

Az **1351.** feladat megoldása után tanulságos megjegyzés olvasható [KML 53 (1976) 173.], amelynek igazi tanulságai akkor aknázhatók ki valóban, ha kissé boncolgatjuk állításait. Az első mondat újszerű kijelentése az olvasót elgondolkosztatja. Így hangzik: „Az autó utasai az autó lassulásából fakadó tehetetlenségi erőt érzik.”

Az utolsó mondat: „Célszerűen kialakított kocsiszekevény a lehető legtöbb energiát képes úgy elnyelni, hogy közben a kocsi a ható lassító erő – és a lassulásból fakadó tehetetlenségi erő, amit az utasok éreznek – ne legyen veszélyes a kocsiban ülőkre.”

Kérdéseink: Kölcsönhatás jellemzője-e az erő? (Úgy tudjuk: igen.) Fakadhat-e lassulásból erő? (Ha netán a válasz igen lenne, akkor újabb kérdésünk következik:) A lassulásból fakadó erőt mi (melyik test) fejti ki? (A lassulás nem test.) Ilyen testet nem találunk. Megállapítás: az idézetben szereplő „erő” nem lehet kölcsönhatás.

További kérdéseink: érezheti-e a gépkocsiban ülő a „gyorsulást”, vagy akár a „gyorsulásból fakadó erőt”? Válaszunk: hacsak a kocsis lassulásának látványa nem kelt az utasban érzelmeket, nem. Ő csak anyaggal való kölcsönhatást képes érezni. Ilyen pl. a kocsis ablaküvegének és az utas homlokának hirtelen impulzuscseréje. Azt érzi. Kék foltok „lassulásból” nem származnak. (Az a szokásos, pontatlan fogalmazás, hogy az emberi szervezet ennyi és ennyi g gyorsulást bír ki: félrevezető. Minden ember akárhány g -t kibír. Sőt: észre sem veszi.)

Akinek ez újdonságként hat, olvassa át a következő néhány sort!

Newton törvényei a testek mechanikai kölcsönhatásának egyszerű matematikai leírását adják. A mechanika a testek mozgását tanulmányozza. A mozgás minden esetben *viszonylagos*, viszonyítási vagy ún. vonatkoztatási rendszerül meghatározott testek szolgálnak. Az események (tények) objektívek ugyan, de azok leírásai erősen függenek a vonatkoztatási rendszer megválasztásától. Nincsen (a természet által) kitüntetve egyetlen vonatkoztatási rendszer sem, bármelyikből helyesen le tudjuk írni a jelenségeket. Kitűzhetjük azonban azt a célt, hogy megkeressük, hogy mely rendszerből tekintve látszik a legegyszerűbbnek a valóság: mely rendszerben a legegyszerűbbek azok a matematikai egyenletek, amelyek leírják a testek mozgását, vagyis azok, amelyek segítségével az ún. kezdeti feltételek és a kölcsönhatások ismeretében jóslani tudunk későbbi állapotokra (eseményekre).

Ha úgy tesszük fel a kérdést, hogy vannak-e olyan vonatkoztatási rendszerek, amelyekből nézve a kölcsönhatásokat, azoknak a testeknek az „egyenletei” lesznek egyszerűek, amelyeknek a „*sorsuk egyszerű*”, és azoké bonyolult, amelyeknek sorsa (környezetükkel való kölcsönhatása miatt) bonyolult, akkor egy olyan reális kérdés (és kívánság) előtt állunk, amelyre Newton találta meg a végleges választ. A tehetetlenség törvénye valójában a végtelen sok lehetséges vonatkoztatási rendszer közül kiválaszt szintén végtelen sokat, amelyekben a „legegyszerűbb sorsú” (az ún. „magára hagyott”) testek mozgása egyenes vonalú és egyenletes. Ezeket a rendszereket *inerciarendszereknek* nevezzük. (Ilyeneket már Galilei is talált: a nyugvó földön álló megfigyelő, a tenger csendes vizén sikló hajó stb.)

Az *inerciarendszereket tehát kísérlettel lehet kiválasztani*. Egyszerű megfontolással beláthatjuk azonban, hogy ezek egymáshoz képest egyenesvonalú egyenletes translációt végeznek. (Ha tehát van egy kísérletileg kiválasztott inerciarendszer, akkor minden más, ehhez képest egyenesvonalú egyenletes mozgást végző rendszer szintén inerciarendszer.)

Az inerciarendszerben érvényes Newton II. törvénye: $\Sigma \mathbf{F} = m\mathbf{a}$, ahol $\Sigma \mathbf{F}$ a test környezetének a testre gyakorolt, relatív helyzettől, sebességtől stb. függő hatását jellemzi, m a testre jellemző állandó (tömeg) és a a testnek az inerciarendszerhez viszonyított gyorsulásvektora.

Más (inerciarendszerhez viszonyítottan gyorsuló, röviden „gyorsuló”) vonatkoztatási rendszerben $\Sigma \mathbf{F}$ és m nyilván változatlan, míg $\mathbf{a}$ megváltozik, így a $\Sigma \mathbf{F} = m\mathbf{a}$ egyenlet nem érvényes.

Sokszor előfordul azonban, hogy az egyszerű a bonyolult, hogy kényelmetlenné válik egy folyamat leírása éppen az inerciarendszerből. A megfigyelő gyakran maga is gyorsul az inerciarendszerhez képest, de magához viszonyítva kísérli meg leírni a mechanikai folyamatokat. Mint láttuk, e célra Newton törvényei nem alkalmasak. Belátható azonban, hogy egy ügyes, de teljesen formális „trükkkel” a jelenségek matematikailag Newton törvényeire hasonlító egyenletekkel írhatók le, amelyekben a tényleges kölcsönhatásokon kívül nem létező, ún. „fiktív erőket” veszünk fel. Ezek az ún. „*tehetetlenségi erők*”. E vektorok – ha a gyorsuló koordináta-rendszer tengelyei nem fordulnak el az inerciarendszer tengelyeihez képest – a test tömegének és a vonatkoztatási rendszer adott pontbeli gyorsulása mínusz egyszeresének szorzatával számíthatók:

$$\Sigma \mathbf{F}_{\text{valódi}} + \mathbf{F}_{\text{fiktív}} = m \cdot \mathbf{a}_{\text{gyorsuló r}},$$

vagyis

$$\Sigma F_{\text{valódi}} + (-m \cdot \mathbf{a}_{\text{kr}}) = m \cdot \mathbf{a}_{\text{gyorsuló r}}.$$

ahol $\mathbf{a}_{\text{gyorsuló r}}$ a testnek a gyorsuló rendszerben mért gyorsulása, $\mathbf{a}_{\text{kr}}$ pedig a vonatkoztatási rendszernek az inerciarendszerhez viszonyított gyorsulása. Az $\mathbf{F}_{\text{fiktív}} = (-m\mathbf{a}_{\text{kr}})$ „fiktív erők” valóban a „gyorsulásból fakadnak”, de nem a test gyorsulásából, hanem a vonatkoztatási rendszeréből! (A gyorsuló koordináta-rendszer általános mozgása esetén bonyolultabb a helyzet.)

Így pl., ha az országúton álló ember mellett valaki gépkocsival gyorsulva elindul, a gépkocsihoz rögzített rendszerben való leíráskor a földön álló emberre tehetetlenségi erő „hat”. Ezt nyilván nem érzi az ember.

De nem érzi az ember sem a tehetetlenségi erőt, aki a kocsiban ül. Az ember gyorsulása inerciarendszerben külső erőt igényel. Ezt szolgáltatja az ülés háttámlája, ennek nyomását érzi az ember. Ez azonban nem a gyorsulásból fakad, hanem fordítva: ebből „fakad” (ennek következménye) a gyorsulás. A „gyorsulásból fakadó” tehetetlenségi erő éppen ellentétes irányú ezzel! (Ugyanígy az ütköző gépkocsiknál az inerciarendszerhez viszonyított lassulás miatt felvett tehetetlenségi erő éppen ellentétes azzal, amit az ember ütközéskor érez!)

A *tehetetlenségi erőt tehát azért nem lehet érezni*, mert nincs. (Nem kölcsönhatással, hanem egy matematikai – gondolati – konstrukcióval kapcsolatos.)

A *gyorsulást* magát (akárcsak a sebességet) azért *nem érzi* meg az ember, mert az egy viszonyt fejez ki: hogy hozzá képest a vonatkoztatási rendszerek hogyan mozognak.

Az *erőt* (a valódi kölcsönhatásokat jellemző Newton-féle erőt) általában azért *nem érzi* az ember, mert az csak gyorsulást okoz (félreértések elkerülése végett más nem).

Mit érez az ember? Amire az idegrendszere érzékeny. A testének (idegvégződéseinek) dilatációját (hosszának, méretének változását), e változás sebességét stb. Mi okoz ilyet? Ha pl. az emberre óriási gravitációs erő hat (óriási égitest közelében), amelynek következtében pl. 10 000 *g* gyorsulás jön létre, érzi-e ezt az ember? Nem! Miért nem? Mert a homogén erőterben a test minden pontját azonos gyorsulásra készíti ez a tömegező (teljes térfogatban ható, a térfogatrészben levő tömeggel arányos erő): Így a test minden pontja azonos idő alatt azonos sebességre gyorsul, és minden pontja azonos idő alatt azonos utat tesz meg kiindulási helyzetétől. Nincs útkülönbség az egyes részek között, nincs dilatáció (deformáció), nincs mit érezni az idegvégződéseknek.

Ha azonban nem homogén térfogati erő hat, hanem igen erősen inhomogén erő, mint pl. a „felületi erők”, akkor a kölcsönhatás következtében az érintkező felület kis rétege gyorsul csak, a test többi része (molekuláris méretű távolságokon belül) kevésbé, más részéhez egyáltalán nem „ér el” az erő. Így ugyanannyi idő alatt az egyik rész nagyobb utat tesz meg, mint a másik (pl. a bőrfelület „benyomul” a test eredeti térfogatának belsejébe), és ezt érzik az idegvégződések.

A rövid hatótávolságú erők okozta gyorsuláseltérések következményét érezzük akkor, amikor úgy fogalmazzunk, hogy külső „erőhatást érzünk”.

A tehetetlenségi erő is térfogati erő, a tömeggel arányos, tehát az autó utasai azt semmiképpen nem érezhették. Ha az idézett megjegyzés kimondta volna, hogy „gyorsuló vonatkoztatási rendszerben” gondolkozunk, akkor sem a tehetetlenségi erőtlől kellene féltanünk az utasokat, hanem a karosszériával való összekoccanástól.