

Kérdés: Nem lehetne -e örökmozgót úgy csinálni, hogy egy edénybe hajszálcsövet dugnánk, de úgy, hogy rövidebb rész álljon ki, mint amilyen magasra felszökik a víz. Így a víz kifolyna. A leeső víz egy vízikereket hajtana. Így szerintem lehetséges örökmozgót csinálni.

(Kugler Sándor Bp., Radnóti M. 12 osztályos iskola VII. o. t.)

Válasz: Az örökmozgó létét egy igen mély fizikai törvény érvénye tiltja: az energia megmaradásának minden körülmények között helyesnek talált törvénye. Pillanatig sem kételkedhetünk, hogy ebben az esetben sem lehet kivételt találni e természeti törvény alól, legfeljebb az lehet ilyenkor a fizikus kérdése: hogyan látható be erre az esetre az energiamegmaradás tétele, vagyis, hogy a látszólagos ellentmondás hogyan oldható meg a jelenség tüzetesebb vizsgálatával.

A felvetett probléma a hajszálcsővésség jelenségéből indul ki. Ez pedig a felületi feszültség és az adhézió, ill. kohézió megnyilvánulásaira vezethető vissza. Ezért ezekkel kissé bővebben kell foglalkozni.

Az anyag atomos-molekuláris szerkezetét számos tapasztalati tény bizonyítja, s az a mindennapos tapasztalat, hogy az anyagi testek elég sokáig egyben maradnak, sőt egyesek igen nagy erők hatására sem esnek szét, azt jelenti, hogy az anyagot alkotó atomok, illetőleg molekulák között igen nagy összetartó erők hatnak. Ezek az összetartó erők alapjában véve elektromos természetűek, ami minket a továbbiakban kevésbé érdekel. Lényeges azonban ezeknek az erőknek a nagyságáról és hatótávolságáról valamit tudnunk ahhoz, hogy a feltett kérdésre válaszolhassunk.

Először a molekulák közti erők egy lényeges tulajdonságára világítunk rá. Az egyes molekulák között ható erők igen nagyok, de erősen függenek a molekulák egymástól való távolságától. Ha két molekula igen közel, pl. tíz milliomméter centiméter távolságban van egymástól, az erő még nagy, de ha távolodnak egymástól, rohamosan csökken, sőt, ha eléri a milliomméter centiméternyi távolságot, már gyakorlatilag megszűnik: elhanyagolhatóan kicsivé válik. Így pl. két, egymástól ezredmilliméter távolságban lévő molekula nem vonzza egymást (hacsak külön elektromos töltésük nincs). Azt a molekula körüli gömböt, amelyen belül még érvényesül a kölcsönhatás, *hatásgömbnek* nevezzük. (Ennek a sugara körülbelül egy milliomméter centiméter.) Az *azonos* anyag molekulái között fellépő erőket *kohéziós* erőknek, a *különböző* anyagok érintkezési felületén fellépő vonzóerőket *adhéziós* erőknek nevezzük. Ezek az erők határozzák meg a kapilláris jelenségeket is.

A folyadékok – mivel könnyen deformálhatók – igen érdekesen viselkednek a felületük közelében. A szabad felület igen kicsiny – a hatásgömb átmérőjénél kisebb – környezetében az ott levő molekulákra a folyadék belseje felé irányuló, zérustól különböző eredő vonzóerő hat, mivel az ottani molekulák hatásgömbje nincsen teljesen kitöltve vonzó molekulákkal. Ez az aszimmetria a folyadékfelület és a folyadék belseje között a felületet összehúzó, azt kisebbiteni, tömöríteni akaró erőben nyilvánul meg. Ebből a hatásból származik a folyadékfelszínnek az a tulajdonsága, hogy minimális felszíni alakzatot igyekszik felvenni, és munkát kell végeznie minden olyan esetben, ha a felületet nagyobbítani; pl. széthúzni akarjuk. Ha a folyadék valamilyen merev (szilárd) felülettel érintkezik, a fellépő adhéziós erő befolyásolja a folyadékfelület kialakulását.

Vizsgáljuk meg a felület energiaviszonyait.

Ha a folyadék egyik részét el akarjuk választani a másik részétől, munkát kell végeznünk. Ezt a munkát az elszakadás helyén végezzük a kohéziós erőkkel szemben, és ez addig tart, amíg a két felület hatásgömb-átmérőnyi távolságnál nagyobb mértékben el nem távolodik egymástól. Ha viszont két azonos anyagú folyadék egymáshoz közel kerül, a kohéziós erők végeznek munkát: összerántják a folyadékrészeket, miközben a *szabad felület kisebb lesz*. Hasonló a helyzet az idegen anyagok között, az adhéziós erő munkájával kapcsolatban.

A kohéziós és adhéziós erők munkavégzése az említett erők „terének” helyzeti (potenciális) energiája rovására történik, míg ha mi választjuk szét a folyadék két részét, a felület növelésére mi végzünk munkát, s eközben a *folyadékfelület energiája megnő*. Látjuk, hogy a folyadék nagyobb energiaszintű állapota a *nagyobb szabad felülethez tartozik*, és a kisebb felület kisebb potenciális energiájú állapotot jelent.

Ha a felületet semmi sem gátolja, mint minden rendszer, igyekszik a legalacsonyabb potenciális energiájú állapotba, tehát a legkisebb szabad felülettel rendelkező állapotba kerülni. (Ezért húzódik össze nehézségi erő-mentes térben a folyadékcepp gömb alakra.)

Ha most egy folyadékceppet egy szilárd síkfelülettel hozunk érintkezésbe, az „adhéziós potenciál” csökkentésére irányuló adhéziós erők a *közös felületet növelni* akarják (csökkenteni a szabad felszínt). A szilárd test és folyadék közti közös felület növelése azáltal történik, hogy a folyadék szétterül a síkon. Ez viszont a folyadék levegővel érintkező felületének növekedésével jár, ami – mint mondtuk – a szabad felszín energianövekedését vonja maga után. Itt tehát két ellentétes törekvésnek az energiaminimummal járó egyensúlyi állapota fog végül beállni. Tökéletes nedvesítés esetén (pl. víz és tiszta üveglap) a folyadék nem alkot cseppet, hanem teljesen szétterül a szilárd lemezen, mert a közös határfelület növekedése több energiacsökkenéssel jár, mint a szabad felülettel járó energianövekedés. Ha viszont nemnedvesítő csepp kerül a szilárd síkra (amikor is a kohéziós erőnek a szilárd felületre merőleges komponense nagyobb, mint az adhéziós erő), a nehézségi erő miatt belapult gömb alakot vesz fel, miközben ugyan, növekszik a szilárd felület szabad felszíne, de az ennek növelésével végzett munka kisebb, mint a folyadékrész felületcsökkenésével járó energiacsökkenés.

Nézzük most a kérdésben szereplő kapilláris jelenséget. Ha vízbe üveglapot mártunk, arra a teljes nedvesítés miatt fölűszik a víz. Ez addig menne, amíg teljesen el nem oszolna és be nem fedné az üveg szabad felületét, ha a folyadék levegővel érintkező felületén fellépő felületi feszültség nem húzná maga után a folyadék többi részét, és így annak súlya vissza nem húzná a felfelé törekvő folyadékot. Egyensúly esetén a felületi energiának csökkenése és a folyadék

súlyából és emelkedéséből származó helyzeti energia növekedése folytán megváltozott összenergia minimuma áll be. Ha kapilláris vastagságú csövet helyezünk a folyadékba, azzal a szilárd anyag és folyadék közös felületének igen nagymértékű növekedését tesszük lehetővé viszonylag kis súlyból származó helyzeti energia-növekedés mellett, így ebben igen magasra szalad fel a nedvesítő folyadék. Nézzük meg, hogy mi történik abban az esetben, ha az egyensúlyhoz tartozó magasságnál jóval alacsonyabb csövet helyezünk a folyadékba?

A folyadék felkúszik a cső felső nyílásáig, majd elkezd azon keresztül kitüremkedni. Ekkor részben a keletkező csepp növekvő szabad felületén lép fel a homorú oldal felé irányuló nyomás, amely gátolja a csepp növekedését (a víz továbbáramlását), részben – tökéletes nedvesítés esetén – a csepp „kifordul”, és a cső külső falát kezdi körülfolyni, hiszen a közös felület növelése (az adhéziós erők által végzett munka, és így az összenergia csökkentése) még nem fejeződött be! Mindaddig folyni fog a cső külső falán a víz lefelé, amíg azt teljesen be nem borítja. Miután ez megtörtént, a víz mozgási energiája a súrlódás következtében rövidesen hővé alakul. Mivel a folyadék és üveg közös felülete maximálisan megnövekedett, a lehetséges felületi energiacsökkenés végbement, s a minimális helyzeti energiájú állapot beállt. Így az erők egyensúlyba jutottak, és megszűnt minden ok, amely a további áramlást fenntartaná, tehát a „perpetuum mobile” sem mozog tovább.

Holics László