



A 2018/2019. tanévi
Országos Középiskolai Tanulmányi Verseny
Döntő forduló

FIZIKA I. KATEGÓRIA

FELADATOK

„És mégis forog a Föld”

Motiváció:

2019-ben ünnepeljük Eötvös Loránd halálának 100. évfordulóját. A mérési feladat az évfordulóhoz kötődik.

Napjainkban mindenki számára evidenciának tűnik, hogy a Föld forog a tengelye körül. Ez azonban egyáltalán nem volt mindig így. Elvben elképzelhető lenne, hogy ahogy azt mi „látjuk”, a Nap és a csillagok forognak a Föld körül. Ezért felmerül a kérdés, hogy honnan tudjuk, hogy forog a Föld. Ha nagyon pontosan akarunk fogalmazni, akkor az igazából mindegy, hogy mi forog mihez képest, a megfigyelt jelenségek mindkét „megközelítéssel” elvben leírhatók lennének.

Akkor miről is van itt szó? A választ Newton törvényei adják. A Newton törvények csak speciálisan választott koordináta-rendszerekben, úgynevezett inerciarendszerekben érvényesek. Az inerciarendszer egy olyan koordináta rendszer, amiben egy magára hagyott (más testekkel kölcsönhatásban nem levő) test egyenesvonalú egyenletes mozgást végez. Az ilyen koordináta rendszerben érvényes az $F = ma$, Newton II. törvénye, és persze a hatás ellenhatás törvénye is. Ennek megfelelően kísérletileg eldönthető, hogy egy koordináta rendszer inerciarendszer-e vagy sem.

Mi történik, ha nem inerciarendszerben vagyunk? Belátható, hogy az $F = ma$ törvény ekkor is formálisan fenntartható, csak úgynevezett tehetetlenségi erőket kell bevezetni. A forgó Földön két ilyen tehetetlenségi erő lép fel. Az egyik az ún. centrifugális erő, amely arányos a kérdéses pontnak a Föld forgástengelyétől mért távolságával, a forgási szögsebesség négyzetével és a vizsgált test tömegével. Ezért a forgó Földön egy test „súlya” egyrészt a Föld gravitációs vonzó erejéből, másrészt a centrifugális erőből adódik össze.

Ha a forgó Földön egy test mozog is, akkor még egy tehetetlenségi erőt, az ún. Coriolis-erőt is fel kell venni ahhoz, hogy az $F = ma$ érvényben maradjon. A Coriolis-erő nagysága $F_c = 2m \cdot v \cdot \omega \cdot \sin \alpha$, ahol m a tehetetlen tömeg, v a test sebessége, ω a Föld szögsebessége, és α a sebesség és szögsebesség vektorok közötti szög. A Coriolis-erő merőleges a sebesség és szögsebesség vektorok által meghatározott síkra.

Az első direkt kísérleti bizonyíték a Föld forgására Foucault híres ingakísérlete volt 1851-ben. Ez úgy „működik”, hogy a lengő ingára a forgó Földön a fentiekben leírt Coriolis-erő is hat a súlyerőn és a kötélerőn kívül. A Coriolis-erő hatására az inga lengési síkja lassan elfordul. Ezt az elfordulást mutatta ki Foucault. Ha tehát a Föld nem forogna, így inerciarendszer lenne, az inga síkja nem fordulna el. A kísérletnek van azonban egy nagy hátránya, ugyanis a

szögelfordulás sebessége igen kicsi, Magyarországon 11 fok/óra. Így tehát ahhoz, hogy valamit lássunk, viszonylag sokáig kell várni. Ezt a „hátrányt” küszöböli ki az Eötvös által javasolt ún. Eötvös-mérleg, amellyel a Coriolis-erő hatása egy rezonancia jelenség révén sokkal gyorsabban is kimutatható. A mérési feladat egy némiképpen átalakított Eötvös mérlegen történik.

A mérőberendezés leírása:

A mérőberendezés egy rúd két végén elhelyezett két nagyobb tömegeből áll, amely két tücsapágyon billegni tud (továbbiakban „mérlegkarok”). A berendezés oldalán elhelyezett motorral a tücsapágyak alsó támasztéka forgatható. A motor fordulatszáma a berendezéshez kapcsolódó elektronikával szabályozható egy potenciométer elforgatásával. Az aktuális fordulatszám a kijelzőn megjelenik. A motor elindítása, ill. megállítása a kék nyomógomb megnyomásával történik. Az álló motor elindításakor a motor lassan veszi fel a potenciométerrel beállított értéket, mivel különben a tücsapágyak kiugornának a helyükből. Ezért indítás után meg kell várni, amíg a kijelzőn a fordulatszám „megáll”. A forgatás hatására a „mérleg” lengésbe kezd. A lengés egy, a mérlegre közepén elhelyezett tükrön visszaverődő ernyőn felfogott lézernyaláb elmozdulásával vizsgálható. A könnyebb leolvashatóság érdekében az ernyő skálával ellátott, koncentrikus köröket tartalmaz. A berendezés fölött elhelyezett lézer az elektronikán levő fekete nyomógommbal kapcsolható be és ki. A pontos méréshez a lézernyalábnak a berendezés forgástengelyébe kell esnie. Ez a mérés megkezdése előtt be van állítva, ezért ne mozgassa el sem a berendezést, sem a lézert tartó állványt!

A lengő hengerek mellett elhelyeztünk egy-egy erős mágnesset. A mágneseknek a hengerektől való távolsága két határ (11 mm és 8 mm) között változtatható. A tücsapágyak végpontjának a mérlegkarok súlypontjától való távolsága is változtatható. Ehhez a mérlegkar leemelése után a csapágyakat óvatosan ki kell csavarni és kicserélni az előre elkészített távtartó gyűrűket. Három gyűrűpár áll rendelkezésre. Ezek $s = 2,35$, $2,76$, és $3,26$ mm-es súlypont forgástengely távolságokat állítanak be. Az induláskor a $2,76$ mm-es van beszerelve.

Figyelmeztetés:

Bármilyen esetleges probléma esetén forduljon a jelenlevő tanárokhoz!

Mérési feladatok:

1. A rendszer csillapodásának meghatározása

A forgatás nélküli esetben a mérlegkar csillapodó rezgőmozgást végez. Az n -ik rezgés A_n maximális kitérése az

$$A_n = A_0 e^{-n\beta T}$$

képlettel adható meg, ahol A_0 a nulladik rezgés amplitúdója, T a rezgés periódus ideje, β a csillapítási tényező és $e = 2,718 \dots$ az Euler-féle szám.

A fenti képlet felhasználásával javasoljon módszert és mérje meg a rendszer β csillapítását! A mérést végezze el 11 és 8 mm-es mágnes távolságnál! Adjon magyarázatot arra, hogy mi okozza a csillapítás eltérő értékét a két esetben!

(5 pont)

2. A rezonanciagörbe meghatározása

A forgatás hatására a mérlegkar lengésbe jön. A bevezetőben leírtak felhasználásával adjon kvalitatív magyarázatot erre!

(5 pont)

3. A rezonanciagörbe meghatározása

A lengés amplitúdója függ a forgatás frekvenciájától. 11 mm-es mágnes távolság és $s = 2,76$ mm mellett vegye fel a rezgés amplitúdójának a forgatási szögsebességtől való függését! A mérést a következőképpen végezze: Forgatás közben a lengés hatására az ernyőn egy olyan kettős kör jelenik meg, amely egy ponton összeér. A rezgés amplitúdójának növekedésével a kisebb kör átmérője nő. A forgatási szögsebességet lassan változtatva keresse meg a legnagyobb amplitúdóhoz tartozó forgatási sebességet! Figyeljen rá, hogy az állandó amplitúdó kialakulásához akár 1 perc is szükséges! Ekkor még nem szükséges a pontos frekvencia meghatározása, ez a mérés tájékoztató jellegű. Ezután a rezonanciagörbe felvételét úgy végezze, hogy az előző frekvencia körül pozitív és negatív irányban 10 fordulat/perc egységekben 5-5 pontban állítsa be a forgatási frekvenciát! Várja meg, amíg beáll az egyensúlyi állapot, majd a kék gomb benyomásával állítsa le a forgatást és az ernyőn gyorsan olvassa le a rezgés amplitúdóját!

A kapott amplitúdó-frekvencia összefüggést ábrázolja grafikusán és állapítsa meg a rezonanciafrekvenciát!

(8 pont)

4. A csillapítás hatása

A mérést ismétlje meg 8 mm-es mágnes távolságnál! Értelmezze mit tapasztalt!

(10 pont)

5. A súlypont távolság hatása

11 mm-es mágnes távolságnál az $s = 2,36$ és $3,26$ mm-es esetre is ismétlje meg a mérést. Ehhez szerelje be a megfelelő távtartókat. Itt elegendő már csak 2×3 pontban mérni a rezonanciafrekvencia megkeresése után. Állapítsa meg, hogyan függ a rezonanciafrekvencia s -től!

(12 pont)

A mérés elvégzéséhez 4 óra áll rendelkezésre. A feladatok megoldásához számítógép és telekommunikációs eszköz kivételével bármilyen segédeszköz használható. Ha valamelyik eszközzel problémája van, forduljon a felügyelő tanárhoz.

EREDMÉNYES VERSENYZÉST KÍVÁNUNK!