

Ifj. Zátonyi Sándor:

A Foucault-inga működésének bemutatása¹

Léon Foucault születésének (1819. szeptember 18.)

200. évfordulójához kapcsolódva Debrecenben, a 2019. évi fizikatanári ankét eszközkiállításán olyan eszközöket és kísérleteket mutattam be, amelyek a Föld forgásához kapcsolódnak. Ezek egyrészt segítenek Foucault híres ingakísérletének megértésében, másrészt szemléltetik, hogy az égbolt mozgása valójában a Föld forgásából adódik. A kiállított eszközök egyszerűen, kis költséggel elkészíthetők. A kísérletek egy része tanulókérdésnek is alkalmas. Mivel az évfordulóig még négy hónap van hátra, érdemes ezeket az eszközöket az iskolákban elkészíteni, és az évforduló napján a velük elvégezhető kísérleteket bemutatni.



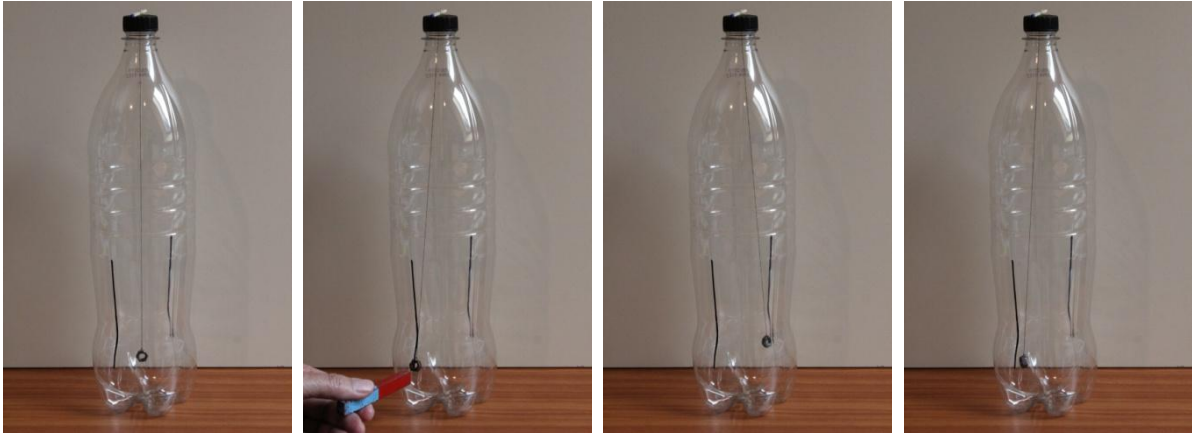
A *Foucault-inga* egy vékony és hosszú fonálon függő, nagy tömegű nehezéssel rendelkező inga, amelynek felfüggesztése lehetővé teszi, hogy az inga bármely függőleges síkban rendkívül kis csillapítással lengjen. A kísérlet lényege, hogy a forgó Föld elfordul a mindig ugyanabban a síkban lengő inga alatt². A megfigyelő azonban az inga mozgását önkéntelenül is a Földhöz, illetve az ingának helyet adó épülethez viszonyítja, így azt látja, hogy az inga lengési síkja elfordul a Földhöz, illetve az épülethez képest.

1. Foucault-inga modell PET palackból

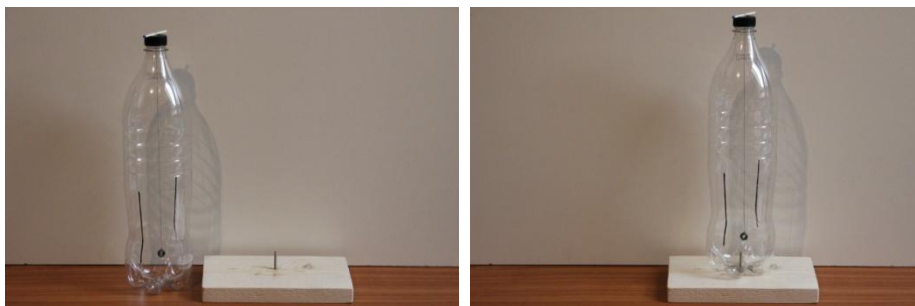
A Foucault-inga működését bemutató legegyszerűbb eszköz egy PET palackban elhelyezett fonálinga. Az inga felfüggesztéséhez 1 mm-es fúróval (esetleg lángban felizzított tűvel) fúrjuk át a kupakot! Az ingatest egy vasból készült csavaranya, melyet vékony cérnával függeszthetünk fel. (A furaton áthúzott cérnát kössük a palackon kívül egy szál gyufához!) Célszerű 1,75 literes Coca Cola palackot használni, azon ugyanis függőleges bemélyedések találhatók. Két szemközti bemélyedésen húzzuk végig egy alkoholos filctoll hegyét, így egyszerűen kijelölhetjük az inga kezdeti lengési síkját.

A függőleges helyzetből egy mágnessel térítsük ki az ingát úgy, hogy a nehezék az egyik megjelölt vonalhoz (bemélyedéshez) kerüljön! A mágnest lefelé mozgatva indítsuk el az ingát, amely ekkor a vonalakkal megjelölt síkban leng! Ha ezután a palackot a

szimmetriatengelye körül óvatosan elforgatjuk, akkor megfigyelhetjük, hogy az inga lengési síkja nem követi a palack forgását, hanem továbbra is az eredeti lengési síkban mozog. Ha a palackot az Északi- vagy a Déli-sarkon álló épületnek képzeljük, akkor belátható, hogy az épületben álló megfigyelő azt látja, hogy az inga fordult el az épülethez (és a Földhöz) képest.



Pontosabban történhet a palack forgatása, ha a palack alját közepén kifúrjuk, egy vízszintes deszkalapba (bútorlapba, OSB lapba) pedig egy olyan függőleges helyzetű csavart rögzítünk, amelynek átmérője ugyanakkora, mint a palackba fúrt lyuk átmérője. A csavarra húzott palack így pontosan a szimmetriatengelye körül forgatható. Ennek az eszköznek az elkészítése otthoni kísérletként is feladható, és tanulókísérletnek is alkalmas.

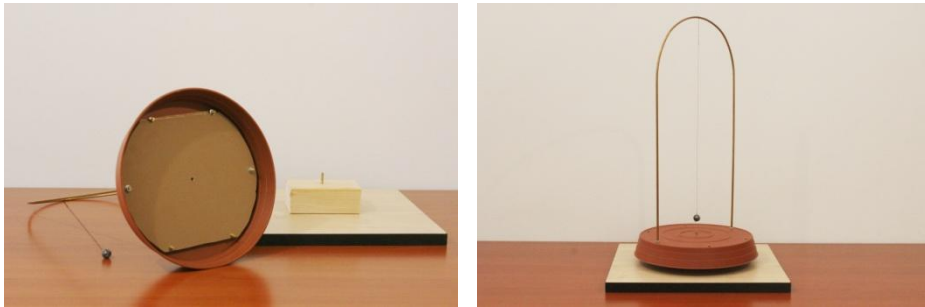


2. Foucault-inga modell cserépalátéből

Ennek az eszköznek a fő alkotóeleme egy 25–30 cm átmérőjű, műanyagból készült virágcserep-alátét. Ezt „béleljük ki” egy laminált padlólapból kivágott merevítő lappal, melyet néhány csavarral rögzíthetünk a cserépalátéthez. Fúrjuk át a cserépalátétet egy 4 mm átmérőjű fúróval pontosan közepén, a merevítőlappal együtt! Az egyik átmérő két végpontjának közelében, a középponttól egyenlő távolságra fúrjunk két ugyanekkora lyukat!

Egy 4 mm átmérőjű, kb. 1 m hosszú fémrúd két végére vágjunk menetet (kb. 15 mm hosszban)! Hajlítsuk meg ezt a rudat U alakúra úgy, hogy a menetes végeinek távolsága ugyanakkora legyen, mint a cserépalátét szélébe fúrt két lyuk távolsága! Két-két csavar és két-

két alátét segítségével rögzítsük az U alakra hajlított fémrudat a cserépalátéhoz! Az így kialakított ingatartóra cérnával rögzítsünk egy néhány gramm tömegű ólomgolyót (horgászólmot)!



Egy vízszintes deszkalap (bútorlap, OSB lap) közepére facsavarokkal rögzítsünk egy olyan vastagabb lécdarabot, amely 8–10 centiméterrel rövidebb, mint a cserépalátét átmérője, de 1–2 centiméterrel magasabb, mint a cserépalátét pereme! A lécdarab közepén fúrjunk egy 4 mm átmérőjű lyukat, amelybe tengelyként helyezzünk el (esetleg ragasztással rögzítsünk) egy 4 mm átmérőjű fémrudat! Erre a tengelyre helyezzük fel a cserépalátétet az ingával együtt! Állítsuk be az inga felfüggesztését úgy, hogy az inga pontosan a forgástengely felett legyen! Ezzel a modellel az előzőkhöz hasonlóan szemléltethető a Foucault-inga működése: az U alakú ingatartó síkjában lengésbe hozott inga a teremhez (inerciarendszerhez) képest megtartja a lengési síkját akkor is, ha a cserépalátét (Föld) és az ingatartó állvány (épület) elfordul.

3. Élő videóközvetítés a Foucault-inga modellből

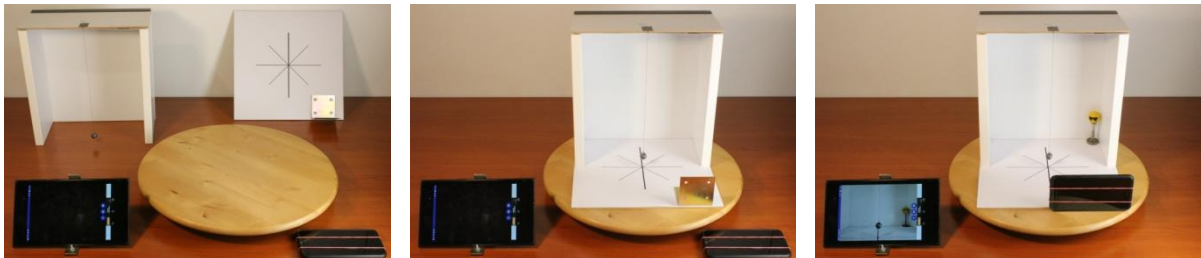
Ez az eszköz lehetővé teszi, hogy a Foucault-inga modell működését úgy figyeljük meg, mintha megfigyelőként mi magunk is elfordulnánk a modellel együtt. Ehhez egy okostelefont rögzítünk a modellt tartó forgatható alaplapra, és egy alkalmazás segítségével a telefon kamerájának képét egy másik telefonon, táblagépen vagy számítógépen jelenítjük meg. (A számítógépen megjelenő kép természetesen a hozzákapcsolt projektorral ki is vetíthető.)

A forgatható alap egy 39 cm átmérőjű fából készült forgótálca (IKEA, Snudda), de hasonló forgatható alap bútorlapból is készíthető. Erre egy 3 mm vastag bútorhátlapból kivágott, 268 mm élhosszúságú négyzetlapot helyezünk, ez lesz az épület padlója. A padló egyszerűen középre illeszthető, mert átlója megegyezik a forgótálca sík tálalófelületének átmérőjével. (A tálca pereme lekerekített.) A padlóra csavarozzunk egy barkácsboltokban kapható L alakú összekötőt, ehhez lehet befőttesgumival az okostelefont rögzíteni. (A padló

elhagyható, ekkor az L alakú összekötőt a forgótálcához kell csavarozni. Én azonban nem akartam a forgótálcát átfúrni.)

Az ingát tartó épületmodell bútorlapból készült, de deszkából vagy OSB lapból is elkészíthető. (Még egyszerűbb kivitelnél az épületmodell egy kartondobozból is kialakítható.) Külső méretei: szélesség 268 mm, mélység 234 mm, magasság 268 mm. Az épületmodell a méretei miatt könnyen és pontosan az alaplap megfelelő helyére illeszthető.

Két tető készült hozzá 3 mm vastag bútorhátlapból, az egyik egy 268 mm élhosszúságú négyzetlap, a másik egy 268 mm × 134 mm méretű téglalap. A tetőlapok cserélhetőek, egy 268 mm hosszú műanyag L-profil szorítja le őket, amely a hátlaphoz van csavarozva. (A tetőlap egyszerűen becsúsztható az L-profil alá.) A tetőlapok alsó oldalára egy kupola fényképét (illetve annak felét) ragasztjuk. A nagyobbik tetőlapot a kupola közepén 1 mm-es fűróval átfúrjuk, és ide függesztjük a cérnából és ólomgolyóból összeállított ingát. (Ólomgolyó horgásboltban kapható.) Az inga fonalának felső végét a lyukon átfűzve szigetelőszalaggal rögzíthetjük. A kisebbik tetőlap egyik oldalán fémfűrészszel egy 1 mm mély bevágást készítünk azon a helyen, ahol a kupola középpontja van. Ebbe a bevágásba kerül az előbbihez hasonló inga fonala, amelyet ugyanúgy szigetelőszalaggal rögzíthetünk. (A bevágás megakadályozza, hogy a fonál lengés közben elmozduljon, illetve a tetőlaphoz súrlódjon.)



Az okostelefon kamerája által „látott” kép táblagépre (vagy másik okostelefonra) történő továbbításához a *Walkietooth* nevű alkalmazás használható, amely ingyenesen letölthető a *Google Play Áruházból*. Az alkalmazás Androidos eszközökön használható, WiFi és Bluetooth segítségével is létre tud hozni kapcsolatot a két eszköz között. A Bluetooth kapcsolat előnye, hogy nem igényel WiFi hálózatot, de kicsit lassabb, mint a WiFi.

Az okostelefon és számítógép közti képátvitelhez a a *Google Play Áruházból* szintén ingyenesen letölthető *DroidCam Wireless Webcam* használható. Ez a WiFi segítségével továbbítja a képet a számítógépre, amelyről projektorral nagyobb közönségnek is kivetíthető a kamera képe.

A kapcsolat létrehozása után a *Walkietooth* alkalmazás esetén az okostelefon főkapcsolóját megnyomva az érintőképernyő lekapcsolható, de a közvetítés tovább folyik. (Így a kísérlet közben a telefon képernyőjének véletlen megérintése nem okoz problémákat.)

Ezután az okostelefon néhány befőttesgumival rögzíthető az L alakú tartóra. Állítsuk be a telefont úgy, hogy a kamera lencséje éppen az ingával szemben legyen!

Térítsük ki az ingát a kamera irányába, és figyeljük meg, hogyan változik a lengési sík iránya a közvetített képen, ha a forgótálcát lassan körbeforgatjuk! Ugyanakkor megfigyelhető az is, hogy az inga lengési síkja a tanteremhez képest valójában nem változik.

Elvégezhető a kísérlet úgy is, hogy az okostelefont az inga alá fektetjük úgy, hogy a kamera pontosan az inga alá essen. (Ehhez a kísérlethez érdemes a teljes kupolás tetőlapot használni.) Az ingát lengésbe hozva és a forgótálcát körbeforgatva megfigyelhető, hogy a közvetített képen az inga lengési síkja a kupolához képest körbefordul.

Ismételjük meg ezt a kísérletet a fél kupolás tetőlappal is, de az épületmodell fölé helyezzünk egy csillagtérképet úgy, hogy a Sarkcsillag a forgástengely (és a kupola közepe) fölé kerüljön! Az ingát lengésbe hozva és a forgótálcát körbeforgatva a közvetített képen most is megfigyelhető, hogy az inga lengési síkja a kupolához képest körbefordul. Ugyanakkor az is jól látszik, hogy a csillagtérkép (égbolt) is forog a Sarkcsillag körül, de az inga lengési síkja nem változik a csillagokhoz képest. Még látványosabb ez a kísérlet, ha fekete bútorhátlapra a csillagtérkép alapján a fontosabb csillagok helyére LED-eket szerelünk, és ezt a bútorhátlapot helyezzük égboltként az épületmodell fölé.



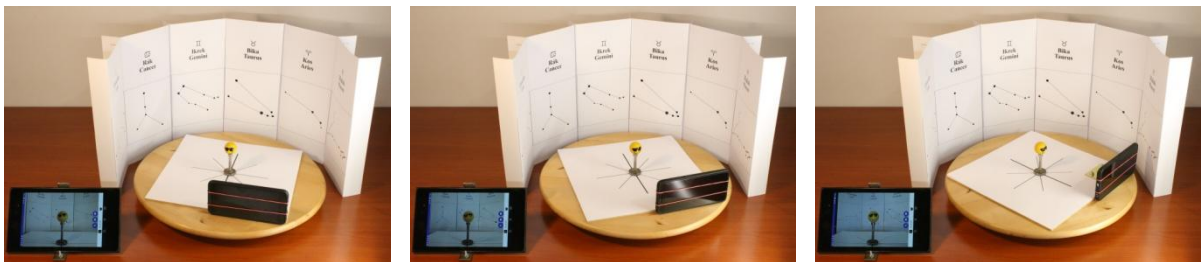
Az anketon bemutatott „égbolton” kék LED-eket használtam. A LED-eket párosával sorba kapcsoltam, és az így kapott párokat egymással párhuzamosan kötve 5 V feszültségről működtettem. Áramforrásként én egy USB-s telefontöltőt használtam, ehhez egy USB kábel egyik csatlakozóját levágtam, és közvetlenül az „égbolt” LED-jeihez forrasztottam. (Az USB csatlakozó két szélső kivezetésén található az 5 V tápfeszültség.)

4. Melléktermék: Az Ekliptika szemléltetése

Az előző kísérletben használt forgótálcát és alaplapot, valamint néhány kiegészítéssel segítségével egyszerűen szemléltethető a Nap látszólagos pályája, az *Ekliptika* is. Ehhez nyomtassuk ki néhány állatövi csillagkép térképét egy-egy A4-es lapra! A lapokon feltüntethetjük a csillagképek nevét és jelét is. (A FizTan – LETÖLTHETŐ rovatban hat ilyen

csillagterkép található: Halak, Kos, Bika, Ikrek, Rák, Oroszlán). A csillagterképeket tűzőgéppel kapcsoljuk egymáshoz!

Az épületmodellt távolítsuk el az alaplapról, a forgótálca közepére pedig tegyünk egy (sárga) golyót, ez jelképezi a Napot! Rögzítsük az okostelefont néhány befőttesgumival az L alakú tartóra úgy, hogy a „Napra” nézzen! Az állatövi csillagképeket félkörben helyezzük a forgótálca köré! A kamera ebben a kísérletben a Nap körül keringő Földnek felel meg. A forgótálcát elforgatva a kameraképen látható, hogy a „Földről” nézve a „Nap” mindig más-más csillagképben látszik. A Napnak ezt a (Föld keringéséből adódó) látszólagos pályáját nevezzük Ekliptikának. A kísérlet alapján az is belátható, hogy az Ekliptika síkja és a Föld pályájának síkja megegyezik.



– 0 –

A cikkhez kapcsolódó további fotók, rajzok és videók elérhetők a *FizKapu* honlap *FizTan – LETÖLTHETŐ* rovatában.

¹ Az írás a 2019. évi debreceni fizikatanári ankét eszközkiállításán *Forog a Föld – Foucault 200* címmel bemutatott anyagom alapján készült.

² Ez a magyarázat valójában csak az Északi- vagy a Déli-sarkon lengő ingára érvényes, az Egyenlítő felé haladva az elfordulás mértéke csökken, az Egyenlítőn teljesen megszűnik. A lengési sík függőleges tengely körüli elfordulásában ugyanis csak a Föld szögsebesség-vektorának függőleges (földfelszínre merőleges) összetevője játszik szerepet. A rajzok alapján könnyen belátható, hogy ennek nagysága $\omega_f = \omega \cdot \sin \varphi$. Az is látható, hogy a szögsebesség függőleges összetevője az északi féltekén felfelé mutat, a délin pedig lefelé. Emiatt az északi és a déli féltekén a Foucault-inga lengési síkjának elfordulása ellentétes egymással. Az Egyenlítőn a szögsebesség függőleges összetevője nulla, így a Foucault-inga nem fordul el.

