

A fizika alapelveinek keletkezését és kialakulását akarjuk egyes önálló és egymástól függetlennek tekintendő cikkek keretében röviden bemutatni. E téren nagyjából *Machnak: Die Mechanik in ihrer Entwicklung* című, igen becses könyvére fogunk támaszkodni, de azért módunkban lesz oly kérdésekre is kiterjeszkedni és oly szempontokat is fölvetni, melyek a nevezett műben nem foglaltatnak.

Az a kérdés, hogy miképpen alakult ki mai fizikai világnézetünk, sokszor merül föl azok lelkében, kik a természet tüneményeinek megmagyarázásával foglalkoznak és abban örömlüket lelik. Ehhez azután sok más kérdés is kapcsolódik, többek között a következő: lehetséges volna-e a természet működését még másképp is magyarázni, mint a hogy a mai nap tényleg magyarázzuk és ha igen, mi az előnye a szokásos magyarázatnak másfajta lehetséges rendszerek fölött?

A mai fizika nem egy ember munkájának eredménye – nem is lehetne az, – nem is egy koré, hanem évezredeké. Sokan építették azt a hidat, mely az ember lelke és a külső világ közötti úron átvezet. Sok hídépítő hunyt el, kinek nevét nem jegyezte föl a történet, nagy azoknak a száma, kiknek neve s munkásságuk módja ismeretes. De úgy a névtelenek, mint a név szerinti ismeretesek otthagyták munkásságuk jellemző vonásait a nagy művön. És csodálatos: ez a mű még sem riktó, az egyéniségek szertelenségei nem rínak le róla! Mintha egy hatalmas eszű építőmester irányította volna a különböző helyeken és különböző időkben dolgozó különböző természetű hídépítőket, hogy azok saját különös munkájukat az egységes tervnek alárendeljék. A fizika tudományában és annak történetében alig van föltűnő különút; az idők folyamán fölmerülő ideiglenes tévedések s szertelenségek magasabb szempontból szükségeseznek bizonyultak; olyan állványoknak tekintendők, melyek a téglahordáshoz szükségeseznek, de a melyeket az építőmester a fal elkészültével lebonthat. Honnét e csodálatos egyértelműség?

Mai nap már megszoktuk a jelenségeket bizonyos elvek szemüvegén keresztül nézni, magyarázatainkban ezeket az elveket alig bírjuk nélkülözni. Ilyen például az energia megmaradásának elve, melyet minden fizikai jelenségben első sorban meglátunk. Hogyan van az, hogy az évszázadok előtti kutatók helyesen tudtak okoskodni, helyes eredményekre jutottak, annak dacára, hogy ezeket az elveket még nem ismerték föl?

Mindezek oly kérdések, melyekre tárgyalásaink folyamán magától adódik meg a felelet. Általában a jelenségek fizikai magyarázatát csak úgy értjük meg igazán, ha azokat a lépcsőfokokat is tekintetbe vesszük, melyeken keresztül a mai álláspontra jutottunk.

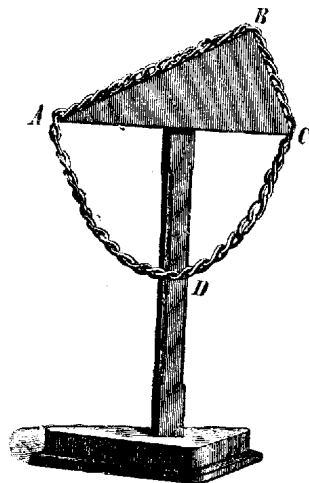
Aránylag igen egyszerű kérdéssel kezdjük, de a mely a régiebb kutatóknak mégis elegendő nehézségeket okozott. Arról lesz szó: minő föltétel mellett jön létre a lejtőn az egyensúly? A súrlódástól egyelőre teljesen eltekintünk. A súrlódás viszonyainak tárgyalása a fejlődés későbbi fokainak van fenntartva.

Lejtőt igen könnyen állíthatunk elő. Nem kell ahhoz egyéb, mint egy szilárd síklap, melyre testet helyezünk. Ha a síklap vízszintes irányú, akkor a reáhelyezett test nyugalomban marad, egyensúlyban van. Ebben az esetben senki sem kérdezi: miért nem mozog az a test, mi az egyensúly föltétele? Ilyen kérdést fölvetni nem jut eszünkbe, mert egészen *természetesnek* tartjuk, hogy a vízszintes lapon a test önmagától nem mozoghat. Honnét származik e természetes meggyőződésünk? Ha ezt a meggyőződésünket szétbontjuk elemeire, akkor azt látjuk, hogy vízszintes síkban való mozgást csak oly esetben látunk, mikor az a mozgó test vagy élőlény, vagy oly – akár élő, akár holt – testtel van kapcsolatban, melynek részei már is mozognak. Önmagától a test csak lefelé mozoghat. A jelen esetben ezt nem teheti, mert abban a síklap megakadályozza, ha elég erős. Vízszintes irányban nem mozoghat, mert ezzel nem jut lejjebb. Különbben is a symmetria érzék folytán nem tudjuk elképzelni miért mozogjon inkább az egyik, mint a másik irányban. Ha ilyesféle mozgást látnánk, akkor figyelmünket nem is annyira a testre, hanem valami külső körülményre (mágnesség, elektromosság) fordítanák, melyek azt előidézhetnék. Ennyit mondanak erről elemi mechanikai tapasztalataink.

Ha azonban a síklapot a vízszintes irányra ferdén állítjuk, akkor a reáhelyezett test megindul. Azt is tapasztaljuk, hogy mozgása annál gyorsabb, minél nagyobb a vízszintessel alkotott szög. Végre mikor a síklap egészen függőleges: a test egészen szabadon esik.

Ezekben az esetekben a mozgást csak úgy akadályozhatjuk meg, ha valami módon, például csigaáttétellel ellensúlyt alkalmazunk. Kérdés, mekkora ez az ellensúly? A függőleges síklap esetében rögtön látjuk, hogy ez az ellensúly egyenlő a mozgó test súlyával. Előre várhatjuk, hogy a ferde síklap esetében az ellensúly a test súlyánál kisebb lesz.

A kérdést *Stevin* igen eredeti módon oldotta meg. Simon Stevin, *Brügge* holland városban született 1548-ban s 1620-ban halt meg. Az egyensúly feltételeiről könyvet adott ki: *Beghinselen der Weegkonst* (Az egyensúly elvei). Ebben a műben tárgyalja a szóban forgó kérdést is. Stevin háromoldalú hasábot képzel, melynek egyik oldallapja vízszintes; a másik két oldallap két lejtő síkot állít elő. (1. ábra)



Erre a hasábra egy önmagába visszatérő kötelet helyez, melyre egyenlő és egymástól ugyanakkora távolságban álló golyókat húzott fel. Ezt a kötelet mi – a nélkül, hogy a dolog lényegén változtatnánk – egy önmagába visszatérő és egyenlő szemekből alkotott lánczal helyettesíthetjük.

Stevin most már így okoskodik tovább. A hasábra helyezett láncz vagy nyugalomban marad, vagy mozogni fog. Tegyük föl, hogy az utóbbi eset áll be. De akkor a láncznak örökké kell mozognia, mert mozgása közben a viszonyok egyáltalában nem változnak, hiszen mindig egyforma rész csüng le és mindig egyforma lánczrészek kerülnek a két lejtős oldalra. Ez a szerkezet tehát egy perpetuum mobilet – örökké mozgó gépet – állítana elő, a mi Stevin szerint lehetetlen. A láncz tehát nem fog mozogni: egyensúlyban marad. Ez esetben azonban a symmetrikus  $ADC$  lánczrészt el is vethetjük, a nélkül, hogy az egyensúlyt megzavarnók. Így tehát az  $AB$  lánczrész  $BC$  lánczrészt egyensúlyban tartja. Képzeljünk most még több, éppen ilyen lánczrészeket. Ezek ismét ellensúlyozni fogják egymást. A nélkül, hogy az egyensúly föltételein bármit változtatnánk, azt is megtehetjük, hogy az  $AB$  lánczrészeket egy tömegbe sűrítjük és a baloldali lejtőre helyezük, hasonlóképpen a lánczrészeket összesűrítve egy tömegben a jobb oldali lejtőre helyezük és a kettőt egy zsinórral összekötjük. Az egyensúly most is fönn fog állani. Legyen egy  $AB$  rész súlya  $Q$  és egy  $BC$  rész súlya  $P$ , akkor, minthogy a láncz egyenletesen készült:

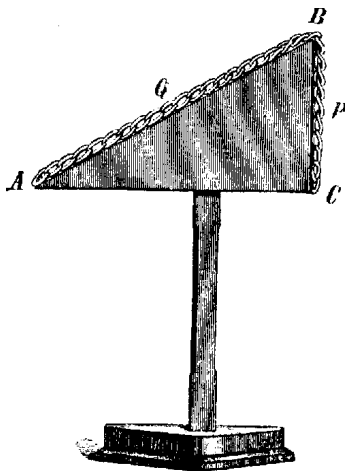
$$Q : P = AB : BC$$

Ha mindegyik oldalon  $m$  ilyen részt fogunk használni, azért egyensúly esetében még mindig

$$mQ : mP = AB : BC;$$

vagyis: egyenlő magasságú lejtőkön két súly akkor van egyensúlyban, ha azok úgy aránylanak egymáshoz, mint a lejtő oldalai.

Ebből könnyű átmenni egy lejtő esetére. E czélra oly hasábot kell képzelni, a milyent a 2. ábra mutat.

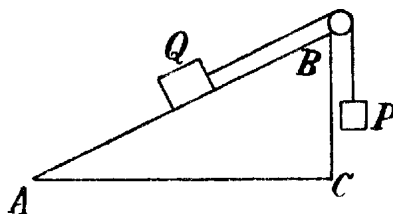


A hasáb  $AC$  oldallapja megint vízszintes, a  $BC$  pedig függőleges, a tulajdonképpeni lejtő síkot az  $AB$  állítja elő. A  $BC$  lánczrész és a vele arányos  $mP$  most az ellensúlyt adja meg. Most is áll:

$$mQ : mP = AB : BC.$$

Egyensúly esetében a teher úgy a aránylik az ellensúlyhoz, miként a lejtő hossza, a lejtő magasságához. Ha pl., miként a rajzban  $AB = 2BC$ , akkor az ellensúly a teher fele. Ha  $AB = 3 \cdot BC$ , akkor az ellensúly a teher harmadrésze, és így tovább. Ezzel a kérdés el van intézve.

Bár Stevin levezetése egyszerű, érthető s világos, úgy hogy e tekintetben semmi kívánni valót sem hagy fenn, mégis be fogjuk még mutatni Galilei levezetését. Tesszük ezt azért, hogy még jobban kitűnjék: mi az a fizikai elem, mely az ilyen levezetésekben szerepet játszik. Gondoljunk ismét egy lejtőt, miként azt a 3. ábra mutatja, legyen egyszerűség kedvéért  $BC = \frac{1}{2}AB$ .



Az  $AB$  lejtőn fekvő  $Q$  terhet egy csigaáttétel közvetítésével  $P$  ellensúly egyensúlyban tartja. Mekkora a  $P$  ellensúly? Galilei abból az elvből indul ki, hogy a súlyoknak bármilyen rendszere akkor van egyensúlyban, ha a súlyrendszer egészben véve nem süllyedhet. Ez a rendszer a jelen esetben két részből, a  $Q$ -ból és  $P$ -ből áll. Ezek elmozdulhatnak ugyan, de az egész rendszernek még sem szabad süllyednie. Világosabban így fejezhetnők ki magunkat: egyensúly esetében a rendszer súlypontjának nem szabad süllyednie. Ha tehát egy bizonyos súlyrész süllyed, akkor kell, hogy ugyanakkora súlyrész a másik oldalon ugyanakkora távolsággal emelkedjék, vagy hogy kétszer nagyobb súly kétszer kisebb távolságon át emelkedjék. Tegyük föl, hogy a  $P$ -t  $h$ -val süllyesztjük, akkor a  $Q$  a lejtő mentén  $h$ -val halad fölfelé, de a függőleges irányban az adott lejtő viszonyai mellett csak  $\frac{h}{2}$ -lel emelkedik. A  $Q$  tehát csak fél akkora utat tesz meg fölfelé, mint a  $P$  lefelé és így a  $Q$ -nak kétszer akkorának kell lennie, mint a  $P$ -nek. Egyensúly esetében tehát a  $Q = 2P$ . Egészen hasonló módon ki lehet mutatni, hogy ha a lejtő hossza  $k$ -szor akkora, mint a lejtő magassága, akkor  $Q = k \cdot P$ . A teher annyiszor nagyobb az ellensúlynál, a hányszor a lejtő hossza nagyobb a magasságnál.

Stevin és Galilei megegyeznek abban, hogy mindegyikük egy tételre hivatkozik. Ezek a tételek látszólag egészen különböző dolgokat tartalmaznak és így mindenesetre kissé föltűnőnek látszhatnak, hogy mindegyik oly könnyű szerrel vezetett ugyanarra az eredményre. A tárgyalás lényege éppen azokban a tételekben fekszik. Vizsgáljuk meg őket.

Stevin azt mondja, hogy a perpetuum mobile lehetetlen. Miért mondja ezt? Honnét meríti azt a bizonyosságot, melyet e tételnek tulajdonít? Ne felejtjük el, hogy a fizika a tapasztalat tudománya, itt tehát nincsenek oly igazságok (lehet, hogy a többi tudományokban sincsenek), melyeket már önmaguknál fogva – a priori – igazaknak kellene tartanunk. A perpetuum mobilet Stevin azért tartja lehetetlennel, mert sehol sem tapasztalt örökmozgást és mások sem tapasztaltak ilyesfélét. Ez tehát általános tapasztalat és így elég biztos talajon áll, ha fölteszi, hogy a lejtő esetében sem lesz örökmozgás. De értsük meg jól: abból, hogy más szerkezetekben nincs örökmozgás, még nem következik, hogy a lejtő esetében sem lesz. Abból, hogy a fadarabok nem vonzzák egymást, nem következik, hogy a vasdarabok sem fogják egymást vonzani. Stevin legföljebb valószínűnek tarthatja, hogy a lejtőn sem lesz örökmozgás; a tapasztalat azonban közvetve és közvetlenül is igazat ad neki. Közvetlenül, mert senki sem tapasztalta még, hogy a hasábon átvetett önmagába visszatérő láncz folytonosan mozgott volna és pedig nemcsak azért nem mozog, mert a láncz és a lejtő között súrlódás van, hanem még akkor sem mozogna, ha a súrlódás meg sem volna. Közvetve pedig azért erősíti a perpetuum mobile lehetetlenségének tételét, mert mindig módunkban áll utólag kísérleti úton megvizsgálni, vajjon a levezetett egyensúlyi föltétel megfelel-e a valónak. A tapasztalat ezt tényleg igazolja is. Minden ilyen levezetés tehát tulajdonképpen azt a tételt igazolja, melyből kiindultunk s melynek igazságában nem kételkedtünk.

A fizikai bizonyításmódokkal nagyon csínjában kell bánni. Valójában a fizikában csak egy bizonyítás van és ez az, melyet a tapasztalat s kísérlet ad. Minden más bizonyítás csak formai, mely könnyen tévútra vezet. De vajjon azért az olyan levezetéseket, a milyen Steviné, fölöslegesenek tartjuk-e? Koraántsem! Ennek a levezetésnek az a nagy bece van, hogy különböző jelenségcsoportokat összekapcsol, és így a látszólag különböző igazságok egymást kölcsönösen erősítik. A perpetuum mobile lehetetlenségének elve erősíti a lejtő törvényét és fordítva.

Egészen hasonló áll Galilei levezetésére és mindazokra a levezetésekre, melyeket még ki lehetne gondolni. Sőt ezek összekapcsolva kölcsönösen erősítik egymást.

Hogy mi valamit igaznak tartunk-e vagy sem, annak végoka mi bennünk van. Hogyan van hát az, hogy lelkünk természet megmagyarázásában azt az eljárást követi, melyet előbb vázoltunk? Mélyebb lélektani kutatás elkerülésével azt felelhetjük e kérdésre, hogy mi a jelenséget megértjük, annak fennállásában megnyugszunk, ha abban régtől fogva ismert elemeket veszünk észre. Olyanok vagyunk, mint a kis gyermek, ki megszokta apjának, anyjának és testvéreinek arcvonásait, hangját és cselekedeteit s azért mikor idegenek társaságába kerül: rosszul érzi magát s elkezd sírni. De idővel csakhamar észreveszi, hogy az idegen arczában, hangjában és cselekedeteiben ugyanazok az elemek vannak meg, melyeket már megszokott: a mikor ennek tudatára jó, megnyugszik és ismét jókedvű lesz. Épp így mi is zavarban vagyunk, ha egy ismeretlen jelenség ötlik szemünkbe, de a mint abban lassanként már rég ismert elemeket fedezünk fel, lelkünk megnyugszik, azt mondjuk, hogy megértettük a jelenségeket.

A fizika jelenségeinek magyarázatában arra kell törekednünk, hogy az összes jelenségekben bizonyos egyszerű elemi tényeket fölismerjünk, azután magyarázat közben ezekre reámutassunk. Ilyen egyszerű tények azok is, melyekből Stevin és Galilei a lejtő egyensúlyának megmagyarázásában kiindulnak és a levezetés nem egyéb, mint reámutatás arra, hogy ezek a tények itt is fölismerhetők.

Könnyű belátni továbbá, hogy Stevin és Galilei eme kiindulási tételei tulajdonképpen ugyanazok. Valójában mindegyik ugyanazt az egyszerű tényt fejezi ki más és más szavakban. Ez az egyszerű tény a mechanikába tartozó jelenségekre nézve így mondható ki legvilágosabban és legrövidebben: *a súlyos testek önmaguktól csak lefelé mozoghatnak*. Egymással összekapcsolt súlyos testek tehát csak úgy lehetnek egyensúlyban (csak akkor nem mozognak önmaguktól), ha az egész rendszer egészben véve nem süllyed. Ez éppen Galilei elve. Toricelli pontosabban úgy fogalmazta, hogy az egyensúly akkor áll be, ha a mozgatásnál a rendszer súlypontja nem süllyedhet. Az ilyen egyensúlyban lévő súlyos testrendszereket külső hatásokkal lehet mozgatni, de önmaguktól mindaddig el nem mozdulnak, míg a rendszer súlypontja a kapcsolatok miatt nem süllyedhet. De ugyancsak ezen oknál fogva Stevin láncza sem mozog önmagától, mert ezt csak úgy tehetné, ha e közben a súlypont süllyedne. Már pedig ez annál a szerkezetnél nem lehetséges, mert minden lefelé menő láncszem helyett egy másik emelkedik.

Mindezek a tények és tételek tehát bennfoglalvák abban az igen egyszerű tényben, hogy a súlyos testek csak lefelé mozoghatnak.

Nem volna nehéz ebben a munka megmaradásának elvét és a virtuális elmozdulások elvét is fölfedezni, de tartsunk sort. Erről majd más alkalommal.