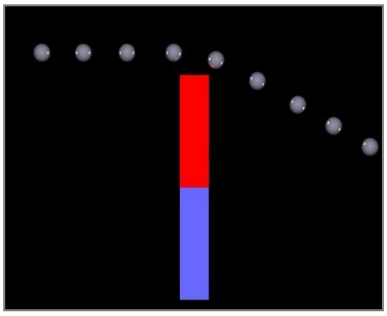
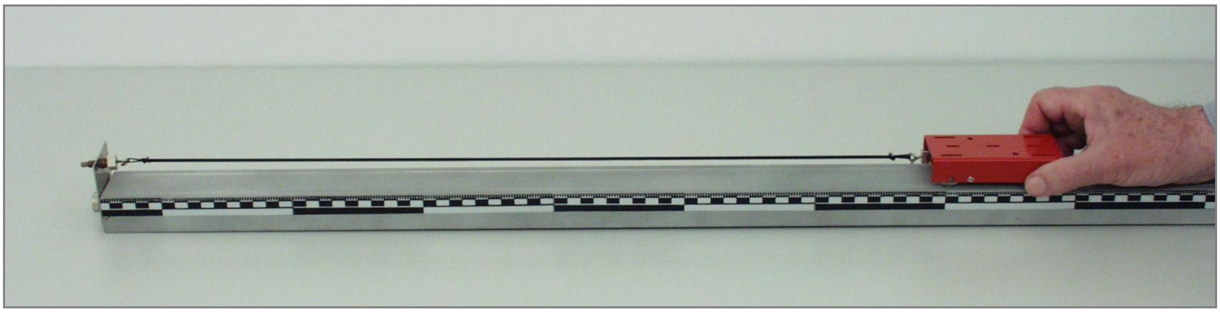
Newton II. törvénye

A „tizenegyes” rúgása előtt a földre helyezett labda nyugalomban van, de amikor a játékos belerúg, akkor sebessége megváltozik. A meglökött biliárdgolyó egyenes vonalú egyenletes mozgást végez, de egy másik golyónak vagy az asztal szélének ütközve irányt változtat, így megváltozik a sebessége. Ha a kezünkben tartott teniszlabdát elengedjük, akkor a gravitációs mező hatására ***g*** gyorsulással mozog. A vízszintes asztallapon, egy mágnes mellett elgurított vasgolyó a mágneses mezővel történő kölcsönhatás miatt letér az addigi egyenes vonalú pályájáról.



A kölcsönhatások egy részénél tehát a kölcsönhatásban részt vevő test *mozgásállapota megváltozik*, azaz a test gyorsul. A gyorsulás mértékét a test tömege is befolyásolja. Az üres teherautó gyorsulása ugyanolyan körülmények között nagyobb lehet, mint megterhelt állapotban. További hasonló megfigyelések is azt igazolják, hogy ugyanaz a kölcsönhatás a nagyobb tömegű testet kevésbé gyorsítja.



Egy kísérletsorozatban megnyújtott gumiszállal egy kiskocsit gyorsítottunk fel úgy, hogy a gumit minden esetben azonos mértékben nyújtottuk meg. Az egyes méréseket különböző tömegű kocsikkal végeztük el. A kocsik tömegét és a mért átlaggyorsulásokat a következő táblázat tartalmazza:

m (kg)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\bar{a}$ (m/s^2)	12	6	4	3	2,4
$m \cdot \bar{a}$ ($kg \cdot m/s^2$)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2

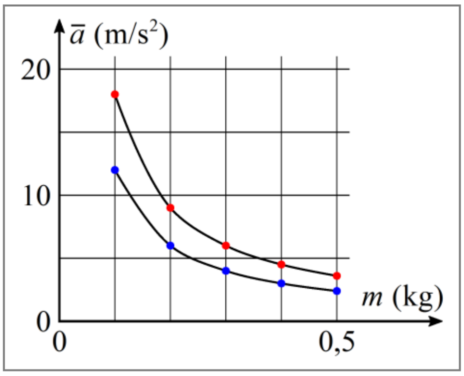
Megfigyelhető, hogy minél nagyobb a kocsi tömege, annál kisebb az átlaggyorsulása. A tömeg és az átlaggyorsulás szorzatát kiszámítva minden esetben ugyanazt az értéket ($1{,}2\ kg \cdot m/s^2$) kapjuk. Eszerint a test adott hatásra bekövetkező átlaggyorsulása fordítottan arányos a test tömegével.

A méréssorozatot egy „erősebb" gumiszállal is elvégeztük, ekkor a következő eredményeket kaptuk:

m (kg)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\bar{a}$ (m/s^2)	18	9	6	4,5	3,6
$m \cdot \bar{a}$ ($kg \cdot m/s^2$)	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8

A tömeg és az átlaggyorsulás most is fordítottan arányos egymással, de szorzatuk most ($1{,}2\ kg \cdot m/s^2$). Ez az érték nagyobb, mint az előző méréssorozatnál. A növekedés annak a következménye, hogy a kocsi most egy „erősebb" gumiszállal volt kölcsönhatásban.

Ha a két méréssorozat adatait gyorsulás–tömeg grafikonon ábrázoljuk, akkor a mérési pontok mindkét esetben egy-egy hiperbolához illeszkednek. Mindezek arra utalnak, hogy a test tömegének és átlaggyorsulásának a szorzata jellemző a kölcsönhatás erősségére.



A test tömegének és átlaggyorsulásának szorzatával meghatározott fizikai mennyiséget átlagerőnek nevezzük. Jele az angol force (erő) alapján $\overline{\boldsymbol{F}}$. Képlettel:

$$\overline{\boldsymbol{F}} = m \cdot \overline{\boldsymbol{a}}$$

A definícióból következik, hogy *az átlagerő vektormennyiség*. Mivel a tömeg pozitív, így az átlagerő iránya megegyezik az átlaggyorsulás irányával. Az átlagerő SI-mértékegysége a newton (jele N):

$$[\overline{\boldsymbol{F}}] = [m] \cdot [\overline{\boldsymbol{a}}] = \mathrm{kg} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = \mathrm{N}.$$

Eszerint az előző két méréssorozatban a gumiszálak által kifejtett átlagerő 1,8 N, illetve 2,4 N nagyságú volt.

Tapasztalatból tudjuk, hogy a jobban megnyújtott gumiszál nagyobb erőt fejt ki, mint a kevésbé megfeszített. Így az előző kísérletekben a mérés kezdetén a gumiszál erősebben húzta a kocsit, mint később. A mágneses mező is erősebb a mágnes közvetlen közelében, így nagyobb erőt fejt ki a vasgolyóra, mint attól távolabb. Az átlagerő tehát nem ad pontos képet a kölcsönhatás erősségéről. A kölcsönhatás pontosabban jellemezhető a pillanatnyi erővel, amelyet röviden csak erőnek nevezünk. *Az erő a test tömegének és gyorsulásának a szorzatával meghatározott fizikai mennyiség*. Az erő jele: $\boldsymbol{F}$.

$$\boldsymbol{F} = m \cdot \boldsymbol{a}$$

Az erő ugyancsak vektormennyiség, iránya megegyezik a gyorsulás irányával. Az erő SI-mértékegysége szintén newton (N), képlettel:

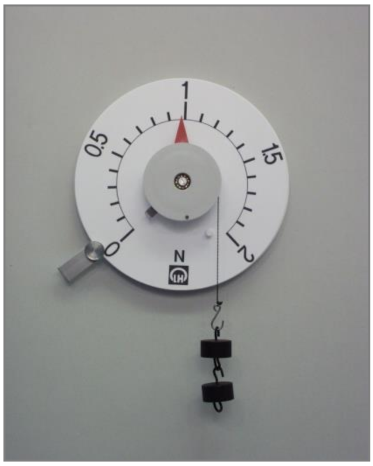
$$[\boldsymbol{F}] = [m] \cdot [\boldsymbol{a}] = \mathrm{kg} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = \mathrm{N}.$$

Az erőt meghatározó $\boldsymbol{F} = m \cdot \boldsymbol{a}$ összefüggést történeti okokból *Newton II. törvényének* nevezzük.

Az erő fogalmát a mozgásállapot-változást okozó kölcsönhatások jellemzéséhez vezettük be. Gyakran azonban nem nevezzük meg, hogy a vizsgált test milyen más testtel vagy mezővel van kölcsönhatásban. Helyette röviden azt szoktuk mondani, hogy a testre erő hat. Valójában azonban minden esetben testek, illetve mezők kölcsönhatásáról van szó.

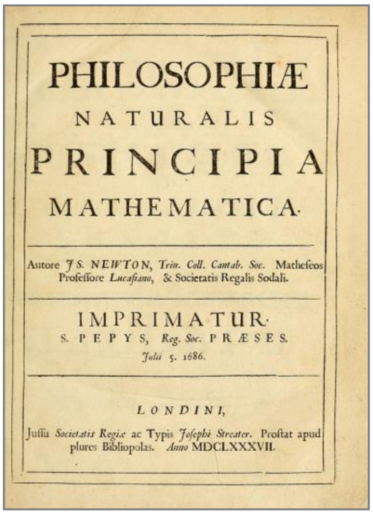
Az erő most megismert definíciója alapján kissé nehézkes az erő mérése, ezért a gyakorlatban az erő mérésére többnyire *rugós erőmérőt* használunk. A rugós erőmérő használatával kapcsolatos elvi problémákat később tárgyaljuk.





Az erővel kapcsolatban a két további elnevezéssel kell megismerkedni. *Az erő egyenesét az erő hatásvonalának nevezzük. Azt a pontot ahol az erő a testre hat, az erő támadáspontjának nevezzük.* (A hatásvonalnak és a támadáspontnak elsősorban a kiterjedt testekre ható erőknél lesz szerepe.)

Kiegészítés


PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.

Autore J S. NEWTON, *Trin. Coll. Cantab. Soc.* Matheseos Professore *Lucasiano*, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.
S. PEPYS, *Reg. Soc.* PRÆSES.
Julii 5. 1686.

LONDINI,
Jussu *Societatis Regiæ* ac Typis *Josephi Streater*. Prostat apud plures Bibliopolas. *Anno* MDCLXXXVII.

1. Newton *Principia* című könyvében nem ugyanazokat a mennyiségeket tekintette alapmennyiségnek, amelyeket ma az SI-ben alapmennyiségeknek tekintünk. Ez a fizikatörténeti oka annak, hogy az erő itt bevezetett definícióját mégis törvénynek nevezzük.

2. Newton II. törvényének eredeti megfogalmazása a Principiában: *„A mozgás megváltozása arányos a külső, mozgató erővel, és annak az egyenesnek az irányában megy végbe, amelyben ez az erő hat.”* (Heinrich László fordítása.) Newton mozgáson a tömeg és a sebesség szorzatát értette, ezt a korábbi részben pontosan definiálta is. Az erő szót sem a mai értelemben használta, az erő nála az (átlag)erő és az erőhatás időtartamának szorzatát jelenti. Mai jelöléseinkkel tehát Newton II. törvényének eredeti alakja:

$$\Delta(m \cdot \boldsymbol{v}) \sim \boldsymbol{F} \cdot \Delta t.$$

Ez az összefüggés levezethető az $\boldsymbol{F} = m \cdot \boldsymbol{a}$ összefüggésből:

$$\overline{\boldsymbol{F}} = m \cdot \overline{\boldsymbol{a}} = m \cdot \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t} = m \cdot \frac{\boldsymbol{v}_2 - \boldsymbol{v}_1}{\Delta t} = \frac{m \cdot \boldsymbol{v}_2 - m \cdot \boldsymbol{v}_1}{\Delta t} = \frac{\Delta(m \cdot \boldsymbol{v})}{\Delta t}$$

azaz

$$\overline{\boldsymbol{F}} = \frac{\Delta(m \cdot \boldsymbol{v})}{\Delta t}$$

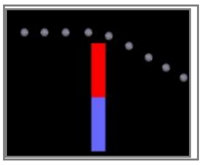
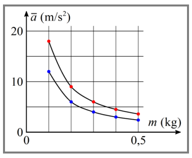
Mindkét oldalt Δt-vel beszorozva:

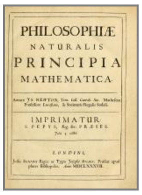
$$\overline{\boldsymbol{F}} \cdot \Delta t = \Delta(m \cdot \boldsymbol{v})$$

Ez az összefüggés gyakorlatilag megegyezik a newtoni megfogalmazással. (Az összefüggésben egyenes arányosság helyett azért van egyenlőség, mert az SI-ben éppen úgy választották meg az erő mértékegységét, hogy az arányosságból egyenlőség legyen.)

3. Az erőt Simon *Stevin* (1548–1620) holland fizikus, matematikus ábrázolta először nyíllal. Stevin nevéhez fűződik a tizedestörtekkel való számolás bevezetése is 1595-ben.

Képek jegyzéke

	**Labda a tizenegyes elrúgásakor** W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2013-09-08_Patrice_Bernier_penalty.jpg
	**Billiárdgolyók ütközése** © https://www.flickr.com/photos/31732378@N02/3028813309/sizes/o/
	**Teniszlabda leesése** © http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0008.jpg
	**Mágnes mellet elguruló vasgolyó** © http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0018.jpg
	**Kiskocsi gyorsítása gumiszállal** © http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0019.jpg
	**Átlaggyorsulás–tömeg grafikon** © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0110.svg
	**Régi rugós erőmérő** W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dinam%C3%B3metro.jpg
	**Rugós erőmérő** © http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0020.jpg

	**Rugós erőmérő kör alakú skálával** © http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0021.jpg
	**A *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* címlapja (1687)** **W** https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Prinicipia-title.png **A teljes könyv digitalizált változata** https://books.google.hu/books?id=-3RXspUecy4C

Jelmagyarázat:

© **Jogvédett anyag**, felhasználása csak a szerző (és az egyéb jogtulajdonosok) írásos engedélyével.

W A ***Wikimedia Commons***-ból származó kép, felhasználása az eredeti kép leírásának megfelelően.