

*Különös rendező az élet. Cikksorozat tervét dédelgettük, melyben neves fizikatanárok mutatnak be kísérleteket, majd leírják a jelenségek magyarázatát. Vermes Miklóssal kell indítanunk a sorozatot, ebben megegyeztünk. Ő gyorsan teljesítette a kérésünket, elkészítette a „cikkféleséget” – így nevezte levelében –, a sorozat megvalósítása azonban késett. Írása így lett posztumusz cikk, így vált ennek az emlékezésnek a részévé. Lehajtott fejjel közöljük, hiszen a vállalt feladat teljesítésében ismét mögötte maradtunk.\**

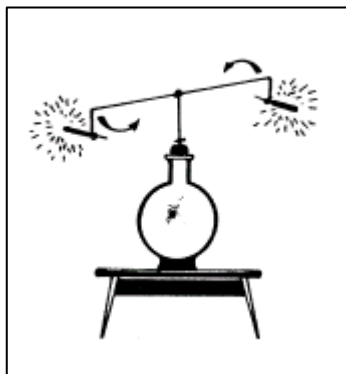
## *A csillagszóró mint rakéta*

„Már a régi görögök is...” – mondással kezdődik számos előadás, utalva ezzel arra, hogy sok ismeretünk igen régi eredetű. Most inkább ezzel kellene kezdenünk: „Már a régi kínaiak is...”, hiszen ők használtak először rakétát, s ők találták fel a puskaport is, ami szükségessé hozta.

Amikor a járdán előrefelé megyünk, a rögzített talajhoz képest előre toljuk magunkat. De hogyan jussunk előre a világűrben, ahol nincs mibe belekapaszkodni?

Egy acéltartály falait a beléje zárt nagy nyomású gáz minden oldalán nyomja: az erők eredője nulla, az acéltartály tehát nem fog ide-oda szaladgálni. De ha az egyik fala hiányzik, a tartály jobb oldali falát nyomó erő az egész tartályt jobbra viszi, s az az erő, amely az előbb a tartály bal oldali falát nyomta, most a gázt dobja ki bal felé. Ez a rakétaközlekedés elve: az ember ül egy kocsin, s vele van a megvásárolt burgonya, amelyet haza akar szállítani. Emberünk hátrafelé kidobálja a burgonyát, így hozva mozgásba a kocsiját. Lehet, hogy közben elfogy a burgonya, a kocsit azonban hazagurul.

A rakétaközlekedésnek ez az alapelve a Newton III. törvénye néven ismert természeti jelenségnek a megnyilvánulása. A törvény a következő természeti tényt foglalja szavakba: a természetben az erők kettesével fordulnak elő úgy, hogy minden esetben egyszerre két erő mutatkozik, ezek egyenlő nagyságúak, ellentett irányúak, s egy egyenesben hatnak. Ha ez a két erő egyetlen merev testen érvényesül, a merev testben működő rugalmas erők közvetítésével egyensúly jön létre. Amikor a két erő két külön testen hat, ezek mindegyikét gyorsuló mozgásba hozza. Ez a rakéta esete: az egyik erő a gázokat dobja ki gyorsulva, a másik a rakétatestet gyorsítja.



Számos egyszerű kísérlet alkalmas a rakétaelv bemutatására. Például a felfújt léggömb vagy a kilyukasztott széndioxid-patron mozdul meg ilyen módon. A lehető legszelídebb megoldás a két csillagszóróval működő úgynevezett Segner-kerék. Egy 20-25 cm hosszú, a végein lehajlított drótra egy-egy csillagszórót erősítünk. A drót közepére apró lemezkét ragasztunk, s a szerkezetet egy kis palack dugójába szúrt tűnek a hegyére helyezzük. Ha mind a két csillagszórót egyszerre meggyújtjuk (lásd az ábrát!), a szerkezet forogni kezd, egyre gyorsabban és gyorsabban.

Kis játékszerünkkel megközelítő pontossággal tanulmányozhatjuk a rakéta mennyiségi törvényét. Jelentse  $k$  a rakéta által egy másodperc alatt kilökött anyagnak a tömegét kg-ban, továbbá  $c$  azt a sebességet, amellyel az égéstermékek kilöködnek. A rakétát toló erő newtonban mérve:  $F = kc$ , mert ennyi az

impulzus egy másodperc alatti megváltozása. Egy kísérletben eszközünk tömege 8 grammnak bizonyult, s 25 másodpercnyi égés után tömege 0,6 grammal lett kevesebb. A másodpercenként kilökött tömeg  $k = 6 \cdot 10^{-4} : 25 = 2,4 \cdot 10^{-5}$  kg. Az égés végén a rakéták a 0,1 méter sugarú kört 4 másodperc alatt tették meg, ami  $2 \cdot 0,1 \cdot \pi : 4 = 0,157$  m/s végsebességet jelent. Ezt a végsebességet a 8 grammos tömeg 25 másodperc alatt érte el, tehát a gyorsulás  $0,157 : 25 = 0,00628$  m/s<sup>2</sup>. Mivel a tömeg közelítően 8 grammos, ez  $F = 8 \cdot 10^{-3} \cdot 0,00628 = 5 \cdot 10^{-5}$  newton nagyságú tolóerőt jelent. Az égéstermékek kilökési sebessége  $c = F : k = 5 \cdot 10^{-5} : 2,4 \cdot 10^{-5} = 2,1$  m/s.

A valóságos rakéták esetében az adatok sokkal, de sokkal nagyobbak. A Hold felé indított Apolló űrhajó Saturn V. nevű rakétájában a  $k = 15$  tonna/másodperc és  $c = 2400$  m/s volt. A tolóerő induláskor  $3,6 \cdot 10^7$  newton volt, s ez az erő 3600 tonnás tömeget képes fölemelni. Induláskor a rakéta teljes tömege 3000 tonna volt, eszerint, 600 tonna súlyának megfelelő  $6 \cdot 10^6$  newton erő a  $3 \cdot 10^6$  kg tömegű rakétát  $6 \cdot 10^6 : 3 \cdot 10^6 = 2$  m/s<sup>2</sup> gyorsulással indította el. Indulás után a gyorsulás folyamatosan növekedett, mert a rakéta gyorsítandó tömege csökkent. Két és fél perc múlva elfogyott az első fokozat üzemanyaga, maradt 750 tonnás tömeg, s ennek a gyorsulása már 48 m/s<sup>2</sup> lett.

A mi játékszerünk egy ilyen rakétának egymilliószor kisebbített mintája.

**Vermes Miklós**

\*A szerkesztőség előszava

Megjelent az Élet és Tudomány 1990. VI. 29-i számában.