

A PÖRGETTYŰ HISTÓRIÁJÁHOZ – 1. RÉSZ

Laczik Bálint

BME Gyártástudomány és -technológia Tanszék

Az égisz erő fa tetején, kakassarkon, kacsalábon forgó palota a magyar népmesék ősi sámánhitből átszarmazott, más népek meséiben ismeretlen motívuma. A gyors, forgó mozgást a kettőzött mássalhangzókkal sugalló, ma is értett rokka, motolla, forgattyú szavaink mellől azonban teljességgel eltűnt a *fergettű* kifejezés. Az elfelejtett magyar szavak gyűjteményének¹ meghatározása szerint a fergettű elsődleges jelentése: fából készült csigaforma, hegyes végű játékszer, amely megperdítve a földön sebesen mozog; a szó jobban értett mai alakjában: pörgettű.

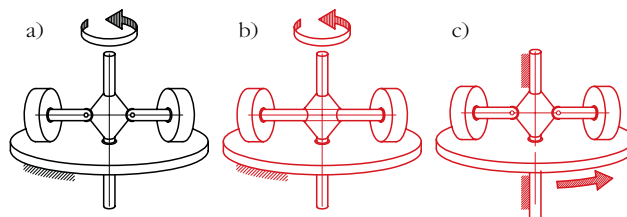
Jókai Mór grandiózus életművében két helyen is előfordul az így nevezett, fergetegesen forgó készség. A nagy mesélő *Bálványos vár* című regényében élvezetes részletességgel írja le a bizarr szerkezet taposómalmában sanyargatott emberek működtette, legyőzhetetlen, forgó erődítményt, a Fergettűvárat. Jókai vélhetőleg erdélyi utazásai során ismerte meg a vár legendáját. Néhány évtizeddel később *Orbán Balázs A Székelyföld leírása* című könyvében² az egykor talán valóban létezett, éppenséggel akár forogni is képes volt fatorony emlékére a környékbéli szájhagyományra hivatkozva örökítette meg.

Jókai *Fráter György* című regényében sajátosan groteszk formában, a bizonytalan helyzetek döntést segítő eszközeként jelenik meg a fergettű. A Budát 1541-ben sikertelenül ostromló *Roggendorf* tábornok málházában egy igen különleges tárgyat zsákmánynak a győztesek:

„A német fővezér sátorában a többi hadizsákmány között megtalálták azt a *szerecskereket* is, melyet az akkori hadvezérek használtak a hadviselésük alkalmával. Ez ugyanis egy forgatható kerék volt, melynek talpaira és küllőire különféle signumok, mondások és számok valának feljegyezve. A fergettű által megindított kerék megállapodása s annak az egy helyben álló figurák és mondások konstellációja szerint azután világosan ki lehetett találni a hadvezéreknek, hogy mi módon intézzék az ütközet rendjét. Ami igen szép tudomány volt. Az elfogott németek bizonyosága szerint kitudódott, hogy a bécsi csillagvizsgálók bölcs praktikája ezen szerecskerék segítségével kifundálta, miszerint Roggendorfnak a „rozsomák” havában és



Laczik Bálint okleveles gépészmérnök, okleveles matematikus szakmérnök, 1982 óta a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gyártástudomány és -technológia Tanszéke oktatója.



1. ábra. Koller-jarat (görgős malom) a) helyes és b), c) helytelen kivitelei.

a „Mars” órájában kell ostromot intézni Buda vára ellen, s akkor minden bizonnyal győzedelmeskedni fog. – De bizonyára az egyszer nagyon csalatkoztak a csillagvizsgálók. János király aztán hazaküldte Bécsbe Ferdinánd királyhoz azt az elzsákmányolt horoszkópot, azzal az izenettel, hogy csak használja azt a király bölcsen ezután is, s annak a megkérdezésével csinálják jövőben is a hadvezérei a csataterveiket.”

Az ék, a csavar, a kötélcsiga, a fogaskerék a műszaki civilizáció korai, meghatározó fontosságú eszközei. Alakjuk egyszerű, működési elvük fizikai háttere könnyen érthető. Jókainál a fergettű csupán az eszköz forgására utal, a leírt tárgyak „pörgettűs” viselkedéséről nincs szó.

Egy tömeg forgása során fellépő sajátosan paradox, a józan szemléletnek éppenséggel ellentmondó jelenségek szerteágazó mechanikai problémákhoz vezetnek. A magyar nyelvterületen általánosan használt nevén ismert kollerjartat (görgős malom, *1.a ábra*) jellegzetes alakja sok évszázada ismert. A szerkezetben a tárcsák a függőleges tengely bármely forgásirányára esetén a saját súlyuknál nagyobb erővel nyomják a vízszintes támasztó síkot és a síkon lévő örlémenyt.

A működési elv lényegének meg nem értését mi sem bizonyítja jobban, mint a helyenként szakkönyvekben is látható, elvileg hibás konstrukciók. A keringő tárcsák súlyánál nagyobb nyomóerő csupán a tárcsák tengelyének és a függőleges hajtótengely csuklós kapcsolata esetén érvényesül, az *1.b ábra* szerinti elrendezésnél a tárcsák merev tengelyét fölösleges hajlítónyomaték terheli. Az *1.c ábra* konstrukciójában pedig csupán a keringő mozgást nem végző tárcsák súlya segít az örlésben.

Az ausztrál bennszülöttek fegyverként használt bumerángján kívül a pörgettű hatásmechanizmusát sokáig csupán a nyíl, majd később a tűzfegyverlövedékek³ forgásstabilizálására hasznosították. A pör-

¹ Régi magyar szavak magyarázó adatbázisa, Tinta Könyvkiadó, 2012.

² Háromszék, XXVII. A két Borosnyó és Egerpatak környéke (Pest, 1868)

³ Európában a löport a 14. századtól kezdve alkalmazták. A lövedéket forgásba hozó, huzagolt fegyvercsövek első, ismert példányai a 16. században készültek.

gettyű jellegzetes precessziós és nutációs mozgásait a gyermekjátékok valósították meg.

Az ősi civilizációk csontból, fából faragott eszközeitől a csúcstechnológiával készült, a gravitációt legyőzni látszó levitronig a valódi, forgással stabilizált játékok megannyi változata ismeretes. A legkorábbi, Babilonból származó leletek körülbelül 5000 évesek. Az ókori egyiptomi és a görög gyerekek játékszerei mellett a British Museum a távol-keleti és óceániai pörgettyűk sok példányát őrzi. A legtöbb játékpörgettyű forgástest alakú, azonban a legnagyobb zsidó ünnep, a Hanuka máig kedvelt szórakozása a – dobókockát helyettesítő – pörgettyűvel játszott trenderli négyoldalú.

A nálunk is jól ismert jójó, diaboló, frizbi, peonza mellett komoly, klasszikus olimpiai sporteszköz a diszkosz. A cirkuszi akrobata- és zsonglőrmutatványok többségénél szintén felfedezhetők a pörgettyű fizikai hatáselemei.

Az idősebb *Pieter Bruegel* (1525–1569) festményein a korabeli szokásokat, viseleteket, használati eszközöket is megcsodálhatjuk. Az interneten könnyen megtalálható és remekül nagyítható műveken jól kivehetők az érdekes, apró részletek. A *Gyermekjátékok* című festményen⁴ a forgással stabilizált tárgyak több fajtája szerepel (2. ábra). Az alsó részen megfestett alakok pálcával karikákat mozgatnak, tőlük balra pedig éppenséggel egy hatalmas pörgettyűvel szórakoznak, a festmény bal oldalán a trenderlit⁵ is felfedezhetjük. A középső épület oszlopníválásában a játékát ostorral hajtó, szerzetesforma alak, a szomszédos boltív alatt pedig egy, a csúcsán pörgő csiga látható.

A flamand mester nyomasztó hangulatú, allegorikus festménye *A Karnevál és a Böjt barca*. A lakomázók, szerencsejátékosok, zenészek, nyomorék koldusok, disputáló tudósok, vezeklő ájtatosok és megannyi más, furcsa alak gomolygó sokaságában, a középső kút fölött feltűnnek a pörgetett csigákkal szórakozó figurák (3. ábra).

Bruegel téli képeinek állandó eleme a befagyott tó; szinte valamennyi jégtükrön pörgettyűző figurákat is felfedezhetünk.



2. ábra. Idősebb Pieter Bruegel: *Gyermekjátékok*. Az alsó részleteken: ostorral hajtott és csúcsán pörgő csiga, trenderlit tartó nő, hatalmas pörgettyű és pálcával terelt karikák.

3. ábra. Idősebb Pieter Bruegel: *A Karnevál és a Böjt barca*.



⁴ A címmel ellentétben a képen egyetlen gyermek sincs.

⁵ <https://de.wikipedia.org/wiki/Dreidel> – a Wikipédia trenderlit ismertető német (Dreidel) és héber oldala alapján (műsz. szerk.).



4. ábra. Pörgettyűvel játszó fiú, Jean-Baptiste Chardin festménye.

Jean-Baptiste Chardin (1699–1779) önfeledten szórakozó, kártyaváratokat építő, szappanbuborékot fúvó gyermekeket ábrázoló zsánerképei között különösen hangulatos a pörgettyűvel játszó fiú portréja. A festményen a jól fésült, parókás ifjú – talán éppen nehezen érthető, unalmas tankönyvét, papírját, kalamárisát félretolva – elmélyülten gyönyörködik a tanulóasztalon látható igazi fizikában, a hajbókoló pörgettyű táncában, lásd 4. ábra. (A kép akár a kísérletekre alapozott fizikaoktatás emblémája is lehetne.)

A klasszikus fizika meghatározó alapvetései a newtoni axiómák. Az első, latin nyelvű⁶ kiadás, majd a szerző halála után egy évvel megjelent angol fordítás⁷ mellett magyar nyelven⁸ is olvasható az I. axióma. A napjainkra kanonizálódott törvény szövegének teljes (különösen a pörgettyűre utaló) szövege azonban meglehetősen furcsa, teljes alakjában aligha vált volna világképünk sziklaszilárdságú sarokigazságává:

„Minden test megmarad nyugalmi állapotában vagy egyenletes és egyenes vonalú mozgásában, hacsak külső erő nem kényszeríti ennek az állapotnak az elhagyására.

⁶ <http://www.gutenberg.org/ebooks/28233>

⁷ <https://archive.org/stream/mathematicalpri00mottgoog#page/n62/mode/2up>

⁸ <http://tankonyvtar.ttk.bme.hu/pdf/157.pdf>

⁹ <http://onlinebooks.library.upenn.edu/webbin/serial?id=gentlemans>

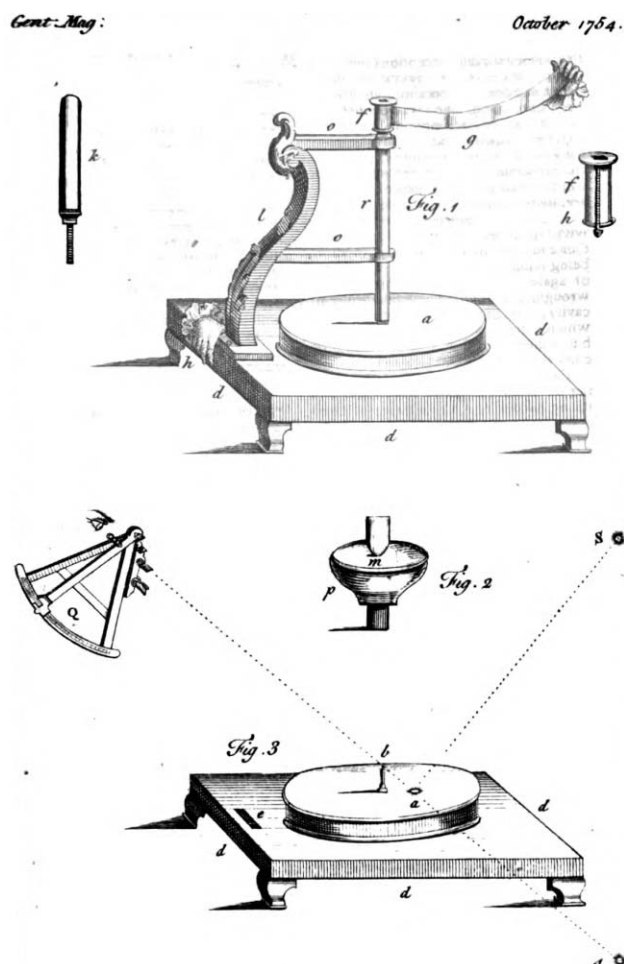
¹⁰ A tömegközéppont ilyen esetben a pörgettyű fix pontja alatt van.

A lövedék mindaddig folytatja mozgását, míg a levegő ellenállása nem lassítja, és a gravitációs erő nem vonzza lefelé. A pörgettyű, amelynek részeit a kohézió állandóan igyekszik eltéríteni az egyenes vonalú mozgástól, mindaddig forog, míg a levegő nem lassítja le mozgását (kiemelés tőlem, LB). A bolygók és az üstökösök a közegellenállástól mentes térben sokkal hosszabb ideig tartják meg haladó és körpályán végbemenő mozgásukat.”

A művelt úriemberek *Gentleman's Magazine* című lapja⁹ 1731-től 1907-ig, havonta jelent meg. Az 1754. októberi szám névtelen szerzője egy nagyszerű eszközt mutatott be (5. ábra). A feltaláló, John Serson, „...on ingenious mechanic, but an illiterate man”, azaz kiváló mechanikus, ám – durvább kifejezéssel bizony – írástudatlan személy volt. „Whirling speculum” (forgó tükör) készüléke azonban a tengeri navigáció egy fontos gyakorlati problémáját oldotta meg.

Évszázadokig a kapitány a hajó helyzetének szélességi koordinátáját a delelő Nap és a látóhatár közötti szög alapján határozta meg. Felhős időben a Nap vagy a horizont (esetleg mindkettő) gyakran nem látszik. Serson mozgásba hozott – mai szóhasználatnál súlyos – pörgettyűjének¹⁰ felső, sík tükörfelülete jó közelítéssel megjelenítette a látóhatár vonalát.

5. ábra. Serson „Whirling speculum” készüléke.



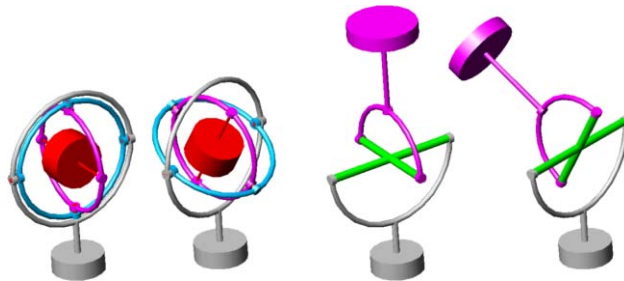


6. ábra. A kardánkeret Villard de Honnecourt rajzán.

Az 5. ábrán a forgó tárcsa fölé állított, stilizált „A” alakú indító készülék r függőleges tengelyét az f orsóra feltekert g szalag lerántása gyors forgásba hozta. A tengely alsó vége a pörgettyű homlokfelületére támaszkodva felgyorsította a tárcsát. A pörgettyűtest tengelye egy gömbszüveg alakú csészében támaszkodott. A gyorsító szerkezetet eltávolítva a felpörgetett tárcsa vízszintes tükörfelülete a horizontsík egy kicsiny elemét hozta létre.

A navigáció klasszikus alapeszközeként századokon át használt sextáns alkalmasan elforgatott tükrei a Nap és a horizont képét fedésbe hozzák, a hajó szélességi helyzetét a tükrösíkok közötti szög határozza meg. A láthatatlan horizont helyett a sextáns tükrei a Nap valóságos, és a Napnak a pörgettyű vízszintes tükörfelületén látszó képét állították fedésbe. Az egyszerű „műhorizont” használatánál a Nap magasságát a sextáns tükrösíkjai közötti szögfelező jelölte ki.

Serson kezdetleges eszközét George Graham (1673–1751) óras és csillagászati műszerkészítő mester tökéletesítette. Az eredeti szerkezet 1,5-2 percig volt használható, a javított változatban a súrlódás okozta energia-veszteséget kézi pumpa levegőfúvatásával pótolták. A brit admirális tengeri vizsgálatai szerint a pörgettyűs tükrök alkalmazásával a szélességi helyzet meghatározásának hibája 3-4 szögpercre adódott. (Egy szögperc egy tengeri mérföldnek, 1852 méternek felel meg.)



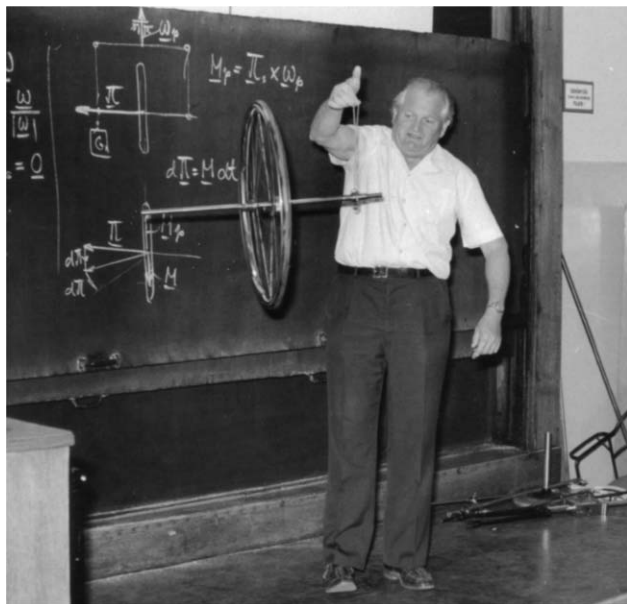
7. ábra. Azonos szöghelyzetekben ábrázolt kardánkeretes pörgettyű és kardánkereszt mechanizmusok.

Nagy kár, hogy a derék feltaláló éppenséggel hajószerecséltenségben, a Victory csatahajó elsüllyedtével, 1744. október 4-én életét veszítette. (Őfelsége flottájának máig az egyik leghíresebb katasztrófáját egyébként nem navigációs, hanem a hajó konstrukciós hibái okozták.)

A pörgettyűs eszközök jellegzetes eleme az úgynevezett kardánkeret. A forgó tárcsa tengelyének három szabadságfokú, szabad mozgását biztosító szerkezetet azonban – megannyi más, klasszikus találmányhoz hasonlóan – nem a mechanizmust nevesítő tudós, *Girolamo Cardano* (1501–1576) fedezte fel. A középkor műszaki ismereteit csodálatos rajzokkal megörökítő, egy ideig Magyarországon is tevékenykedett építész, *Villard de Honnecourt* (cca. 1200–1270) vázlatkönyve szerint Cardano leírása előtt, századokkal korábban már ismert volt a csuklós gyűrűkből álló rendszer (6. ábra).

8. ábra. Bohnenberger giroszkópja (Tübingeni Állami Múzeum).





9. ábra. Ludvig Gyöző (1924–1992) dinamika-előadása a Budapesti Műszaki Egyetemen, 1983. május 12-én.

A kardánkeret a középkortól kezdve a mágneses hajóiránytűk, később a hosszúsági navigáció alapeszközéül szolgáló kronométerek vízszintes helyzetét egyszerűen és megbízható módon biztosította. (A kardánkeret és a nem párhuzamos tengelyek közötti forgó mozgás átvitelére használt kardánkereszt¹¹ mechanizmusok alaki rokonságát a 7. ábrásor illusztrálja.)

¹¹ A kardáncsklók neve angol nyelvterületen – a feltalálás dicsőségét meglehetősen nemzeti önkénnyel kisajátítva – Hooke joint.

¹² Az élenjáró elméleti tudomány eredményei és a kortárs alkalmazások közötti szakadékot jól jellemzi például Euler optimális fogaskerékprofilról 1753-ban írott tanulmánya (De aptissima figura rotarum dentibus tribuenda, megjelent: *Novi Commentarii academiae scientiarum Petropolitanae* 5, 1760, pp. 299–316). A körevolvens hibátlanul levezetett elméletéből egy évszázadon át a gépészmérnöki szakma semmit sem ismert. A modern fogaskerék-elmélet kidolgozását – az evolvens profil felfedezésével – a 19. század derekán Robert Willis kezdte el. Euler művét Karl Kutzbach csupán 1939-ben tette közismertté.

A 18. század az elméleti mechanika hatalmas fejlődését hozta. A korszak szellemi gigászainak zseniális elméletei és matematikai apparátusai azonban meglehetősen kevés közvetlen, gyakorlati hatást fejtek ki¹².

A Newton törvényeiből levezetett alapfogalmak, az impulzus, a perdület és a tehetetlenségi jellemzők túlnyomórészt Leonhard Euler (1707–1783) grandiózus munkásságának köszönhetők. A pörgettyű mozgását leíró Euler-egyenletek 1755-re nyerték el ma is használt alakjukat. Az egyenletek speciális kezdeti feltételekhez tartozó megoldásai a pörgettyű sajátos viselkedéseit, például a precessziós és nutációs mozgásokat szabatosan írták le. A megoldásfüggvényekhez azonban nem sikerült a mozgások valódi, szemléletes jellemzőit jól illusztráló eszközöket találni.

Johann Gottlieb Friedrich Bohnenberger (1765–1831) a Föld precessziójának bemutatására egy kardánkeretbe foglalt, forgó gömböt használt (8. ábra). A mai terminológia szerint erőmentes pörgettyű tengelyének stabil helyzetét ismertető publikációk azonban visszhangtalanok maradtak.

A pörgettyű olyan forgó test, amelynek egy pontja a mozgás során helyben marad. Külső hatásra a forgó test perdületvektorának hossza nem, a vektor iránya azonban megváltozhat. A súlypontján kívül függesztett, súlyos pörgettyű precessziós mozgásának bemutatása (9. ábra) egyike a közismert pörgettyűs kísérleteknek.

Irodalom

1. Kós K.: *Ősi váz és utópisztikus tartalom a magyar népmesében*. <http://www.muvelodes.ro/index.php/Cikk?id=1285>
2. J. Broelmann: *Intuition und Wissenschaft in der Kreiseltechnik 1750 bis 1930*. Deutsches Museum, 2002.
3. J. Perry: *A pörgettyű*. (ford. Beke Manó) Fővárosi Könyv- és Lapkiadó Rt., Budapest, 1919.
4. Bárány N., Mityán L.: *Optimechanikai műszerek*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1961.
5. F. Schmelz, V. Seherr-Thoss, E. Auctor: *Universal Joints and Driveshafts*. Springer-Verlag, 1991.
6. K. Magnus: *Kreisel, Theorie und Anwendungen*. Springer-Verlag, 1971.
7. Mutnyánszky Á.: *Kinematika és kinetika*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1965.

SZÁMÍTUNK RÁD, LÉGY



A FIZIKA BARÁTJA!

**Támogasd jövedelemadód 1%-ával
az Eötvös Loránd Fizikai Társulatot!**

Adószámunk: 19815644-2-41