

3. Az erő

- Az erő, a tömeg, a lendület fogalma.
- Newton törvényei.
- Az erők fajtái, erőtvények a fizikában.
- Hétköznapi példák ütközésekre, súrlódásra, rugalmas erőkre.

A testek tehetetlensége, tömege:

- Az egyik testnek könnyebb, a másinak nehezebb megváltoztatni a sebességét. Arról a testről, amelyiknek nehezebb megváltoztatni a sebességét, azt mondjuk, hogy tehetetlenebb, nagyobb a tehetetlensége.
- A változás csak kölcsönhatás közben jöhet létre. A testek mozgásállapota is csak közvetlen környezetük hatására változhat meg. Ezt a tapasztalatot fogalmazza meg a tehetetlenség törvénye, más néven Newton I. törvénye is:
 - Minden test nyugalomban marad vagy egyenes vonalú egyenletes mozgást végez mindaddig, míg közvetlen környezete mozgásállapotát meg nem változtatja.
- **A vonatkoztatási rendszereket két nagy csoportra oszthatjuk:**
 - Az olyan vonatkoztatási rendszereket, amelyekben teljesül a tehetetlenség törvénye, tehetetlenségi rendszernek, másként inerciarendszernek szokás nevezni.
 - Azoknak a vonatkoztatási rendszereknek, amelyekhez viszonyítva a környezet hatása nélkül is megváltozhat a testek mozgásállapota, gyorsuló vonatkoztatási rendszer a nevük
- Az inerciarendszerek egyenértékűek. Ez azt jelenti, hogy minden jelenség, függetlenül attól, hogy melyik inerciarendszerhez viszonyítva írjuk le, azonos módon játszódik le bennük. Nincs tehát egy „főinerciarendszer”, amelyhez a többi viszonyítani lehetne. Minden inerciarendszer bármely másikkal viszonyítva nyugalomban van vagy egyenes vonalú egyenletes mozgást végez. Ezt az elvet Galilei fogalmazta meg.
- Annak a testnek nagyobb a tehetetlensége, és így az azt jellemző mennyisége: a tömege is, amelyiknek pl. ütközéses vagy szétlökéses párkölcsönhatás közben kisebb a sebességváltozása.
 - Ezt figyelembe véve kísérlettel (pl. vízszintes légpárnás sínen vagy sima asztallapon szétlökött) két kiskocsi tömegét össze lehet hasonlítani. A két test párkölcsönhatása közben létrejött sebességváltozások nagysága fordítottan arányos a testek tömegével:
$$m_2 : m_1 = v_1 : v_2$$
 - A tömeg a testek tehetetlenségének mértéke.
 - Mértékegysége: kg
- Egy test tömege megmérhető:
 - egységnyi, vagy bármilyen ismert tömegű test segítségével az ún. dinamikai módszerrel
 - rugós erőmérővel
 - egyenlő karú (vagy nem egyenlő karú) mérleggel

Lendület:

- Az azonos módon mozgó, de különböző tömegű testek dinamikai és energetikai hatásának eltérő lehet a következménye, mozgásállapota.
- A testek mozgásállapotát dinamikai szempontból jellemző mennyiséget lendületnek (másként impulzusnak) hívjuk
- A test mozgása miatti állapot-változtató képességet jellemző mennyiséget pedig mozgási energiának nevezzük
- Bármely két test mechanikai kölcsönhatása közben bekövetkező sebességváltozások fordítottan arányosak a testek tömegével. A tömegük és a sebességváltozásuk szorzata tehát egyenlő:

$$m_1 \cdot v_1 = m_2 \cdot v_2$$

- Mivel a dinamikai párkölcsönhatás közben a két testet egyenlő nagyságú és időtartamú hatás éri, mozgásállapotuk és annak dinamikai jellemzője is egyenlő mértékben változott.

$$I = m \cdot v$$

- A lendület nagyságának jele: I (vagy p).
- A lendület mértékegysége: $kg \cdot \frac{m}{s}$
- A lendület vektormennyiség, nagysága $m \cdot v$, iránya megegyezik a pillanatnyi sebesség irányával, tehát a test mozgásának mindenkori irányával:

$$I^{\rightarrow} = m \cdot v^{\rightarrow}$$

- A több testből álló rendszer együttes lendületvektorát az egyes testek lendületvektorának összegeként paralelogramma-módszerrel vagy sokszögmódszerrel határozhatjuk meg.
- Ha a több testből álló rendszer elemei csak egyetlen egyenes mentén mozoghatnak, akkor együttes lendületük egyenlő az egyes testek lendületének előjeles összegével
- Az olyan anyagi rendszereket, melyeken környezetük változást nem hoz létre, mert a külső hatások elhanyagolhatók vagy kiegyenlítik egymást, zárt rendszernek tekinthetjük.
 - megmaradási tételek csak zárt rendszerekre alkalmazhatók.
 - zárt rendszert alkotó testek lendületváltozásainak (vektori) összege nulla, tehát a zárt rendszer lendülete állandó. Ez a lendületmegmaradás törvénye

Erő:

- A testeknek és mezőknek az a képessége, hogy meg tudják változtatni más testek mozgásállapotát
- A mozgásállapot-változtató hatást erőhatásnak, mennyiségi jellemzőjét pedig erőnek szokás nevezni.
 - Az erő nagyságának jele: F
 - mértékegysége: N
 - az erő vektormennyiség
- egy test pályája csak akkor lehet egyenes, ha a testet érő erők eredőjének nagysága nulla, vagy iránya megegyezik a sebesség irányával.

- Az az erőhatás nagyobb, amelyik bármely testen ugyanannyi idő alatt nagyobb lendületváltozást hoz létre, vagy ugyanakkora lendületváltozás létrehozásához rövidebb időre van szüksége.

$$F = \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

- A változatlan tömegű testet gyorsító erő nagysága egyenlő a test tömegének és gyorsulásának szorzatával.

$$F = m \cdot a$$

- Az erőhatás elsődleges következménye mindig mozgásállapot-változás.
- Ha egy test különböző részeinek eltérő az elmozdulási lehetősége, vagy a test egyes részeit érő erőhatások különbözőek, akkor ott más-más lehet a mozgásállapot-változás is. Ilyen esetben megváltozhat a test alakja. Az erőhatásnak tehát lehet alakváltozás is a következménye.
- Egy adott testet egyszerre több erőhatás is érhet. Ezek az erőhatások helyettesíthetők egyetlen olyan erőhatással, amelynek ugyanaz a következménye. Ezt a helyettesítő erőhatást jellemző erőt eredő erőnek szokás nevezni.
- A közös hatásvonalú erők eredőjének nagysága az egyes összetevő erők előjeles összege; irányát az erők összegének előjele mutatja meg; hatásvonal a közös hatásvonal.
- Az egymást metsző hatásvonalú erők eredője a paralelogramma-módszer alkalmazásával, vagy a sokszögmódszerrel határozható meg.
 - Ezt a megállapítást szokás a dinamika negyedik axiómájának, vagy az erőhatások függetlenségi elvének is nevezni.
- Ha az anyagi pontot érő erők vektori összege nulla, akkor azt mondjuk, hogy az anyagi pont és az azt érő erők egyensúlyban vannak.
 - Ilyen esetben az anyagi pont nyugalomban van (nyugalmi egyensúly), vagy egyenes vonalú egyenletes mozgást végez (mozgási egyensúly).

Newton törvényei:

- Newton (a dinamika) első törvénye (másként emlegetve: a tehetetlenség törvénye) valójában Huygensnek a változás okáról felismert és Descartes által a kölcsönhatás elvéről megfogalmazott gondolatainak a mozgásállapot-változásra alkalmazott formája: Minden test nyugalomban marad vagy egyenes vonalú egyenletes mozgást végez mindaddig, míg környezete meg nem változtatja mozgásállapotát.
- Newton (a dinamika) második törvénye a mozgásállapot-változás és az erőhatás kapcsolatát fogalmazza meg: Az erő egyenlő a lendületváltozás sebességével.
- Newton (a dinamika) harmadik törvénye, a hatás-ellenhatás törvénye, (amit szokás a kölcsönhatás törvényének is nevezni) a mechanikai kölcsönhatás mennyiségét megfogalmazását tartalmazza: Két test (anyagi pont) esetén ugyanabban a kölcsönhatásban fellépő két erő (az erő és az ellenerő) egyenlő nagyságú, közös hatásvonalú és ellentétes irányú, egyik az egyik testre, a másik a másik testre hat.

Az erők fajtái, erőtvények a fizikában:

- Az erők az erőhatást kifejtő környezet jellemzőivel megadott matematikai kifejezését erőtvénynek szokás nevezni. Az erőtvény nem magára az erőhatást kifejtő testre, hanem a kölcsönhatásban levő test tulajdonságaira, képességeire jellemző.
- Rugalmas erő:
 - A rugalmas testek alakváltoztatása, feszített állapotba hozása közben fellépő erő rugalmas erőnek nevezzük.
 - Kísérlettel megállapítható, hogy a rugalmas erő nagysága egyenesen arányos a rugalmas test méretváltozásaival, pl. hosszának megváltozásával:

$$F_r = -D \cdot \Delta l$$

$$D = \frac{F_r}{\Delta l}$$

- Ez a hányados egy rugóra nézve állandó érték, de az erősebb rugóknál nagyobb, a gyengébbeknél kisebb, így alkalmas a rugók erősségének jellemzésére.
- a rugó erősségére jellemző állandó, röviden rugóállandó, amelynek jele D, mértékegysége: $\frac{N}{m}$
- A rugalmas erő iránya ellentétes a hosszúságváltozás irányával.
- A rugalmas erő nagyságát és irányát az erőhatást kifejtő rugó adataival adtuk meg, ez az összefüggés tehát a rugalmas erő erőtvénye. Mivel az erő a méretváltozás első hatványával arányos, szokás lineáris erőtvénynek vagy (Robert Hooke angol fizikusról, aki ezt a kapcsolatot 1676-ban ismerte fel) Hooke-törvénynek is nevezni.
- Csúszási súrlódási erő:
 - A vízszintes felületen csúsztatva ellökött test lassul, és végül megáll. Ahhoz, hogy egy testet egyenletesen lehessen csúsztatni, erőhatást kell kifejteni rá. Az egyenes vonalú egyenletes mozgás dinamikai feltétele azonban az, hogy a testet érő erők eredője nulla legyen. Az egyenletesen csúszó szilárd testet tehát a mozgásával ellentétes irányú és a húzóerővel egyenlő nagyságú erőhatásnak is kell érnie. Ez az érintkező felületek egyenetlensége és a testek összenyomódása miatt fellépő erőhatás – amit a csúszási súrlódási erővel jellemezünk – a két érintkező test egymáshoz viszonyított sebességét csökkenti.
 - Kísérlet alapján felismerhető, hogy ha a két érintkező felület érdessége nem változik, akkor a csúszási súrlódási erő nagysága egyenesen arányos a felületeket merőlegesen egymáshoz szorító ún. nyomóerő nagyságával:
$$F_s = \mu \cdot F_{ny}$$
 - függ a test tömegétől, valamint a felületek érdességétől.
- Ez a csúszási súrlódási erőtvény, amely ebben a formában csak az erő nagyságát adja meg és irányát nem, ezért hiányos erőtvény, a csúszási súrlódási erő iránya könnyen felismerhető, hiszen mindig ellentétes irányú a két érintkező test egymáshoz viszonyított sebességének irányával.

- Tapadási súrlódási erő:

- A súrlódás a gyakorlatban lehet hasznos, de igen gyakran káros jelenség. A káros súrlódás csökkentéséhez általában az érintkező felületek közé kenőanyagot (olajat, zsírt, grafitot) tesznek. A kenőanyag kitölti a felületek egyenetlenségeit, és távol tartja egymástól a szilárd testeket. Így a testek mozgásuk közben a kenőanyagon csúsznak. A hasznos súrlódás növelhető pl. az érintkező felületek közé szórt homokkal.
- Az egymásra helyezett vagy más okból egymáshoz nyomódó, nyugalomban levő testek között is fellép egy erőhatás, ha azokat el akarjuk mozdítani egymáson. Ez a jelenség a tapadási súrlódás, amit a tapadási súrlódási erővel jellemezhetünk. A tapadási súrlódási erő mindig akkora, mint az az erő, amelyikkel el akarjuk mozdítani a testet, iránya pedig ellentétes annak irányával.
- a tapadási súrlódási erő csak egy nagyságig növekedhet. Az ennél nagyobb húzóerő esetében a test elindul. A tapadási súrlódási erőnek ez a legnagyobb értéke is a felületek egyenetlenségétől és a testeket egymáshoz szorító erők nagyságától függ:

$$F_{ts.max} = \mu_0 \cdot F_{ny}$$

- μ_0 az érintkező felületek érdességétől függő tapadási súrlódási együttható, amely – azonos érdesség esetében – nagyobb, mint a csúszási súrlódási együttható.

- Gördülési súrlódási erő:

- egy görgőkön levő vagy gördülő testet kisebb erővel lehet egyenletesen mozgatni, mint ugyanolyan egyenetlenségű felületen egyenletesen csúsztatni. Az ún. gördülési súrlódási erő tehát kisebb a csúszási súrlódási erőnél.

$$F_g = \mu_g \cdot F_{ny}$$

- μ_g a gördülési súrlódási együttható, ami azonos érdességnél kisebb, mint a csúszási súrlódási együttható.

- Közegellenállási erő:

- A közeg (pl. levegő, víz) olyan erőhatást fejt ki a hozzá viszonyítva mozgó testre, amely csökkenteni igyekszik a test és a közeg egymáshoz viszonyított sebességét. Ez a hatás a közegellenállás, amelyet a közegellenállási erővel jellemezhetünk.
- közegellenállási erő egyenesen arányos a test és a közeg egymáshoz viszonyított sebességének a négyzetével, a közeg sűrűségével és a test homloklapfelületének (a mozgás irányára merőleges legnagyobb keresztmetszetének) nagyságával, de függ a test alakjától is.
- c_1 közegellenállási tényező mértékegység nélküli viszonyszám, amely a négyzetes közegellenállási erőtörvény érvényességi körében csak a test alakjától függ.

$$F_{k\bar{o}} = \frac{1}{2} \cdot c_1 \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$$

- Gravitációs erő:

- Érzékeny műszerekkel, pl. Cavendish-féle torziós mérleggel kimutatható, hogy nemcsak a Földnek, hanem minden testnek van gravitációs mezője. Így bármely két test között van gravitációs vonzás, amely az ún. gravitációs erővel jellemezhető.

- a gravitációs erő nagysága egyenesen arányos a testek tömegével és fordítottan arányos a köztük levő távolság négyzetével

$$F_g = f \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

- Ez az összefüggés az ún. Newton-féle gravitációs erőtvény, vagy más néven az általános tömegvonzás törvénye.

- Nehézségi erő:

- Minden szabadon eső test $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ gyorsulással esik a Föld felé.
- Azt az általunk érzékelt hatást, amely ezt a gyorsulást létrehozza, a gravitációs vonzás és a Föld forgása alakítja ki. Ez a hatás tehát egy kicsit eltér a gravitációs erőhatástól, így jellemzőjét megkülönböztetésül nehézségi erőnek szokás nevezni.
- Ha ismerjük egy test tömegét és gyorsulását, akkor a gyorsulást okozó erőhatás nagysága Newton II. törvénye alapján kiszámítható:

$$F_n = m \cdot g$$

- A testek – a nehézségi erőhatás miatt – húzzák a felfüggesztést, vagy nyomják az alátámasztást. Azt az erőhatást, amellyel a test (csak a nehézségi erő miatt) húzza a felfüggesztést vagy nyomja a vízszintes alátámasztást, a test súlyával jellemezzük.
- Az inerciarendszerekben egyensúlyban levő test súlya $F = m \cdot g$ nagyságú, és a nehézségi erővel közös hatásvonalú, megegyező irányú, de támadáspontjuk különböző, hiszen a nehézségi erő a testre hat, a súly pedig a felfüggesztésre vagy az alátámasztásra. A nehézségi erő és a súly tehát két különböző erő.

- Kényszererő:

- Az égitestek, az elhajtott testek szabad mozgást végeznek, mert lehetséges pályájukat nem korlátozzák az őket érő erőhatások, amelyeket ezért szabad erőknek nevezünk.
- A fonálinga lengése, az asztalon guruló golyó mozgása kényszermozgás, mert az ingatestet a nyújthatatlan fonál egy meghatározott gömbfelületre, az asztal lapja a rajta guruló golyót egy előre ismert síkfelületre kényszeríti.
- A kényszerítő hatást kifejtő testet kényszernek, az általa kifejtett erőt pedig kényszererőnek (K) szokás nevezni.
- A kényszererő mindig a szabad erők által a kényszeren létrehozott igen kicsi alakváltozás miatt lép fel. a kényszererő csak a pályagörbe elhagyását vagy a kényszert kifejtő testeken való áthatolást akadályozza meg, mindig merőleges a pályagörbére vagy felületre, tehát nincs szerepe a test pályagörbén vagy felületen történő mozgásában.