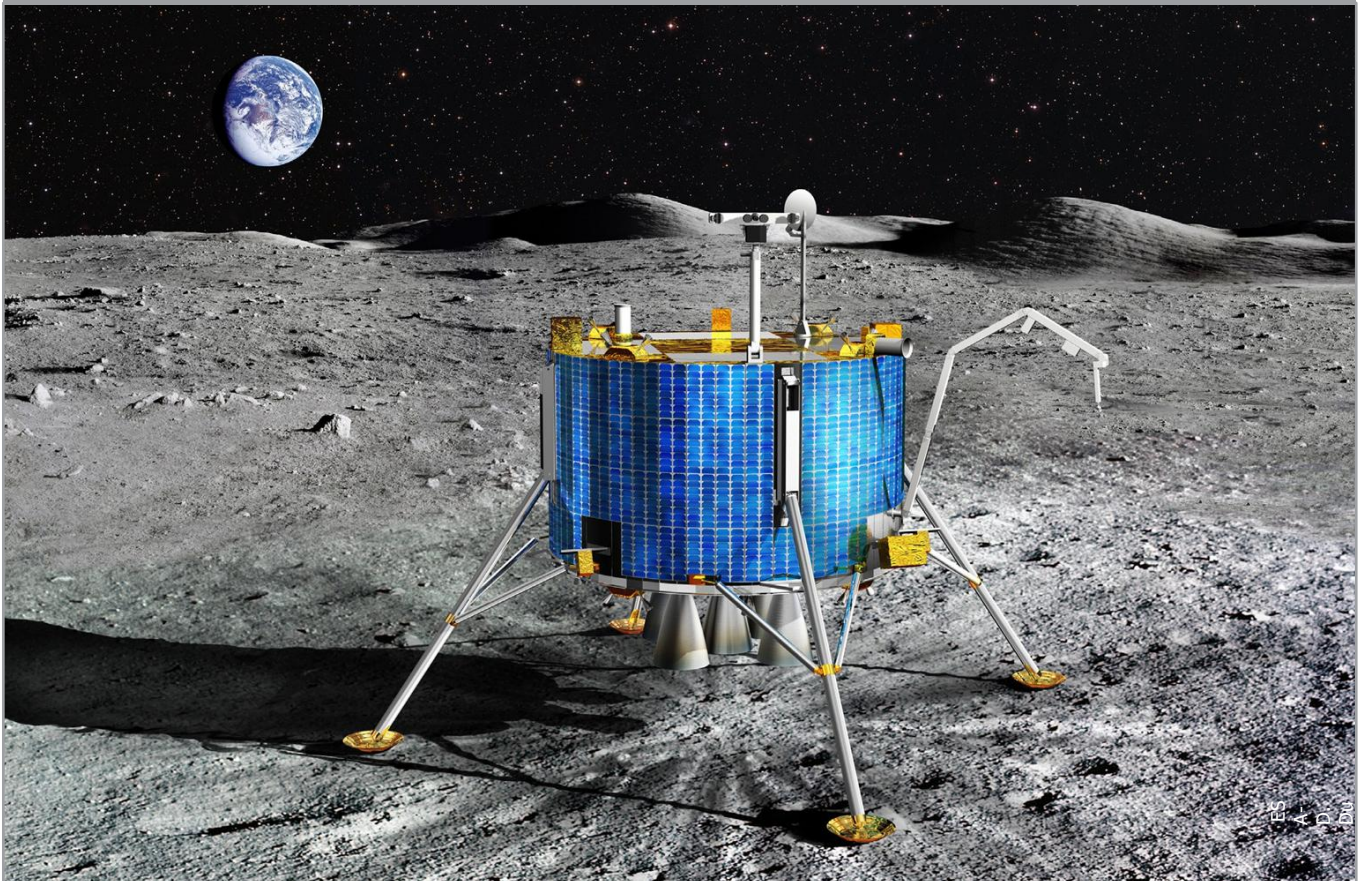
A Hold, a Földhöz legközelebbi égi objektum már a történelmi idők kezdetétől megragadta az emberi fantáziát. Verne Gyula (Jules Verne) 1865-ben írta „Utazás a Holdba” című könyvét. A Hold-utazás megvalósulásáig azonban az 1960-as évekig kellett várni és 1972 óta nem járt ember a Holdon.

Az 1969-ben indított Apollo-11 volt az első emberes küldetés, amely a Holdra szállt. A Földről induló négynapos utazást követően az Eagle (Sas) nevet viselő holdi leszállóegység levált a Hold körül keringő parancsnoki modullról és a Mare Tranquillitatis (Nyugalom Tengerén), egy viszonylag sima és egyenletes területen landolt. A leszállóegységet kézi vezérléssel irányították, hogy kikerülje a sziklákat és a krátereket. „Houston, itt a Nyugalom bázis. A Sas leszállt.” Ezek a szavak új korszakot nyitottak az emberiség felfedezéseinek történetében.

Eddig mindössze 12 ember járt a Hold felszínén, utoljára 1972-ben. Az Európai Űrügynökség más partnerekkel együttműködve azt tervezi, hogy a következő évtizedekben robot- és emberes küldetésekkel tér vissza a Holdra.

Az alábbi tevékenységek keretében a tanulók megismerik a Hold távolságát a Földtől, a küldetések időbeosztását, a TLI (holdirányú gyorsítás) irányzását, és megismerik, milyen gravitáció hat az űrhajósokra a Holdon.

1. ábra



↑ Művészi illusztráció egy holdi leszállóegységről.

→ 1. tevékenység: A Föld és a Hold távolsága

Az alábbi tevékenység keretében a tanulók megismerik a Hold távolságát a Földtől és egyszerű, közismert példákkal fejezik ki ezt a távolságot, földi objektumokkal, illetve a Földön közismert sebességekkel összehasonlítva. Ennek során csoportmunkával kitöltik a tanulói adatlapon megadott táblázatot és javaslatot is tehetnek más, összehasonlításba vonható objektumokra (tanulói adatlap utolsó, üres sora).

Eszközök

- Papírlap
- Kinyomtatott tanulói munkalap minden csoportnak
- Számológép, számítógép, okostelefon

Gyakorlat

Alakítsunk 3–4 fős csoportokat és osszuk ki a csoportoknak egy-egy tanulói munkalapot. Ismertessük a tanulókkal a Hold Földtől való távolságát. A Hold átlagos távolsága a Földtől 384 400 km. Ez a távolság változik, mivel a Hold pályája elliptikus: a legközelebbi pontja (perigeum) körülbelül 363 300 km, a legtávolabbi pontja (apogeum) pedig 405 500 km a Földtől. Ez lesz az a távolság, amelyet földi objektumokkal ki kell tölteniük. Ennek kiszámítása osztással történik, amelyet bármilyen segédeszközzel elvégezhetnek. Figyeljenek oda, hogy az osztás mindkét oldalán azonos mértékegységek (méter, kilométer) szerepeljenek!

A tanulói adatlapon a következő „egységek” szerepelnek:

- tízeleves panelház
- Burj Khalifa (Dubai)
- Mount Everest
- egy napos gyalogút (20 kilométer)
- a Föld átmérője
- a Hold átmérője

Illetve szerepel a táblázat alján egy üres sor, amelybe a tanulók saját ötlet alapján írhatnak be ismert objektumot vagy távolságot (akármilyen vicceset is) és megbecsülhetik a Föld–Hold távolságot ebben az „egységben”.

Eredmények

Ez a táblázat mutatja az eredményeket, illetve a javasolt eredmény-pontosságot is a megbeszélések eredményeként.

objektum, távolság	hossz/magasság	Föld– táv	Hold	legközelebb- legtávolabb	javasolt kerekített érték
10 emeletes panelház	30 méter	12.813.333		12.110.000- 13.516.667	13 millió
Burj Khalifa	828 méter	464.251		438.768- 489.734	465 ezer
Mt. Everest	8848 méter	43.445		41.060- 45.830	43 ezer
egy napos gyalogút	20 kilométer	19200		18165- 20275	19000 nap (kb. 52 év)
Föld átmérője	12800 kilométer	30		28,4- 31,7	30
Hold átmérője	3400 kilométer	113		106,9- 119,3	113
tanulók által javasolt					

Megbeszélés

Amikor elkészültünk, beszéljük meg, hogy milyen pontossággal érdemes megadni az eredményeket az egyes sorokban. A panelházból például $0,03/384400=12.833.333$ darab kellene – de van-e értelme itt az utolsó hármas, de akár a harmincas vagy a háromszázás értéknek is? Jelent ez valamilyen többlet-információt a távolság megértéséhez? Mekkora különbséget jelent az, hogy a Hold a Földhöz legközelebb, átlagos távolságra vagy a legtávolabb helyezkedik el?

Ezen a ponton vessük fel, hogy mennyi idő alatt ér el a fény vagy a rádióhullám a Földről a Holdra? A helyes válasz 384000 km osztva $300000 \text{ km/s} = 1,3$ másodperc, ez azonban kismértékben változik a Hold változó távolsága miatt. Milyen hatása van ennek a holdi űrhajósok és a Föld közötti kommunikációra? Milyen hatása lehet ennek a majdani holdbázis földi internet-kapcsolatára?

A megbeszélés végén tekintsük át a diákok által javasolt, esetleg vicces összehasonlításokat az utolsó sorban.

Opcionális

Amennyiben a diákok fogékonyak és van rá idő, eljátszhatunk azzal a gondolattal, hogy egy 0,1 milliméter vastag papírlapot hányszor kell összehajtani ahhoz, hogy elérjen a Holdig? (Mivel általános iskolában vagyunk, azt viszont engedjük el, hogy ehhez mekkora papírra lenne szükség). A válasz az exponenciális függvényben keresendő, ez azonban az általános iskolában még nem tananyag. Így maximum egy olyan táblázatot készíthetnek (például Excelben, amelyben a legfelső sorba írt 0,0000001 kilométert (az egytized milliméter, tudományos formátumban $1E-7$) a következő sorban duplázzuk, és alatta minden sorban a felette levő cellaértéket duplázzuk, és ez hányadik sorban éri el a 384 ezer kilométert?

(A helyes válasz a 43. sor – 2 a negyvenkettedik hatványon, szorozva egytized milliméterrel fogja meghaladni a Föld– Hold távolságot)

Egy A4-es papírral kipróbálhatjuk, hogy egyébként ekkora méretű papírt hányrét lehet hajtani.

→ 2. tevékenység: Lőjünk mozgó célpontra

A tevékenység során a tanulók megértik, hogy a Hold hogyan mozog Föld körüli pályáján, megismerik a szögekre vonatkozó arányszámítást.

Eszközök

- Kinyomtatott tanulói munkalap minden csoportnak
- Számítógép vagy okostelefon
- Szögmérő

Tevékenység

Beszéljük meg a Hold Föld körüli mozgását. Általános iskoláról lévén szó, most nem érdekes, hogy szinodikus (azonos holdfázisok közt eltelt; 29,5 napos) vagy sziderikus (állócsillagokhoz képesti helyzet ismétlődésén alapuló, 27,3 napos) hónapról beszélünk, ahogy az ellipszispálya miatti sebességváltozások is elhanyagolhatóak. **28 napos hónappal számolunk.**

Beszéljük meg, mennyi ideig tart az utazás a Holdra. Az Apollo-program űrhajói – például az Apollo 11 – körülbelül 39 000 km/h sebességgel haladtak a Hold felé, így az utazás kb. 3 napig (72 óra) tartott.

Modern űrhajók:

- Az Orion kapszula (amit a NASA a jövőbeli Hold-missziókhoz használ) hasonló idő alatt ér el a Holdhoz: kb. 3 nap alatt.
- A SpaceX Starship Holdra szánt változata várhatóan szintén 3 nap alatt érheti el a Holdat.

Rekordidő a Holdig:

A leggyorsabb Hold-misszió a New Horizons űrszonda volt, amely 2006-ban indult a Plútó felé. Az induláskor extrém sebességgel, 58 000 km/h haladt, így ha célja a Hold lett volna, kb. 6 óra alatt elérhette volna.

✎ Összegzés:

- Apollo-program (pl. Apollo 11): ~3 nap.
- Jövőbeli űrhajók (Orion, Starship): ~3 nap.
- Rekordidő (New Horizons szonda): ~ 6 óra, ha a Hold felé indult volna.

Ez azonban számunkra nem mind érdekes. Egyrészt, a Holdra történő utazás során a sebesség nem állandó, kezdetben viszonylag nagy, a Hold– Föld gravitációs egyensúlyi ponton kb. 3000 km/h (kicsit kevesebb mint 1 km/s), de a Hold közelébe érve megint felgyorsul. **A megadott 39000 km/h sebesség ezért csak átlagsebességként értelmezhető.**

A feladatbeli számítások szempontjából nem is a sebesség, hanem az út időtartama a lényeges. Ez pedig mind a legelső, mind a tervezett emberes űrrepülések esetén kb. 3 nap. Nem véletlenül:

- kb. ennél a sebességnél van nyilvánvaló szabadon visszatérő pályagörbe
- ennél a sebességnél van optimális egyensúlyban a (földi és holdi) gyorsításhoz és (holdi) fékezéshez szükséges üzemanyag és a létfenntartáshoz szükséges anyagmennyiség
- A New Horizons szonda sebessége nem tartalmaz Hold-körüli pályára állási manővert, anélkül természetes, hogy menne gyorsabban is.

A továbbiakban számoljunk a létező legegyszerűbb esettel: a 28 nap alatt a Földet megkerülő Holddal akarok találkozni – hány fokkal kell a Hold elé célozni?

$$3 : 28 = x : 360$$

$$x = 38,6 \text{ fok}$$

Tanulói adatlapon megadhatunk egy táblázatot, amelyben a holdutazás különböző időtartama esetén kell megadni ezt a szögértéket. A legérdekesebb lehetőségek a kifejezetten lassú (de a nagy sikerű Gemini-űrrepülés sorozat végén felvetődött Gemini-holdkerülésnél végigszámlolt) 7 napos, illetve a 14 és 28 napos utakhoz szükséges „elé-célzási” szögek:

Holdutazás ideje	ez alatt a Hold a pálya hányad részét futja be?	Ez hány fokos „elé-célzást” igényel?	Megjegyzés
1 nap	1/28	13°	Irreálisan gyors, ilyen sebességnél a gyorsítás és a fékezés nem biztonságos
3 nap	3/28	39°	A jelenleg reális útváltozatok
7 nap	1/4	90°	
14 nap	1/2	180°	A Hold az indításkor épp az ellenkező irányban áll
28 nap	1	360°	Pontosan a Hold felé indulunk, de mire odaérünk, az tesz egy keringést

Megbeszélés

A kitöltött adatlap alapján megbeszéljük az aránypárok kapcsolódó fogalmát, és különösen az utolsó 2 sor eredményeit.

Többit-információ, hogy a Hold felé indítás (TLI: *Trans Lunar Injection*) már Föld körüli pályán történik, érintő irányú gyorsítással a harmadik rakétafokozat alkalmazásával.

Beszéljük meg, mi történik, ha a rakétát rossz szögben indítják el.

A Földre történő visszatérés során nincs fékező manőver: itt a légkör fejt ki a fékező hatást, és a nagy súrlódás miatt a visszatérő modul kötelező része a hőpajzs. Itt viszont nagyon fontos, hogy a Hold– Föld távolságból nézve fél fokos pontossági tartományon belül történjen a légkörbe lépés. Túl alacsony szögben történő belépés esetén a modul lepattan a légkörről, és nem tér vissza a Földre, túl nagy szög esetén pedig elviselhetetlen lesz a lassulás (negatív gyorsulás), és a túlmelegedés miatt a modul meteorként elégne. Ilyen esetek nem fordultak elő az emberes űrkutatás történetében (más esetben pedig nem volt ilyen visszatérő manőver).

→ 3. tevékenység: Élet a Holdon, avagy az egyhatod gravitáció

A tevékenység keretében a tanulók összehasonlítják a Földön és a Holdon észlelhető gravitációs tömegvonzást. Kísérleti összeállítással létrehoznak egy olyan modellt, amelyben a földi gravitációhoz képest kisebb gyorsulással mozognak a golyók.

Eszközök

- Lejtős kísérlet: fix magasságú oszlop, rá állítható vékony műanyag lap és fém- vagy üveggolyó
- Szögmérő
- Óra

Gyakorlat

A 3. tevékenység nem csoportokban, hanem a teljes osztály előtt, tanári kísérletként történik.

Kezdetben beszéljük meg, mit jelent a földi gravitáció és mit jelent a kb. 10 m/s^2 gyorsulás. Bármely, a Föld közelében mozgó objektum függőleges sebessége másodpercenként 10 m/s értékkel növekszik függőlegesen lefelé. Ha a vízszintes sebesség nem elég gyors (és köznapis módszerekkel: ejtés, hajítás, ugrás, sosem elég gyors) viszonylag hamar elérjük a Földet. Ha vízszintesen elég gyorsan megyünk, akkor meg tudjuk kerülni a Földet, vagy tovább gyorsulva az űrbe is eljuthatunk. A Föld megkerülését a sűrű légkör súrlódása miatt minimum kb. 140 kilométer magasságban tehetjük meg.

A 10 m/s^2 gyorsulás igen nagy gyorsulást jelent, amikor valamit kézből leejtünk, az bőven 1 másodpercen belül eléri a földet, az esési idő mérése ezért nagyon pontatlan.

A Hold tömege azonban jóval kisebb a Föld tömegénél (annak kb. $1/80$ része), és mivel a sugara is kicsivel több, mint a Föld sugarának egynegyede, összességében a holdi gravitáció sokkal kisebb: kb. a földinek egyhatod része. A Földön egy álló helyzetből leejtett test az esés első másodpercében kb. 5 méter, a Holdon pedig 80 centiméter utat tesz meg. A Holdon sokkal lassabban esnek a tárgyak, így a gyorsulás hatása könnyebben mérhető.

Ezt a problémát először Galilei oldotta meg: lejtőn gurított golyókkal kísérletezett.



Az összeállítás során lényeges, hogy a golyót mindig azonos magasságból indítsuk (a magasság legyen azonos, ne a befutott út hossza!). Először számítsuk ki (még az órát megelőzően), hogy ebből a magasságból mennyi lenne az egyszerű ejtés során a földet érési idő ($t = \sqrt{2 \cdot h / g}$), pl. 20 cm esetén 0,2 másodperc. Ugyanez az idő holdi körülmények

között fél másodperc lenne).

Kísérletezzük ki, hogy milyen lejtőszög mellett kapjuk meg a leguruló golyó függőleges sebességére a holdi gyorsulást.

A **lejtőn mozgó test gyorsulása** (ha nincs súrlódás) a gravitációs gyorsulás komponense a lejtő mentén:

$$a = g \cdot \sin(\alpha)$$

ahol

- a = gyorsulás a lejtőn,
- g = földi gravitációs gyorsulás $\approx 9,81 \text{ m/s}^2$,
- α = a lejtő szöge a vízszinteshez képest.

A feladat szerint azt szeretnénk, hogy ez a gyorsulás **megegyezzen a Hold gravitációs gyorsulásával**, vagyis:

$$a = 1,6 \text{ m/s}^2 = g \cdot \sin(\alpha)$$

Innen:

$$\sin(\alpha) = \frac{1,6}{9,81}$$

Számoljuk ki pontosan:

$$\frac{1,6}{9,81} = 0,1631$$

Tehát:

$$\alpha = \arcsin(0,1631) \approx 9,38^\circ$$

Opcionális

Általános iskolában a szögfüggvények még nem részei a tananyagnak, mindazonáltal ha van rá idő és fogékonyság, érdemes kikísérletezni, hogy az egyes lejtőszögek mentén milyen gyorsulás értékeket mérhetünk/számíthatunk, és ezt táblázatban ábrázolva a szinuszfüggvény egy része kirajzolódik grafikonon.

Galilei másik állítása ez ügyben az volt, hogy légellenállás nélkül minden tárgy azonos gyorsulással mozog. Ezt a kísérletet a Hold felszínén Dave Scott, az Apollo-15 parancsnoka végezte el:

<https://www.youtube.com/watch?v=Oo8TaPVsn9Y>

Figyeljük meg, hogy a földihez képest észrevehetően lassabban esik mind a kalapács, mind a sólyomtoll

→ UTAZÁS A HOLDRA

Hogyan juthatunk el a Holdig?

→ 1. tevékenység: A Föld és a Hold távolsága

Becsüljétek meg, hogy az alábbi objektumokból hány darab lenne szükséges a Föld és a Hold közötti távolság kitöltéséhez (A számításhoz számológépet, okostelefont, Excelt is használhattok, de figyeljetek rá, hogy az osztás során az osztandó és az osztó ugyanolyan mértékegységben (méter, kilométer) legyen megadva).

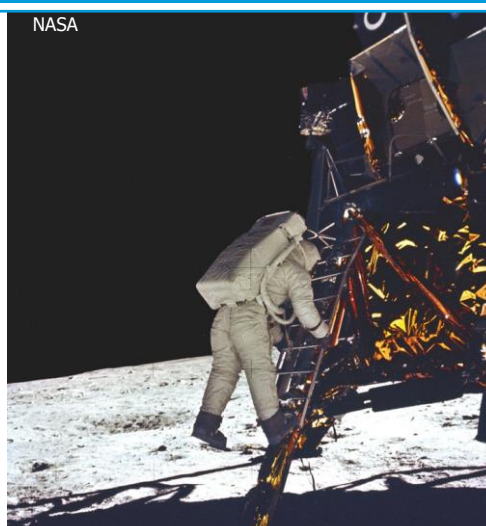
Az utolsó sorban javasoljatok Ti egy, minél viccesebb objektumot vagy távolság-egységet és becsüljétek meg ebben a Hold– Föld távolságot!

objektum, távolság	hossz/magasság	Föld– Hold táv (ebben az egységben)
10 emeletes panelház	30 méter	
Burj Khalifa	828 méter	
Mt. Everest	8848 méter	
egy napos gyalogút	20 kilométer	
Föld átmérője	12800 kilométer	
Hold átmérője	3400 kilométer	
Ti mit javasolsz?		

Tudtad?

Az embereket a Holdra juttató Apollo űrprogram teljes költsége 25,4 milliárd dollár volt – ennek mai értéke az inflációt figyelembe véve több mint 200 milliárd dollár. 2018-ban az Európai Űrügynökség teljes költségvetése 5,6 milliárd euró volt. Napjainkban az űrügynökségek és az ipar közösen dolgoznak egy fenntarthatóbb holdkutatási program kidolgozásán. Meg kell jegyezni, hogy részben ma is az 1960-as években létrehozott infrastruktúrát használjuk: tesztkamrákat, indítóállásokat, küldetésirányító központokat, földi állomásokat, mérnöki tudást, technológiát, anyagokat, így egy holdkutatási program már a kezdetektől fogva sokkal fenntarthatóbb.

Buzz Aldrin űrhajós az Eagle leszállóegységnél a



→ 2. tevékenység: Lőjünk mozgó célpontra

Különböző ideig tartó holdutazás esetén mennyivel kell a Hold „elé célozni”? Számoljunk azzal, hogy a Hold 28 nap alatt kerüli meg a Földet!

Holdutazás ideje	Ezalatt a Hold a pálya hányad részét futja be?	Ez hány fokos „elé-célzást” igényel?
1 nap		
3 nap		
7 nap		
14 nap		
28 nap		

→ Linkek

Az Európai Űrügynökség segédanyagai

Holdtábor-kihívás

esa.int/oktatás/mooncamp

Animációk arról, hogyan juthatunk el a Holdra

esa.int/Education/Moon_Camp/Travelling_to_the_Moon

Oktatási segédanyagok

esa.int/Education/Classroom_resources

Az Európai Űrügynökség űrprojektjei

SMART-1

<http://sci.esa.int/smart-1>

HERACLES

esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/Exploration/Landing_on_the_Moon_and_returning_home_Heracles

További információk

Az Európai Űrügynökség interaktív Hold-útikalauza

<http://lunarexploration.esa.int/#/intro>

Útmutatók a Tracker program használatához

1. bemutató

youtube.com/watch?v=JhI-_glsE6o

2. bemutató

youtube.com/watch?v=ibY1ASDOD8Y