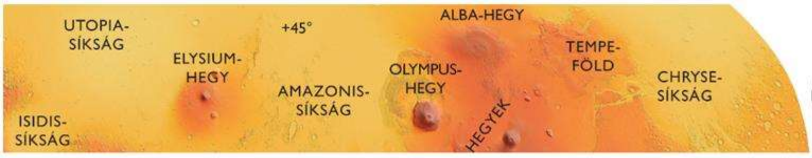
8.2 A kráterképződés modellezése



A KRÁTER-KÉPZŐDÉS MODELLJE

14-18 éveseknek

2. óra

A 2018-as Mars misszió során az InSight elhelyez egy szeizmométert a Mars felszínére, és a tervek szerint 2019-től a műszer elkezdi észlelni a marsi meteorit-becsapódások okozta talajrezgéseket. Ugyanakkor a Marsról folyamatosan készülő műholdképek felhasználásával az új krátereket azonosíthatják, és meg tudják majd határozni, hogy mennyi energia szabadult fel a keletkezésükkor. A becsapódás érzékelt szeizmikus jeleinek felhasználásával a kutatók majd egyre többet tudnak meg a Mars belső szerkezetéről.

Ebben a feladatban képzeletben az egyik missziós projektcsoporthoz csatlakozunk. A csapat feladata a Mars felszínére nagy sebességgel becsapódó meteorit hatásainak vizsgálata.

A csoport úgy döntött, hogy kis sebességű ejtési kísérletekkel szimulálja a kráterképződést. A csoport azt az információt kapta, hogy a Mars felszínének talaja porszerű, olyan finom, akár a liszt.

Házi feladat: utána nézni a kráterképződés matematikai modellezésének.

Kráter képződés: a meteoritek matematikai modellezése

A becsapódó test

A kísérlethez különböző átmérőjű golyókat kell összegyűjteni. A legkisebb golyó átmérője ne legyen sokkal kisebb, mint 1 cm (pl. egy gyöngyszem); az ennél kisebb testek inkább beássák magukat a talajba, és nem hoznak létre krátert.

A szerzők a legjobb „meteorit”-nak eddig egy kb. 3,5 cm átmérőjű és 30 g tömegű fagolyót találták (sűrűsége kulcsfontosságú tényező)

A becsapódási terület

Készítsük elő a meteoritunk becsapódási területét! Ez lehet egy mély tepsi vagy egy karton doboz - elég magas legyen az oldala, hogy meggátolja az anyag kiszóródását. A becsapódási terület legyen legalább 30x30 cm. Az anyaga kulcsfontosságú; liszt vagy finom homok, de nagyon kicsi üveggyöngyök is jól modellezik a valódi becsapódási felületeket.

Számunkra a liszt a legmegfelelőbb. A felületet finoman bepermetezhetjük pl. permetezős viráglocsolóval. Ez a felszín a kérget még reálisabban modellezi.

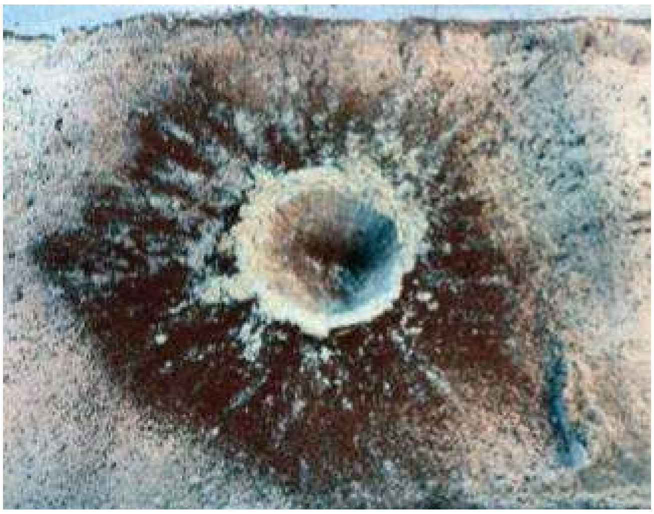
A becsapódási felületet úgy hozzuk létre, hogy a lisztet (vagy homokot) lassan a tartályba szitáljuk, hogy laza maradjon. Az edényt finoman rázogassuk meg, hogy az anyag egyenletesen töltse azt ki. A liszt/homok réteg legalább 5 cm mély legyen.

TANULÁSI CÉL

- megérteni, hogyan függ a kráterek alakja a becsapódó meteoritek tulajdonságaitól
- megérteni, hogy a megbízható mérési adatok érdekében milyen fontos a kísérleti paraméterek pontos beállítása
- az energia átadás leírása, egy objektum becsapódásakor
- a megfelelő egyenletek használata a meteor becsapódási sebességének kiszámításához
- az adatok grafikus ábrázolása
- az adatok és a grafikonok elemzése alapján mintázatok és összefüggések megállapítása
- matematikai modell felállítása
- mérési adataink és ejtési kísérleteink értékelése és megbízhatóságának elemzése

KELLÉKEK

- mély tepsi vagy kartondoboz (legalább 30 cm x 30 cm x 5 cm)
- liszt (annyi, hogy a fenti edényt 5 cm mélyen kitöltse)
- kakaópor (vékony "takaró" réteghez)
- fagolyó (kb. 3,5 cm átmérőjű, 30 g tömegű)



A becsapódási kráter mintázatát részletesebben is megfigyelhetjük, ha nyomon követjük a kiszóródó anyagot. Ezt a felületre előzetesen leszórt, a liszt színétől eltérő anyag, például kakaópor, púder vagy porított festék segítségével tehetjük meg. A becsapódási terület előkészítésekor az eltérő színű por egy részét a liszt felületére szitáljuk. Ez lehetővé teszi, hogy az ütközéskor kidobott anyag és a sugarak jól láthatók és mérhetők legyenek.

A KÍSÉRLET

Adjunk a diákoknak különböző anyagú és méretű golyókat. Egy előzetes vizsgálat segítségével válasszák ki melyik tárgyat tartják a "legjobb" meteoritnak. A további vizsgálatok során ez lesz majd a becsapódó testünk. (A legjobb „meteorit”-nak a szerzők eddig egy kb. 3,5 cm átmérőjű és 30 g tömegű fagolyót találtak.)

A golyót különböző magasságokból kell leejteni, amivel a különböző ütközési sebességeket fogjuk modellezni. (Feltesszük, hogy a golyó sebességét a légellenállás nem nagyon fékezi, nem éri el a végsebességét).

A kísérlet megtervezésének része lehet az, hogy a tanulók előre határozzák meg a saját ejtési magasságaikat. Például 20 cm-től 200 cm-ig terjedő magasságig, 20 cm-es lépésekkel, vagy az ejtési magasságokat úgy osszák be, hogy a becsapódási sebesség változzon egyenletesen.

Van egy kritikus magasság, ami felett a diákok már "jó" krátereket kapnak. Akár feladataként is kiadhatjuk nekik, hogy önállóan derítsék ki ezt az értéket, vagy el is árulhatjuk nekik. A becsapódási kísérletekben a golyókat ennél magasabbról kell leejteni, ha jó mérési adatokat akarunk kapni. A fából készült golyóhoz és liszttel kitöltött felülethez a kritikus magasságot a szerzők kísérleti úton 0,72 m-ben határozták meg.

Ennek a jelenségnek az lehet a magyarázata, hogy alacsonyabb lejtési magasságoknál van olyan pont, ahol a becsapódás ereje nem elég erős ahhoz, hogy legyőzze a lisztszemcsék részecske-részecske kölcsönhatását, és ennek következtében a kráter átmérője nem lesz jelentősen nagyobb növekvő ejtési magassággal.

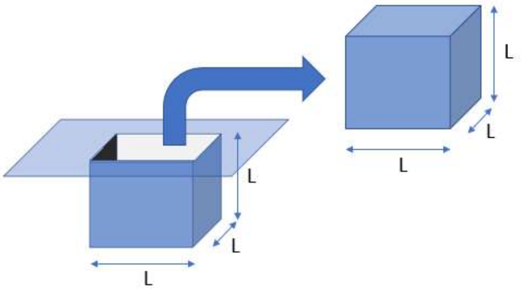
Az becsapódási felületet ugyanúgy készítsük elő minden ejtéskor, mint ahogy az előzetes golyókiválasztó kísérletnél is tettük. A kísérlet a korábbiakhoz hasonló menetet követi: a meteoritunkat az egyes kiválasztott magasságokból az edénybe ejtjük, és gondosan megmérjük minden ejtés után a keletkezett lisztkráter átmérőjét. Minden magasságból végezzünk legalább három ejtési kísérletet!

Jegyezzük fel az adatokat egy táblázatban, például az alábbi módon.

Ejtési magasság	Kráter átmérő [cm]	Átlagos kráter átmérő [cm]

Ássunk gödröt!

A kráterkeletkezés modellezésének egyik megközelítése az, hogy a kráter kialakulását egy lyuk kiásásához hasonlítjuk (Byfleet, 2007, Florida State University). A krátert egy L élhosszúságú, a homokba ásott kocka alakú lyukként modellezzük. Az energia megmarás törvénye szerint a lyuk létrehozásához ugyanakkora potenciális energia szükséges, mint amikor egy hasonló méretű kockát kiemelünk a lyuk melletti talajra.



A lyuk térfogata: $V = L^3$

A lyukból kidobott anyag tömege: $m = térfogat \cdot sűrűség = V\rho = L^3\rho$, ahol ρ a kidobott anyag sűrűsége

Az anyag súlya: $G = mg = L^3\rho g$, ahol $g = 9{,}81\ m/s^2$ a nehézségi gyorsulás értéke.

A potenciális energia növekedése: $E_p = mgL$

Ha feltételezzük, hogy ez a megközelítés igaz bármilyen alakú kráterre; akkor csak egy alaki tényezőt kell bevezetnünk a kráter bármilyen alakúra való kiterjesztéséhez. Ez az alaki tényező ugyanaz lesz minden becsapódásnál mindaddig, amíg a kráter alakja hasonló marad a kísérletek során.

Egy hipotézis lehet az is, hogy nagyobb sebességeknél mélyebb kráter jön létre, vagy nagyobb anyagtömörödés, esetleg eltérő kráter formák. A homok konzisztenciája (pl. nedvesség, szemcseméret) egy olyan másik paraméter lehet, ami befolyásolni tudja a kráter alakját.

Tehát $E_p = mgLf_c = L^3\rho gLf_c = L^4\rho gf_c$, ahol f_c a kráter alakjára vonatkozó tényező

A lyuk kiásásához szükséges potenciális energia megegyezik a golyón közvetlenül az ütközés előtti kinetikus energiájával, ami nem más, mint a golyó zuhanás során bekövetkezett potenciális energiavesztesége a (feltéve, hogy a levegő ellenállása miatt nincs veszteség).

A golyó kinetikus energiája közvetlenül a becsapódás előtt: $E_k = mgh$, ahol h a golyó ejtési magassága. Mivel modellünkben nem veszünk figyelembe semmilyen energiaveszteséget, ezért közvetlenül az ütközés előtt a lefelé haladó golyó potenciális energiája az anyag kidobását eredményező kinetikus energiává alakul át: $mgh = L^4\rho gf_c$ ezért a kráter méretének negyedik hatványa arányos lesz az ejtési magassággal, vagy a becsapódó golyó tömegével:

$$h \approx L^4 \text{ illetve } m \approx L^4.$$

Az elmélet alapján tehát azt várjuk, hogy a golyó ejtési magassága vagy a golyó tömege a (kráter nagysága)^4 függvényében ábrázolva egy egyenes lesz, mivel a többi paraméter (a sűrűség, a nehézségi gyorsulás és a kráterek alakja) állandó.

A hatványtörvény

Egy másik megközelítés szerint a kísérleti vizsgálatok kimutatták, hogy a meteorit $E = \frac{1}{2}mv^2$ kinetikus energiája és a keletkező kráter D átmérője között hatvány összefüggés van (Bunce, 2006, Leicester University).

A kráter elmélete szerint: $D = kE^n$, ahol k és n (nem egész) konstansok

A fenti egyenlet természetes logaritmusát véve: $ln(D) = n \cdot ln(E) + ln(k)$

Így az $ln(D)$ görbéje (az y tengely mentén) az $ln(E)$ függvényében (az x tengely mentén) felrajzolva lineáris kapcsolatot eredményez, ahol n az egyenes meredeksége, és k a metszéspont.