

DINAMIKUS GRAVITÁCIÓ

EGY KÜLÖNLEGES GRAVITÁCIÓS KÍSÉRLET

Szerző: Sarkadi Dezső

1. Bevezető

A jelen munkámban egy különleges gravitációs kísérletről számolok be, amit saját magam végeztem el. A kísérletet a kísérleti fizikában szokatlan módon, fizikai ingával valósítottam meg, egy amatőr fizikus, *Bodonyi László* eredeti kísérlete nyomán.

Maga a kísérlet elve egyszerű, de a kísérlet műszaki feltételeinek megteremtése, a konkrét és ellenőrző mérések végrehajtása és főleg az elméleti elemzések megnyugtató lezárása éveket vett igénybe. A jelen munka célja, hogy a különleges gravitációs kísérlet minden lényeges részletét, a kísérlet kiértékelését és fontos elméleti következtetéseit minél pontosabban, és lehetőleg minél rövidebben, a lényegre törekedve összefoglaljam. Ez az anyag, reményem szerint, érdekes információkat nyújt az érdeklődőknek, magamnak pedig egy részletes emlékeztetőt jelent.

Az „ördög a részletekben van” a közmondás szerint, különösen igaz erre a kísérletre. Minden lényeges, vagy kevésbé lényegesnek tűnő részletekről írok, emiatt a munkám terjedelmesebb a szokásosnál, és valószínűleg nagyobb figyelmet, szellemi erőfeszítést igényel a tisztelt Olvasótól. Remélem, hogy a szellemi befektetés megtérül, a misztikus gravitációról sokkal többet fog megtudni, aki részt vesz ebben a tudományos kirándulásban.

Mielőtt rátérnék a kísérletemre, összefoglalom az előtörténetet. Fizikusként végeztem a debreceni Kossuth Lajos Tudományegyetem fizikus szakán 1972-ben. Kezdetől fogva engem elsősorban a relativitáselmélet és a kvantummechanika érdekelt, a gravitáció is csak elméleti szinten, az általános relativitáselmélet vonatkozásában. 1995-ben, egy újsághirdetésben olvastam, hogy valaki szponzorokat keres gravitációs kísérletekhez. Meglepődtem ezen a hirdetésen, (nem túl gyakori az ilyen hirdetés), felhívtam hát a megadott telefonszámot, így ismertem *Bodonyi Lászlót*. Elutaztam Miskolcra, és megnéztem a kísérleteit. Kiderült, hogy előttem többen is látták a kísérletet, többek között szakmabeliek (fizikusok, gépészmérnökök) is, akik vállveregetéssel elbúcsúztak Bodonyitól, nem láttak semmi figyelemreméltót. Úgy gondolom, ennek talán fő oka a kísérlet „háziagos” kivitelezése volt, tehát a méréseit is komolytalannak tartották. Bodonyi Lászlónak nem volt sem fizikusi, sem különösebb matematikai végzettsége, tehát előadásmódja is a felmerült kételyeket erősíthette.

A kísérletet alaposan tanulmányoztam, utána még többször „meglátogattam” Bodonyi ingáját, amiről első látásra megállapítottam, hogy egy nagyméretű fizikai inga. Jellemzően Bodonyi még az eszközének „hivatalos” elnevezését sem tudta, ő egy igazi östehetség, ösztönös műszaki ember volt, aki saját ötlete alapján alkotta meg a gravitációs ingáját. A gravitációs mérés meglepően nagy érzékenységet mutatott, amit a számításaim nem támasztottak alá. Ebből mások azonnal le is vonhatták a következtetést, amit Bodonyi mér, az csak mechanikai zaj lehet és nem gravitációs hatás. Csakhamar rájöttem, az inga nem a gravitációs erőt méri, hanem gravitációs energiát. Tehát az inga lengési amplitúdójának és fázisának megváltozásában jelentkezett a gravitációs hatás, nem az inga sztatikus kitérésében. A sztatikus gravitáció kimutatása hagyományosan a *Cavendish* típusú, torziós ingákkal történik, melyek érzékenysége nagyságrendekkel nagyobb a fizikai inga érzékenységénél.

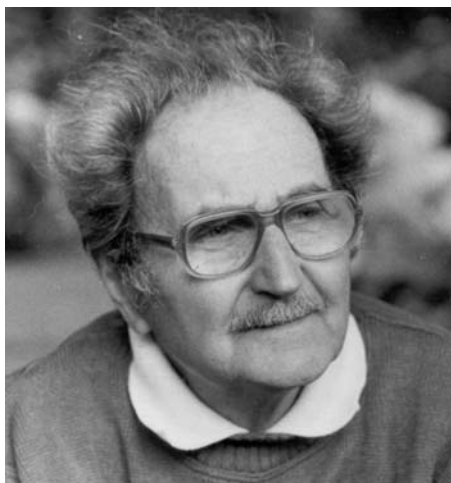
Gravitációs kísérletekkel kapcsolatban fizikai ingáról nem olvashatunk az irodalomban. A fizikai inga ötlete különös módon előfordul Eötvös Loránd egyik írásában, melyben a fizikai inga hátrányát a következő szavakkal jellemzi: „...a megvalósítás azonban a vízszintes forgási tengelyeket létesítő szerkezetek tökéletlensége miatt nekem mindeddig nem sikerült.”

Eötvös Loránd ezen írását Bodonyi László valószínűleg nem ismerte és ezért a fizikai inga ötletét Eötvöstől nem meríthette.

Bodonyi különböző megfontolások alapján arra a következtetésre jutott, hogy azonos nagyságú tömegek között a gravitációnak le kell csökkennie, elméletileg meg kell szűnnie. A Cavendish-féle torziós inga alkalmatlannak bizonyult az azonos nagyságú tömegek közötti gravitáció kimutatására. A Cavendish kísérletben ugyanis az ingán lévő tömegekhez általában legalább ezerszer, de inkább tízezerszer nagyobb külső „forrástömegeket” szokás közelíteni. A számítások azt mutatják, hogy egyenlő nagyságú tömegek gravitációjának kimutatásához a torziós szátra kilogramm nagyságrendű tömegeket kellene felfüggeszteni, amely a torziós szál vastagságának növelését igényli. Ezzel viszont a mérés nagy érzékenysége megszűnik. Ezért keresett Bodonyi László egy olyan mérési megoldást, mely alkalmas egymással egyenlő, közel egyenlő, vagy azonos nagyságrendű tömegek gravitációjának

A jelen munkát elsősorban szakembereknek szántam, azaz feltételezlek fizikai alapismereteket, ezért nem fűzök mindenhez különösebb magyarázatot. Például a Cavendish inga felépítését, és működését itt nem ismertetem, ugyanis bőséges anyag található a gravitációs mérésekről az Interneten, illetve írok róla másutt a saját munkáimban is.

Az alábbi képek Bodonyi Lászlót és gravitációs ingáját mutatják:



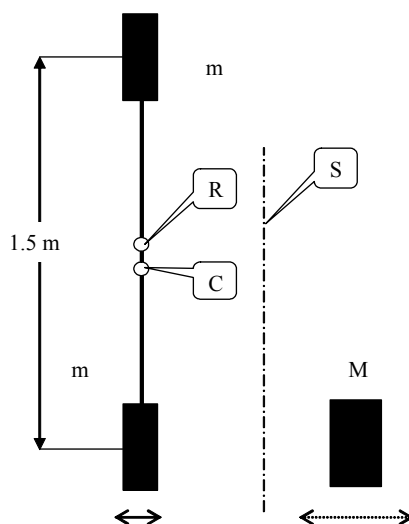
Bodonyi László (1919-2001)



Bodonyi László gravitációs ingája

2. Gravitációs mérés fizikai ingával

A fenti, jobboldali fényképen Bodonyi megvalósított gravitációs „mérőberendezése” látható, mely első ránézésre eléggé bonyolultnak tűnik. A képen világosnak (fehérnek) látszik maga a fizikai inga, melynek szerkezeti elemei alumínium profilokból készült. Az ingaszerkezet egy négyzetes alakú alumínium keretből áll, mely az egyik csúcsával lefelé mutat. Az alumíniumkeret alsó és felső csúcsán helyezkedik el a 8 – 8 kg nagyságú ólom ingatömeg. A feketére festett, közönséges szénacélból készült, négyzetes alakú szerkezet a *forrástömegek* mozgatására szolgál. A szénacél keret forgástengelye egybe esik az inga forgástengelyével, de a két tengely egymástól független elfordulást biztosít. Ez sajnos eléggé „szerencsétlen” megoldás, a mechanikus vibráció zavaró lehetősége miatt, de azt a célt szolgálta, hogy a szénacél keret két átlós csúcsában lévő forrástömegeket egyidejűleg lehessen beforgatni az alsó, felső ingatömegekhez (ellentétes oldalról), miáltal a gravitációs erő kétszeres forgatónyomatékot fejt ki az ingára. A fizikai inga felfüggesztése két, kb. 2-3 mm-es átmérőjű acéltűvel megoldott, melyek egy polírozott, hengeres vájatba illeszkednek. A súrlódást egy-egy csepp olaj csökkenti. A mérés elvét a következő 2.1. ábra mutatja:



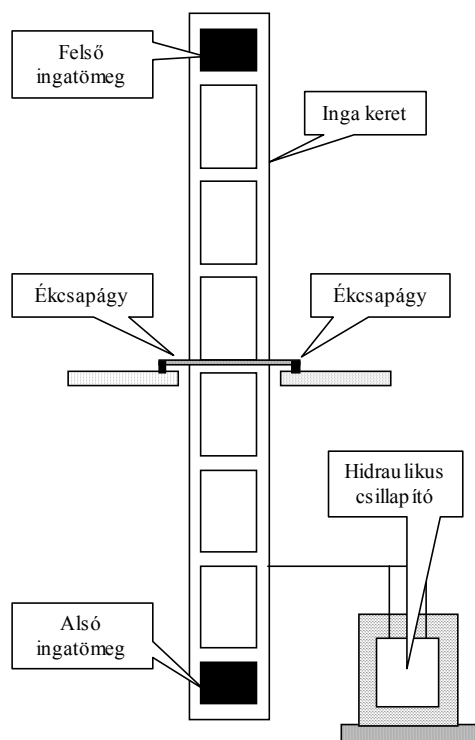
2.1. ábra: Gravitációmérés fizikai ingával

Bodonyi kísérletét megismerve, úgy döntöttem, hogy magam is megismétlem a kísérletet, azzal a céllal, hogy a kísérletnél felismert műszaki hiányosságokat megszüntessem, és hogy függetlenül igazoljam a fizikai inga gravitációs mérőképességét. A megvalósított fizikai inga két, m -el jelölt, 12 kg-os ólomtömegeből áll, melyeket egy könnyű, de erős rozsdamentes keret tartja egymás felett 1.5 méter magasságban. A keret középmagasságában két keményacél ék biztosítja az inga felfüggesztését, amely az inga forgástengelye (az ábrán R-rel jelölve). Az inga C súlypontja a forgástengely alatt van, ezt az ingán lévő kis segédtömegek fel-le csúsztatásával lehet biztosítani. A segédtömegek finom állításával az inga lengésideje 60-70 másodpercre növelhető. Ekkor szokatlan jelenséget figyelhetünk meg, az inga néhány milliméteres szabálytalan lengést végez, gyakorlatilag „örökmozgóként” viselkedik. Az így beállított inga a legkisebb külső zavarokra, talajrezgésre, légáramlásra, emberi test mozgására (gravitációs hatás) érzékenyebbé válik. Az ingát a légáramlás és elektromágneses hatások elkerülésére egy megfelelő méretű és vastagságú lágyvaslemez (S) árnyékolni kell. Az ingát és az árnyékoló lemezt elektromosan földelni kell. Az M forrástömeget távvezérléssel közelítjük az inga alsó tömegéhez, miáltal az inga kaotikus lengési amplitúdója jól mérhetően megnő. Ha az M tömeg mozgását megszüntetjük, néhány perc után az inga lecsillapodik a kezdeti amplitúdóra. A gyakorlatban a mérés előkészítése és végrehajtása hosszadalmas folyamat, nagy gyakorlati készség szükséges a sikeres mérésekhez. Az inga lassú mozgását Bodonyi kb. 2 méter távolságból, egy távcső segítségével olvasta le egy finom skáláról, mely előtt az ingára erősített vékony acéltű képezte a „mutatót”. Később megismételt méréseimben már elektronikus, számítógépes mozgásdetektort alkalmaztam. Az inga mozgását kontaktus nélkül, optikai módszerrel mértem. A számítógép valós időben, kinagyítva mutatta az inga mozgását, a mért adatokat folyamatosan letárolta.

A 2.1. ábra szerint a gravitációs méréshez egyetlen forrástömeget használtam, a forrástömeget egy kiskocsi segítségével mozgattam az inga alsó tömegéhez. A kiskocsi távmozgását zsinórok segítségével oldottam meg. Ez a megoldás ugyan fele akkora erőhatást fejtett ki az ingára, mint a Bodonyi kísérletben alkalmazott alsó-felső forrástömeg, de vibrációs zavar a forrástömeg mozgása miatt nem lépett fel. Az első fizikai ingámmal már a kezdetekben sikerült Bodonyi gravitációs méréseit reprodukálni

Az első inga elkészülte után elkészítettem egy nagyobb ingát, melynek magassága 5 méter volt. A 2.2. ábrán az „ötméteres” fizikai ingámat előlnézetben láthatjuk. Az ábrán felüntettem egy fontos alkatrészt, a *hidraulikus csillapítót*. Bodonyi nem használt csillapítót, az első ingánál én sem. A gravitációs szakirodalomban olvasható, hogy a mai Cavendish ingák tartalmaznak csillapítást is, melyek általában kontaktus nélküli, *örvényáramos elven* működő csillapítók. Az általam használt csillapító lényegét tekintve egy vízzel töltött kádba merülő,

kb. A/4-es méretű, merev műanyag lap. A csillapítók elsődleges feladata a nagyfrekvenciás, vibrációs eredetű zajok (zavarok) „levágása”. Később visszatérek rá, hogy az új típusú gravitációs mérés sikerességéhez hozzátartozik egy meghatározott mértékű disszipáció is, amihez az inga felfüggesztésén kívül a hidraulikus csillapító is hozzájárul.



2.2. ábra: A gravitációs mérésekhez használt „ötméteres” fizikai inga vázlatos rajza előnézetben

Az inga magassága 5 méter, így a karhosszúságok 2.5 métereseek. Az inga alsó-felső tömege 24-24 kg ólom. Az ingakeret a kereskedelemben kapható, egyszerű háztartási alumíniumlétra. Az ingát a hétvégi házam garázsában állítottam össze, az inga felső része felnyúlt a padlásra. Az inga magasságából adódó hátrányt a mérés előnyére használtam fel azzal, hogy az inga ékcsapágyait a padláson helyeztem el. A méréshez használt ólom forrástömegeket a padlón elhelyezett kiskocsival mozgattam az ingához. Ezzel a megoldással gyakorlatilag kizártam, hogy a kiskocsi mozgásának (lassú gurításának) vibrációs zaja a padlón keresztül átadódjon az ingának.

3. Mérési tapasztalatok

Valószínűleg az Olvasók többsége még nem látott gravitációs mérést, ezért itt az ismertető legelején fontosnak tartok egy rövid ismertetést, mit is várhatunk el egy gravitációs méréstől. A gravitációs kísérletek célja túlnyomó részben ma is, mint régen, a gravitációs állandó minél pontosabb meghatározása. Tudnivaló, hogy a G állandó pontos kimérése a kísérleti fizika legnehezebb feladataihoz tartozik, a gravitáció rendkívüli gyengesége miatt. Részben ezzel magyarázható, hogy az *alapvető fizikai állandók* közül éppen a G pontossága a legrosszabb, ráadásul a hivatalosan elfogadott G érték is eddig még mindig változott az évek során. Ez a probléma folyamatosan jelen van szakértők érdeklődési körében, a témát bőséges szakirodalom elemzi.

A legelterjedtebb G mérési módszerek a hagyományos Cavendish kísérlet legkülönbözőbb modern változatai. Egy alkalommal szerencsém volt megtekintennem egy ilyen kísérletet, mely a Cavendish inga kvalitatív „működését” mutatta be. Még egy ilyen egyszerű gravitációs

kísérlet beállítása, a mérés elvégzése is legalább két órát vesz igénybe. A Cavendish inga lelke a *torziós szál*, melynek anyagát, vastagságát általában titokban tartják. Külön szaktudást igényel a torziós inga kalibrálása is. A kísérletben pusztán a gravitációs mérőképesség kimutatása volt a cél. Maga a torziós inga egy zárt dobozban volt, melyen egy kis üvegablak tette lehetővé a torziós szátra felragasztott parányi tükör megvilágítását. A megvilágítás lézerefénnyel történt, a tükrőről visszavert (kivetített) lézersugár hossza öt méter lehetett. Az épület padlójának parányi rezgése látható volt a falon kinagyítva, amit a visszavert lézerefény mutatott. A Cavendish inga nagyon lassan mozgott, legalább egy félóráig tartott, amíg nagyjából beállt egyensúlyi helyzetébe. Ezután az inga mellé egy nagyobb ólomgolyó lett helyezve. A Cavendish inga piciny elfordulását csak percek után lehetett észlelni, az inga elfordulása nagyon lassan tovább folytatódott. A kivetített lézer fénypont lassú mozgása szemmel nem követhető, de félórás várakozás után az inga felvette az új egyensúlyi helyzetét, a fénypont „kitért” helyzete újra stabilizálódott.

A fizikai ingával történő gravitációs mérés célja és lefolyása a fentivel csaknem ellentétes. Aki még nem foglalkozott a gravitáció mérésével, azt mondaná, hogy tesztelés céljából én is mérjem meg a gravitációs állandót fizikai ingával. Előre leszögezem, hogy olyan módon, ahogy a Cavendish ingával meghatározzák a G -t, a fizikai ingával nem lehetséges. Ennek okára az elméleti részben kitérek, de előzetesen csak annyit kell tudni, hogy a fizikai inga mérési érzékenysége nagyságrendekkel kisebb a Cavendish inga érzékenységénél. A fentiekben említettem, hogy maga Eötvös Loránd sem találta alkalmas gravitációs mérőeszköznek a fizikai ingát. Bodonyi László, elméleti hiányossága miatt, nem is tudta volna kiszámítani a fizikai inga mérési érzékenységét, és éppen ez volt a szerencséje. Egy képzett fizikus a számításai alapján hozzá sem kezdett volna fizikai ingás gravitációméréshez.

Bodonyi nagy szerencséje az volt, sajnos annak tudatos felismerése nélkül, hogy „véletlenül” kimutatta a *dinamikus gravitáció* jelenségét. Tény az is, hogy ehhez kellett még egy olyan fizikus is, történetesen szerény személyem, aki hajlandó volt Bodonyi méréseivel érdemben foglalkozni. Pedig előttem fizikusok, mérnökök is látták Bodonyi kísérletét! Egy fizikusnak, vagy műszakinak nem elég csak széleskörű szakmai tudással rendelkeznie, látni is tudni kell! Bodonyi szerencséjére a dinamikus gravitáció az ismert *sztatikus gravitációnál* nagyságrendekkel erősebb, ezért sikerülhetett kimutatni az egyszerű fizikai ingával.

Egy közönséges mágnes vonzó, taszító hatását a gyerekek is jól ismerik. Az elemi iskolában egyszerű eszközökkel demonstrálható az elektrosztatikus vonzás, taszítás. Ennek oka, hogy az elektromágneses kölcsönhatás több nagyságrenddel erősebb a gravitációnál. A Cavendish kísérletnél viszont legalább 20-30 percet kell várni a gravitációs vonzóhatás kimutatására. Ugyanígy nem várható el a fizikai inga esetén sem, hogy odateszek az inga mellé egy nagy ólomdarabot, és az inga „azonnal” kitér. (Tapasztalatból beszélek, volt nem egy olyan műszaki beállítottágú ismerősöm, aki ilyen gyors, látványos gravitációs hatást várt, és nagyot csalódott, hogy ez a várakozása nem teljesült.)

Akkor hogyan tudta Bodonyi mérni a gravitációt? A gravitáció kimutatásához, méréséhez nem kell feltétlenül felsőfokú végzettség, pusztán csak egy kis műszaki érzék. Erre térek ki most kicsit részletesebben:

Amint majd az elméleti részben rövidesen megmutatom, az inga mérési érzékenysége fordítottan arányos az inga lengésidejének négyzetével. A fizikai inga viszonylagos nagy „méretének” megválasztása részben ezzel kapcsolatos. Az ingát a lehető legnagyobb lengésidőre kell beállítani, az inga súlypontjának finom beállításával. Belátható, hogy nagy karhosszúságok esetén ezt könnyebb megvalósítani. Bodonyi László az inga lengésidejét, a méréseinek összehasonlíthatósága céljából, rendszeresen 60 másodperc körüli értékre állította. Az ötméteres ingám lengésidejét maximum 80 másodperc körüli értékre tudtam beállítani. A viszonylag nagy ingatömegek a felfüggesztés súrlódását számottevően megnövelik, emiatt a maximálisan elérhető lengésidő tartomány mindössze csak 60-80 másodperc. Ebben a lengésidő tartományban az inga mozgása csak közelítőleg szinuszos, az ingamozgás a legkisebb

környezeti zavarokra is érzékeny. Amint az előzőekben említettem, ilyenkor már az inga „örökmozgóvá” válik, a környezeti zajterheléstől függően 5-25 mm amplitúdójú, sok esetben kaotikusnak mondható, folyamatos mozgást végez. Megfelelő csillapító alkalmazása esetén (nálam hidraulikus csillapító) az inga alapállapotú lengése akár 2 - 3 mm alá is szorítható. Azonban ez nem mindig sikerül. Kiderült ugyanis, hogy a zárt mérőhelyiség ellenére, szeles időben az inga mozgása a kívánatos alapérték többszörösére is megnőhet. Ennek oka, hogy hatalmas légtömegek mozognak az épületen kívül, melyek erős gravitációs hatással vannak az ingára. Nem egy alkalommal azt is megfigyeltem, hogy bár szélcsendes idő volt, távoli légköri front érkezett, melynek hatása akár 100 km távolságból is megakadályozta az inga alapállapotú lengésének beállítását.

Az elmondottakból nyilvánvaló, hogy a fizikai inga stabil alapállapotú beállításáról nem lehet beszélni, ellentétben a Cavendish-féle torziós ingával. A gravitáció mérése tehát esetünkben csak egy közel állandó amplitúdójú, minimális ingalengés közben történhet. A gravitációs hatás az inga lengési amplitúdójának, és/vagy lengési fázisának megváltozásában jelentkezik. Ebből következik, hogy a fizikai ingával történő gravitációs mérések eredményeit csak statisztikus módszerekkel lehet meghatározni, ugyanazon méréseket sokszor kell elvégezni. Az évek során elvégzett különböző fizikai ingás mérések meglepő eredményekkel szolgáltak. Először is van egy lényeges különbség a Cavendish ingás mérés és a fizikai ingás gravitációs mérések között. Cavendish inga lényegesen érzékenyebb, de erős csillapítású mérés. Ez azt jelenti, hogy a Cavendish inga nyugalmi állapota viszonylag gyorsan beáll, tehát az „örökmozgó” jelenség gyakorlatilag elhanyagolható. A Cavendish ingák lengésideje minimum 20-30 perces tartományba esik, ami önmagában is egy *aluláteresztő frekvenciaszűrőt* jelent. Ha egy forrástömeget közelítünk a Cavendish ingához, az lassan elfordul, és ha ott hagyjuk a forrástömeget, az inga nem tér vissza a kiindulási helyzetébe. Ezt a jelenséget nevezzük a továbbiakban *sztatikus gravitációnak*, ezt a típusú gravitációt tapasztaljuk a föld felszínén, illetve ez a gravitáció tartja a Holdat, mesterséges holdakat a földkörüli pályán, a bolygókat a Nap körüli pályákon. A Cavendish inga tehát elsősorban a gravitációs erő kimutatására alkalmas eszköz.

A Bodonyi-féle gravitációs ingával a sztatikus gravitációt nem lehet kimutatni, mivel az érzékenysége lényegesen kisebb a Cavendish inga érzékenységénél. Viszont a fizikai inga nagy előnye a Cavendish ingával szemben, hogy relatíve kicsi a csillapítása, ezért relatíve kicsi az energia-disszipációja. A fizikai inga szüntelen mozgása eleve csökkenti a csillapítást, mivel nem léphet fel az ún. *tapadási súrlódás*.

Megállapítható az eddig elvégzett mérések alapján, hogy a Bodonyi inga a gravitációs energiát, energiacsere-t mér. A gravitációs energiacserevel kapcsolatos jelenségeket a továbbiakban *dinamikus gravitációnak* nevezem. A gravitációs energiacsere mérések számos új, eddig ismeretlen gravitációs jelenség felismerésére vezettek. Ma már nyugodtan kijelenthetem, hogy az új kísérletek a gravitáció egy sokkal gazdagabb, színesebb arcának megismerésére vezettek. Az alábbiakban felsorolom a dinamikus gravitációval kapcsolatos fontosabb jelenségeket, illetve megállapításokat:

- A dinamikus gravitáció csak mozgó tömegek között lép fel, kizárólag *nem-konzervatív* rendszerekben.
- A gravitációs energiacsere *vonzó és taszító erőhatás* formájában egyaránt jelentkezik.
- Egyenlő tömegek között gravitációs energiacsere nem jön létre.
- A dinamikus gravitáció matematikai leírásához egy új csatolási állandó bevezetésére van szükség, amely nagyságrendekkel nagyobb a sztatikus gravitáció G értékénél.

Mindazonáltal szükséges a felsorolt állításokhoz rövid kiegészítéseket tenni:

A mérési tapasztalatok szerint a gravitációs energiacsere csak abban az esetben lép fel, ha a *kölcsönható tömegek mozgásban vannak*, és legalább az egyik tömeg képes *energia-*

disszipálásra. Ez a fizikai inga esetében a súrlódási energiaveszteséget jelenti. Ekkor a mechanikai energia nem marad meg, ez a feltétel fizikai szakszóval kifejezve: a rendszer *nem-konzervatív*.

Ha keressük az analógiát a mozgó töltések mágneses hatásával, a dinamikus gravitáció jelenségét *gravitomágneses* hatásnak nevezhetnénk. Ha egy állandó mágnes közelében egy nyugvó töltés van, a mágnes és a töltés között nincs erőhatás. Ha a töltés mozog, akkor viszont fellép egy erőhatás a töltés és a mágnes között, ezt nevezik *Lorentz erőnek*. A jelenséget csak úgy tudjuk értelmezni, hogy mozgó töltés körül mágneses tér jön létre. Ez a jelenség kapcsolja össze az elektromos és mágneses jelenségeket, és ebben az értelemben beszélünk *elektromágnességről*. A mozgó töltés mágneses tere arányosan növekszik a töltés sebességével, és nem feltételez disszipációt. Dinamikus gravitációnál viszont nem érvényesül a sebességgel arányosan növekvő erő, és az erőhatás csak disszipáció esetén jut érvényre. A dinamikus gravitáció arányos a *disszipációs teljesítménnyel*, mely Fv -vel (erő szorozva sebességgel) egyenlő. Az Fv szorzat azonban nem lehet tetszőlegesen nagy. Dinamikus gravitációs mérés csak nagyon kis disszipációjú (minimális súrlódású) fizikai ingával lehetséges, amelynél mind az F gravitációs erő, mind az inga v sebessége (a nagy lengési idő miatt) nagyon kicsiny.

Összefoglalva, a dinamikus gravitáció jelensége nem analógja a mozgó töltések mágneses hatásának. A *gravitomágnesség* eredeti fogalma és elméleti létezése Einstein általános relativitáselméletéből következik, amely egy nagyon gyenge hatás, és ráadásul kísérleti úton eddig még nem sikerült meggyőzően kimutatni. (Kapcsolódó téma: a „Gravity Probe B” kísérletek, a részletek az Interneten bőséggel találhatóak.)

Bodonyi László a gravitációs méréseinél rendszeresen észlelte a taszító hatásokat is, de ezeket mérési hibának (külső zavarnak) tekintette. A feljavított méréstechnikájú fizikai ingánál egyértelműen kimutattam a taszító hatást. A vonzó és taszító hatás felváltva, egyenlő mértékben, periódikusan jelentkezik, ha a fizikai inga gerjesztése periódikus.

Bodonyi a fizikai ingája segítségével kimutatta, hogy a dinamikus gravitációs hatás azonos nagyságú forrástömeg és ingatömeg esetén drasztikusan lecsökken. Az elvégzett elméleti vizsgálatok szerint két, minden paraméterében azonos tömeg között sem sztatikus, sem dinamikus gravitációs erő nem léphet fel.

A mérési adatok feldolgozásából csakhamar kiderült, hogy a dinamikus gravitációs hatás durván mintegy tízezerszer erősebb a sztatikusnál. Ez a mai fizikában egy eddig ismeretlen, új fizikai jelenségre utal. Ezért a dinamikus gravitációs állandóra bevezettem a B jelölést, mely tehát a G sztatikus gravitációs állandónál négy nagyságrenddel nagyobb. (B az időközben elhunyt Bodonyi László nevére emlékeztet.) Az eddigi kutatások alapján ma már biztonsággal kijelenthetem, hogy a gravitációnak két megvalósulási formája létezik a természetben: a sztatikus (gyenge) gravitáció és a dinamikus (erős) gravitáció. Az Univerzum egészét semmiképpen sem tekinthetjük konzervatív rendszernek, tehát fejlődése során a gravitáció mindkét típusa hatott és hat ma is. Az Univerzum „sötét anyag” hiányára magyarázatot adhat például a fentiek alapján az erős gravitáció általános jelensége. A sötét anyag hiánya csak látszólagos probléma, feltételezése szükségtelenné válik az általánosított gravitáció elméletében. A fizikai ingával kapcsolatos további, nagyon érdekes megfigyeléseimről a következő dolgozatomban számolok be:

<http://www.geocities.com/fhunman/fizinga.pdf>

A 3.1. fényképen az ötméteres fizikai inga alsó része látható. Az inga jobb oldalán helyezkedik el a „hidraulikus csillapító”, egy nagyobb műanyag edény vízzel megtöltve. Az inga előtt látható a forrástömeg mozgatóására használt, csapágykerekű kiskocsi. Az inga bal oldalán, a padlón helyezkedik el az optikai mozgásérzékelő, a hozzáépített elektronikával. A méréshez tartozó real-time számítógép a szomszédos helyiségben helyezkedik el. Mérés közben az inga

helyiségben nem lehet tartózkodni, a főleg zavarok (légáramlás, gravitációs hatások) elkerülése céljából.



3.1. fénykép: Az „ötméteres” fizikai inga alsó szekciója

4. Elméleti megfontolások

A fizikai ingás mérések meglepő módon, a vártnál lényegesen erősebb gravitációs hatásokat mutattak. A newtoni (klasszikus) mechanika és gravitáció törvényei alapján a fizikai inga kitérése elméletileg tetszőleges pontossággal számítható, adott műszaki jellemzők és kezdeti feltételek esetén. A tapasztalatok szerint szobaméretű fizikai ingával elérhető maximális lengésidő 70-80 másodperc körüli érték. A lengésidő növelését vélhetően a műszaki és környezeti feltételek akadályozzák. Itt elsősorban a fizikai ingát tartó ékek súrlódására kell gondolni (ami az ékek pontos beállításától is erősen függ). Egy nagyméretű fizikai ingát vákuumkamrába helyezni drága és komplikált dolog lenne, tehát a laboratórium belső kaotikus légáramlata is akadály lehet a lengésidő növelésének. Kívánatos lett volna a fizikai ingát stabil hőmérsékletű, klimatizált helyiségben elhelyezni, de erre sem volt anyagi lehetőségem.

Az inga mérési érzékenysége a lengésidő négyzetével fordítottan arányosan növekszik, sajnos a 70-80 másodperces lengésidővel a fizikai inga érzékenysége messzi elmarad a torziós ingák érzékenységétől, melyeknél a szokásos lengésidő 10-20 percnél kezdődik.

Az igazán sikeres gravitációs kísérleteket az ötméteres (2.5 m karhosszúságú) fizikai ingával végeztem, melynek ingatömegei 24-24 kg-osak voltak (ólom téglákból összerakva). A fizikai inga tömegeinek maximális kitérése nem érte el a 20 mm-t a 2.5 méteres karhosszúság mellett, ezért az elméleti modellezésnél nem követünk el számottevő hibát, ha az ingát csillapított harmonikus oszcillátorral modellezzük. Az inga rugóállandóját egyszerűen kapjuk:

$$k = m^* \omega^2 = m^* (2\pi / T)^2 \quad (4.1)$$

ahol a lengésidő $T = 70$ s, az *effektív mozgó tömeg* $m^* = 2 \times 24 \text{ kg} + 3 \text{ kg} = 51 \text{ kg}$. Az alumínium ingakeret tömege nem haladja meg a hat kilogrammot, ebből az effektív mozgótömegnek 3 kg-t vehetünk. A rugóállandó számított értéke ebből:

$$k = 0.42 \text{ N / m} . \quad (4.2)$$

Az inga alsó, 24 kg-os tömegéhez egy távvezérelt kiskocsival mozgassunk be 12 kg ólomtömeget 10 cm-es tömegközépponti távolságba. A rúgótörvény alapján számítsuk ki az inga sztatikus x kitérését:

$$kx = GmM / r^2; \quad G = 6.6742 \times 10^{-11} \text{ SI} . \quad (4.3)$$

Az eredmény:

$$x = 4.678 \times 10^{-6} \text{ m} = 4.678 \text{ mikron} . \quad (4.4)$$

Sajnos az alig ötmikronos ingakitérés elvész a zajban. A probléma nyilván a fizikai inga relatív kis érzékenységevel kapcsolatos. Megállapítható, hogy a fizikai inga nem képes kimutatni a newtoni, sztatikus gravitációt.

Bodonyi László ingája viszont jelentős amplitúdójú (néhány milliméteres) kitéréseket mutatott, amit személyesen magam is láttam. Igaz, a nagy kitérés néhány perc után lecsillapodott az alapállapotú lengésbe. Ugyanez volt tapasztalható az általam később megépített fizikai ingáknál is. A jelenség értelmezése: a jelentős ingakitérés során az inga energiája megnőtt, amit aztán az inga súrlódása felemésztett. Számítsuk ki az ötméteres inga kitérését azzal a feltevéssel, hogy az ingához bemozdított forrástömeg gravitációs energiája teljes mértékben átadódik a fizikai ingának, mely kinetikus energia formájában jelenik meg. Az energia-egyenlet:

$$\frac{1}{2} m^* a^2 \omega^2 = G \frac{mM}{r} ; \quad (4.5)$$

amelyből

$$a = \frac{T}{\pi} \sqrt{\frac{GmM}{2rm^*}} . \quad (4.6)$$

Fontos kiemelni, hogy gravitációs energiaközlés esetén az inga amplitúdó-növekedése a T lengésidővel egyenesen arányos, és fordítottan arányos az r kölcsönhatási távolság négyzetgyökével. Ez utóbbi magyarázza az inga nagy zavarérzékenységét, ugyanis több méterről egy ember mozgása, vagy akár az udvaron szaladgáló kutya tömege is képes megzavarni a mérést. Az egyenletben használjuk fel a fentiekben megadott adatokat. Az ingalengés amplitúdó növekedése az energiaátadás pillanatában:

$$a = 9.673 \times 10^{-4} \text{ m} \cong 1 \text{ mm}; \quad a / x = 206.77 . \quad (4.7)$$

Az inga kitérése teljes energia-átadás esetén elméleti értékben 1 mm-es nagyságrendű, a sztatikus kitérésnek mintegy 200-szorosa. Az ötméteres fizikai inga esetén a kísérletek szerint a kitérés időnként az öt millimétert is jócskán meghaladta. Sajnos egyetlen méréssel a gravitációs eredetű kitérés nem határozható meg pontosan, az erős háttérzaj miatt. Kísérlet-sorozatokat kell elvégezni, és a mérési eredményeket átlagolni kell. Az inga egyes kitéréseinél egy-egy külső zajimpulzus jelentősen megnövelheti, vagy csökkentheti a kitérést, a zajimpulzus fázisától függően.

A mérési eredmények szerint a fizikai inga a gravitációs erő kimérésére alkalmatlan, de alkalmas a gravitációs energiacsere kimutatására. A sokszor elvégzett mérések szerint az inga kitérése még így is nagyobbak adódott, mint az elméleti érték. A kísérletek az elméleti értéknek legalább ötszörösét mutatták. Természetesen folyamatosan kerestem az elmélet és a kísérlet ellentmondásának okát, ami bizony nem volt egyszerű feladat, sokéves fejtörést is okozott. Mindig motoszkált bennem a kisördög, vajon amiket Bodonyival mértünk, az tényleg valóságos gravitációs hatás, vagy csupán mechanikus eredetű zaj. Az ötméteres fizikai ingám

zajszigetelésére ezért nagy gondot fordítottam, az inga az épület padlásán lett felfüggesztve, hogy a forrástömeg (kiskocsi) mozgásából eredő padlórezgéseket ne vegye fel. Az inga alumínium tartókerete az ólomtömegekkel együtt, valamint a forrástömegek elektromosan földeltek, tehát elektrosztatikus hatások nem jöhettek szóba.

A másik lényeges eltérés az elmélettől abban áll, hogy a forrástömeg és az ingatömeg nagyságát egymáshoz közelítve, a mérhető ingakitérés folyamatosan csökkent. Egyenlő tömegek esetén az inga dinamikus kitérése minimálisra csökkent, gyakorlatilag elveszett a zajban. Ez teljes ellentmondásban van a newtoni gravitációval.

A fizikai ingás kísérletek különlegessége a gravitációs taszítás megjelenése. A számítógépes mérések valós időben kinagyították a monitoron az inga mozgását, amin jól megfigyelhető volt átmeneti taszító hatás a forrástömeg közelítése esetén az inga alsó tömegéhez. A forrástömeg kihúzásakor pedig „normálisan” az ingára vonzóerő hatott. Ez abban az esetben fordult elő, amikor a forrástömeg kisebb volt az ingatömegnél. Ha a forrástömeg nagyobb volt az ingatömegnél, a forrástömeg ingához közelítése esetén vonzás, távolítása esetén taszítás lépett fel. A newtoni sztatikus gravitáció elmélete nem ismeri a gravitációs taszítást. Bodonyi László sem hitt a szemének, a gravitációs taszítást külső zavarnak tulajdonította.

A hetekig tartó mérések egyértelműen igazolták Bodonyi méréseit, a statisztikailag kiértékelt mérési adatok pontossága és megbízhatósága azonban nem volt kielégítő. A legnagyobb gond az volt, hogy az inga alapállapotú lengési amplitúdója, a nagy lengésidejével együtt nem állítható be mindig azonos, vagy közel azonos értékűre.

Tapasztalatom szerint az adott lengésidejűre beállított inga periódusa nem marad állandónak, meghatározóan a külső környezeti hatások miatt (hőmérsékletváltozás, épületen kívüli szélmozgás gravitációs hatása). Sajnálatos módon az inga ékcsapágái is „zajosak”, ami érthető a félmázsás ingateher miatt. Ez azt jelenti, hogy az inga lengése alkalmasszerűen, mérés közben váratlanul hirtelen felgyorsult, vagy lelassult. Emiatt sokszor el kell végezni egy-egy mérést, melyek közül nem mind sikeres.

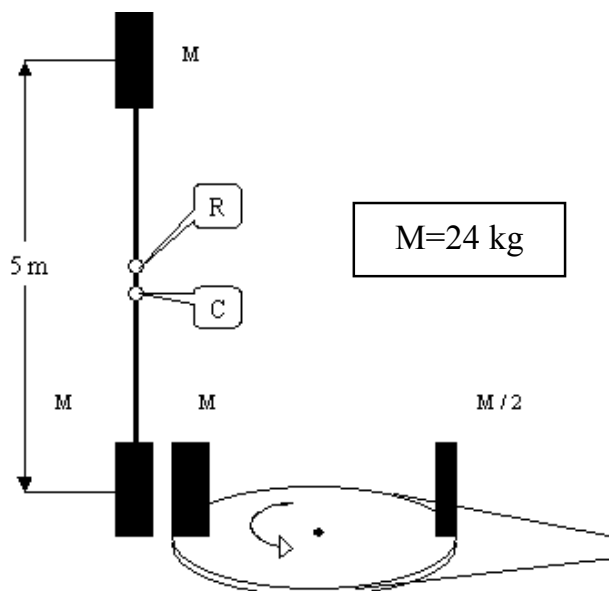
Az ingára időben különböző erősségű háttérzaj hat, a leggondosabb zajsűrítés ellenére. Az ok nyilvánvaló, a zajok fő eredete, *meglepő módon*, az épületen kívüli dinamikus gravitációs hatások, mint például a legkisebb szellő (mely nagy légtömeg mozgását jelenti), a nehéz gépjárművek közlekedése, akár nagyobb távolságból is. Amint az előzőekben megmutattam, a dinamikus gravitációs zaj terjedése a távolság négyzetgyökével fordítottan arányos, ami miatt a gravitációs zavar nagy távolságból is képes hatni az ingára.

Mindezekből következik, hogy az egyes egyedi mérések eredményei nehezen összehasonlíthatók, emiatt a statisztikai elemzés szórása is igen nagy. Úgy gondolom, hogy Eötvös Loránd fent idézett írása pontosan kifejezi a fizikai ingával történő mérés problémájának gyökerét: az inga ékekkel, vagy bármilyen megoldással történő felfüggesztése kiszámíthatatlan következményekkel jár, ami a mérések reprodukálhatóságát súlyosan érinti. Olyan más megoldást kellett keresnem, ami biztosítja a dinamikus gravitáció megbízható, reprodukálható mérését. A reménykeltő megoldás már a kezdetben is a fejemben volt, az ingát folyamatosan, periódikusan kell gerjeszteni. A kísérleti fizikában régóta sikeres mérési eljárás a gyenge kölcsönhatások kimutatására: a *rezonancia módszer*.

5. Rezonanciamérések

Már nagyon régi tapasztalatok szerint (pl. Galilei) a közönséges fonálinga lengési ideje jó közelítésben nem függ az inga kitérésétől (természetesen csak olyan ingamozgásnál,elynél az inga kitérése jóval kisebb az inga hosszánál). A nagy lengésidejű fizikai ingánál, még aránylag kis kitéréseknél is egyértelműen kimutatható, hogy az inga lengési ideje az amplitúdóval arányosan nő. A gravitációs méréseknél tehát az amplitúdó és fázis változása mellett még a lengésidej is változik, ami a mérési bizonytalanságot tovább növeli. A jelenséget *frekvenciamodulációnak* nevezik a híradástechnikában, ezt használom én is az említett jelenségre. Ha az inga súrlódási tényezője közelítőleg állandó, rezonancia gerjesztés esetén az inga egy

idő után stacionárius lengést fog végezni, egy aszimptotikusan beállt állandó amplitúdóval. Ezzel a frekvenciamodulációs jelenség kiküszöbölhető a mérésből. Rezonanciamérés esetén egy külső forrástömeg periodikus mozgása folyamatosan energiát ad át az ingának, mely az inga amplitúdóját egy határértékig megnöveli. A stacionárius amplitúdót a súrlódás (disszipáció) korlátozza. A mérés érzékenysége, megbízhatósága a rezonancia módszerrel várhatóan lényegesen megnövelhető. Ezen megfontolások alapján készítettem elő a gravitációs rezonanciamérést, melynek elrendezése az 5.1. ábrán látható:



5.1. ábra: A gravitációs rezonancia mérés vázlatja
R = lengési centrum, C = tömegközéppont, M = 24 kg (ólom)

A fizikai inga alsó, illetve felső tömege 24-24 kg-os ólomtéglá, a fizikai inga magassága 5 méter. Az inga alsó tömege előtt egy keményfából készült, fél méter sugarú körszital forog egy vibrációmentes körpályán. A körszitalt távolabbról egy parányi villanymotor forgatja vékony gumiszíj áttétellel, kb. 288 másodperces periódusidővel. A körszital átelles szélén két ólom forrástömeg, $M = 24$ kg és $M/2 = 12$ kg helyezkedik el, melyek felváltva gravitációs úton gerjesztik az ingát. Kb. 10-20 perc alatt az inga felveszi a közel állandó amplitúdójú (kb. 10 mm-es), $288 / 8 = 36$ másodperces periódusú lengését. Az inga a gerjesztési energiát a súrlódás miatt folyamatosan disszipálja. A disszipáció részben az ingát tartó két éken történik, a súrlódási energiavesztés jelentős hányadát pedig a hidraulikus csillapító viszi el, ami az ábrán az áttekinthetőség érdekében nincs feltüntetve. Ugyancsak hiányzik az ábráról egy méretes lágyvaslemez, mely a körszital és az inga között helyezkedik el, elektromos és mágneses árnyékolás céljából, amely egyúttal megakadályozza a forgó tömegek által előidézett gyenge légáramlás zavaró hatását is. A felső ingatömeg magas helyzete miatt a forrástömegek gravitációs hatása elhanyagolható a felső ingatömege. Gyakorlati szempontból fontos megemlíteni, hogy az inga maximális kitérést két „puha ütköző” korlátozza.

Az inga mozgását kontaktmentes, optikai elven működő detektor méri, a mozgás adatai számítógépre kerülnek. A számítógép valós időben kinagyítva megjeleníti az inga lengését, és egyben letárolja a mérést.

Az ismertetett mérési elrendezés és módszer a következő megfontolások alapján született. A mérés ideálisan elvégezhető lenne úgy, hogy a körszitalra csak egyetlen tömeget helyezünk el, és az inga periódusának megfelelő körszital fordulattal gerjesztjük az ingát (ez lenne a jól ismert rezonanciagerjesztés módszere). Elvégezzük a mérést az $M/2$, illetve az M nagyságú forrástömegeggyel, és ha Bodonyi mérései helyesek voltak, akkor az M tömeg esetén

minimális gerjesztést fogunk mérni. (Bodonyi László egyenlő tömegek esetén is tapasztalt csekély gravitációs hatást, ez a mérési elrendezés aszimmetriájának a következménye.)

A kísérletek szerint a rezonanciamérés fent leírt direkt módszere a fizikai ingánál kudarcot vallott (a Cavendish ingával végzett ilyen rezonanciamérések sikerre vezettek a szakirodalom szerint). Az elsődleges probléma abban jelentkezett, hogy a fizikai inga mérés előtti állapota, a legnagyobb igyekezetem ellenére, sohasem volt reprodukálható. A mérések ugyanis hosszú ideig tartanak, miközben változhat a laboratórium hőmérséklete, a Hold mozgása miatt az inga lengési középpontja lassan eltolódik, illetve a külső légmozgások (légköri frontok) is változhatnak. Tehát két, vagy több forrástömeggel történő, időben egymás utáni mérések sajnos nem igazán összehasonlíthatók. Ezért szerepel az 5.1. ábrán két forrástömeg a körasztalon. Ha a forrástömegek gravitációs hatását megbízhatóan akarjuk mérni, ezeket egyszerre (egy időben) kell mérnünk. Az 5.1. ábra szerinti megoldás további fontos előnye, hogy a két súlyos forrástömeg ellentétes oldalon terheli a forgó körasztalt, ami műszaki szempontból is előnyös (kisebb súrlódás, kisebb vibráció, stb.).

A direkt rezonanciaméréssel kapcsolatban további probléma merült fel: az inga „frekvenciamodulációja”, amit az előzőekben említettem. A körasztal fordulatszámának finom változtatásával könnyen elérhető, hogy az inga gravitációs rezonanciába kerül, és a lengés amplitúdója hirtelen növekedni kezd. Az amplitúdó növekedésével párhuzamosan az inga lengésideje számottevően megnő, miáltal a rezonancia megszűnik, az inga „kiesik a szinkronból”. Az inga emiatt lecsillapodik, majd újból létrejön a rezonancia. Az ilyen periódikus tranzienseket igyekeztem elkerülni, ezért úgy döntöttem, hogy korlátozom az inga maximális amplitúdóját. Erre elvileg több lehetőség adódik, például megnövelem az inga súrlódását a hidraulikus csillapítóval, vagy megnövelem a forrástömeg – ingatömeg távolságot. Ezek az egyszerű megoldások azonban megakadályozhatják a kezdeti rezonancia kialakulását. Végül egy jó megoldást találtam, a körasztal fordulatszámát lassan csökkentettem. Ezzel egyrészt csökkentettem az esetleges vibrációs eredetű zavarokat, másrészt az inga minden második, harmadik, stb. ütemben kapta a gerjesztést. Meglepő módon a mérőrendszer *önbeálló* lett az előzőekben leírt paraméterekkel: az inga periódusa nyolcad része lett a körasztal periódusának. Ez azt jelenti, hogy az inga minden negyedik periódusában kapott gerjesztést vagy az egyik, vagy a másik forrástömegtől.

Az inga mérés előkészítése eléggé időigényes munka. Az előkészítés során a legfontosabb feladat az inga lengésidejének beállítása a lehető legnagyobb értékre. Ez az inga kis segédtömegeinek változtatásával (súlypont beállítás), és az ékek beállításával történik. Ha az ékek rosszul vannak beállítva (nem párhuzamosak), akkor az inga súrlódik, a háttérzaj amplitúdója lecsökken és vele együtt a lengésidő is. Az ékek beállításakor tehát az amplitúdó és a lengésidő növekedését együttesen figyeljük a számítógép monitorán. A beállítás addig tart, amíg el nem érjük legalább a 60-70 másodperces lengésidő tartományt. Az inga mérés előtti beállítására általában minden mérés előtt szükség van, különösen, ha két mérés között napokig „pihen” az inga.

A hosszabb idejű gravitációs mérés további problémája, hogy a Hold mozgása miatt, és/vagy az ékek kopása miatt az ingalengések középpontja (súlypontja) lassan eltolódik. Ezt a problémát egy erős permanens mágnessel (hangszóró mágnessel) oldottam meg. Az inga aljára kis lágyvas lemezt erősítettem, ami alatt 1-2 cm távolságban helyezkedett el a mágnes. Optimális beállítás esetén a lengési középpontjának eltolódása minimálisra csökken.

Nagyon érdekes tapasztalat, hogy az ingára oldal irányban ható legkisebb erő azonnal lecsökkenti az inga periódusát. A viszonylag nagy lengésidő csak a teljesen szabad, kölcsönhatásmentes ingán állítható be. Hiába állítom be a maximális lengésidőt, a körasztal beindítása után az inga szinte azonnal „rátapad” a gerjesztésre, lengésideje észrevehetően lecsökken, azaz kinetikus energiája hirtelen megnő. Emiatt az elméletileg definiált, ideális rezonanciamérés megvalósítása nagy lengésidejű fizikai ingánál gyakorlatilag nem lehetséges. Ezért koráb-

ban a *kvázirezonancia* kifejezést használtam erre a mérésre, de valójában kényszerrezgés, *kényszerrezonancia* jön létre.

A rezonancia elven működő gravitációs kísérletem egyértelműen igazolta Bodonyi László sejtését, illetve a méréseit, miszerint azonos tömegek között a gravitáció elvileg megszűnik, a gyakorlatban egy kicsiny értékre csökken. Másképpen megfogalmazva, a dinamikus gravitáció a kölcsönható tömegek különbségével arányos. A mérés kiértékelésének részleteivel a következő fejezetben foglalkozom.

Az itt bemutatott gravitációs kényszerrezonancia mérést 1998 októberében végeztem, nem kis meglepetéssel, várakozáson felüli sikerrel. Ennek már több mint tíz éve, kívánatos lenne a mérések folytatása, lényegesen jobb laboratóriumi feltételek mellett, profi műszaki háttérrel. Ehhez keresek továbbra is támogatókat.

6. A dinamikus gravitáció törvénye

Newton gravitációs törvénye egy ideális természeti modellre érvényes maradéktalanul, éspedig a *heliocentrikus bolygómodellre*. A Naprendszer modelljében a Napot és a bolygókat pontszerűnek tekintjük, a bolygók súrlódásmentes (disszipáció-mentes) keringést végeznek a Nap körül az ismert Kepler pályákon. Ráadásul a Nap tömege mellett a bolygók tömegei messze elhanyagolhatóak. A fizikai ingával végzett kísérletekben az inga súrlódik az ékeken, a forrástömegeket pedig külső energia segítségével (a meghajtó villanymotorral) mozgatjuk az inga alsó tömege előtt, amelyek nagyságban összemérhetők az ingatömeggel. A kísérlet fizikai folyamata tehát lényegesen különbözik a Naprendszer „természetes” fizikai folyamatától. A Naprendszer gyakorlatilag egy zárt fizikai rendszer, külső energiát nem kap, és súrlódással sem kell számolnunk. A fizikai ingával végzett kísérletek meglepő eredményeiből egyértelmű a következtetés, a newtoni gravitációs erőtvény módosításra, általánosításra szorul. Ezért vezettem be a *dinamikus gravitáció* fogalmát, amelynek legfontosabb ismertető jele a kölcsönható tömegek legalább egyikének disszipációja. Röviden felsorolom a dinamikus gravitáció jellemzőit:

1. A kölcsönhatás csak disszipáció esetén lép fel.
2. A kölcsönhatás során a tömegek mozgásban vannak.
3. A kölcsönhatás során energiacsere történik.
4. A kölcsönhatás arányos a tömegek különbségével.
5. A kölcsönhatás vonzó és taszító erőt mutat.
6. A dinamikus gravitáció sokkal erősebb a sztatikusnál.

Az utóbbi állítást számszerűen is igazolni kell, ezért elvégeztem a rezonanciamérés matematikai szimulációját. A matematikai modellt természetesen a klasszikus newtoni mechanikára alapoztam. A gravitációs energiatranszport (4.5) feltételezett módja, miszerint *teljes mértékű energiaátadás* történik az ingának, az elméleti mechanika szerint hibás eljárás. A fizikai ingát jó közelítésben egy csillapított oszcillátorral lehet modellezni. Többek között *Landau* „Elméleti mechanikája” foglalkozik a küldő gerjesztésű oszcillátorok tárgyalásával. Newton második törvényét esetünkben a következő *inhomogén differenciálegyenlet* írja le:

$$\ddot{x}(t) + 2\lambda\dot{x}(t) + \omega^2 x(t) = f(t), \quad (6.1)$$

ahol $f(t) = F(t) / m^*$ a gerjesztő erősűrűség, m^* az inga effektív mozgó tömege, λ az inga csillapítása, ω pedig az inga sajátfrekvenciája. A szimuláció azt jelenti, hogy a gerjesztő erősűrűséget úgy választjuk meg, hogy a (6.1) egyenlet $x(t)$ megoldása minél jobban megegyezzen a kvázirezonancia mérések számítógépen rögzített ingamozgásával. A szimuláció jóságát *korrelációs számítás*al tudjuk ellenőrizni. A gerjesztő erősűrűség szimulációjánál a kiinduló pont

Newton gravitációs törvénye, de ezt ki kell egészítenünk két fontos dologgal: az egyenlő tömegek esetén tapasztalható erőhatás megszűnésével, valamint a vonzás-taszítás jelenségével. További tapasztalatok szerint az ingának átadott energia a forrástömegek *mozgatósi sebességétől is függött*, azaz túl lassú, illetve főleg túl gyors mozgás esetén az ingának átadott energia már nem volt mérhető. A jelenség teljesen analóg a villamos áramforrások terhelésével. Az energiaátadás a generátor és a fogyasztó között csak abban az esetben maximális, ha a fogyasztó belső ellenállása megegyezik a generátor belső ellenállásával. Átvitt értelemben ezért beszélhetünk *gravitációs impedanciáról* is, mely a gravitáció esetén is erősen frekvenciafüggő.

A (6.1) differenciálegyenlet numerikus megoldása ilyen általános esetben csak számítógéppel lehetséges, az $x(t)$ szimulált megoldást a mérési idősorához hasonlóan a beállított időléptékben kell megadni. A mai számítógépek másodpercek alatt kiszámítják a szimulált ingamozgást. A legtöbb időt a gerjesztő erő (erősűrűség) alakjának „próbálgatása” vesz igénybe, ez tehát a valóságos fizikai erő közelítése, szimulációja. A (6.1) differenciálegyenlet számítógépes megoldási módszerével egy külön munkámban foglalkozom:

<http://www.geocities.com/fhunman/matek.pdf>

A dinamikus gravitáció erőtvényének meghatározása első gondolatra nagyon egyszerű feladatnak tűnik, deriváljuk kétszer idő szerint a mért ingamozgás idősorát, és közvetlenül megkapjuk a gravitációs erőt. A gyakorlatban ez az egyszerű út bizonyíthatóan járhatatlan. Ugyanis a nagy lengésidejű fizikai inga mozgása, lényegi működésének következtében, erősen zavarokkal terhelt. Ezt a problémát elvi okból a leggondosabb kísérleti kivitelezésnél sem lehet elkerülni. Matematikai úton meg tudjuk határozni az ingára ható gravitációs erő időbeli függését, de ebből még nem tudunk egyértelműen következtetni a gravitációs erő távolság, illetve sebesség függésére. Ehhez az ingamozgáson kívül pontosan kellene mérni a forrástömegek időbeli helyzetét és sebességét is, de erre nem volt lehetőségem a szerény műszaki feltételek mellett. De ha mégis, optimális esetben, minden szükséges mérési adat rendelkezésre állna, akkor sem lehet automatikusan megadni az általánosított gravitációs törvényt. Ehhez ugyanis további elméleti megfontolások (megszorítások) is szükségesek (például maga a „tisza” erőtvény csak konzervatív lehet, a távolság négyzetével fordítottan arányos, gömb-szimmetrikus, határesetben a sztatikus Newton törvényre vezet, stb.)

A rezonancia mérés kiértékelését első lépésben a mért ingamozgás idősorának *Fourier analízisével* végeztem. Meghatároztam Fourier transzformációval a kísérlethez tartozó jellemző, domináns frekvenciákat, és a megfelelő periódusidőket. A Fourier analízis egyértelműen igazolta, hogy az ingára ható gravitációs erő domináns periódusa a forgó körasztal periódusidejével egyezik meg (288 másodperc). Ez alátámasztotta Bodonyi méréseit, miszerint a körasztalon lévő két tömeg közül csak az egyik (a 12 kg-os) tömegnek van meghatározó hatása az ingára. A 24 kg-os forrástömeg gravitációs hatása a 24 kg-os ingatömegekre mintegy nyolcadrésze a 12 kg-os tömeg hatásának, ugyanis a 144 másodperces periódus Fourier intenzitása kb. ennyivel kisebbnek adódott a 288 másodperchez tartozó Fourier intenzitással összehasonlítva.

A sikeres szimulációs eljárás szerint a dinamikus gravitáció erőtvénye nem adható meg kompakt alakban, amihez kényelmesen hozzászoktunk Newton gravitációs törvényénél, vagy az elektrosztatika Coulomb törvényénél. A dinamikus gravitáció kizárólag csak a disszipációs folyamattal együtt lép fel, emiatt az erőtvény helyett a gravitációs disszipáció teljesítményére tudunk egyenletet felírni:

$$P_{dis} = \mathbf{F}_g \mathbf{v}_g = \mathbf{F}_i \mathbf{v}_i \quad (6.2)$$

Itt $F_i v_i$ az inga disszipációs teljesítménye, $F_g v_g$ a forrástömeg gravitációs teljesítménye. A dinamikus gravitációs erő képlete ebben az egyenletben:

$$\mathbf{F}_g = \pm B \frac{m(M-m)}{r^2} \times \frac{\mathbf{r}}{r} \quad (6.3)$$

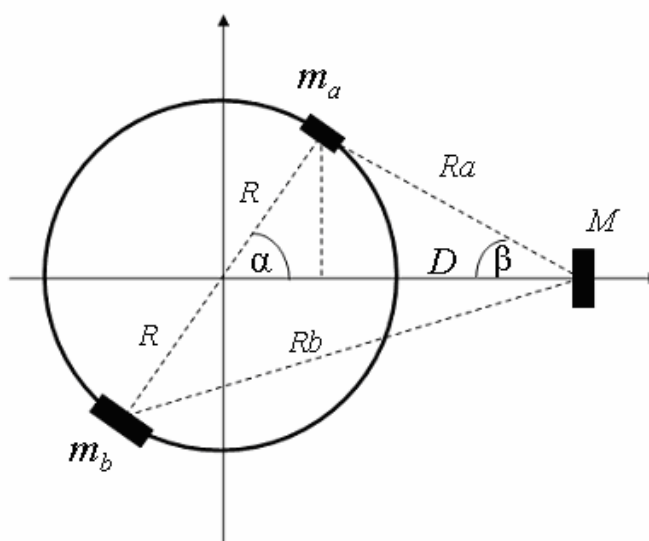
ahol B a dinamikus gravitáció erősségét meghatározó állandó. Az \mathbf{r} vektor az m forrástömeget köti össze az M ingatömeggel, és az ingatömegre mutat. A képlet előjelét a forrástömeg ingatömeghez viszonyított nagysága és sebességvektora határozza meg, a fentiekben ismertetett módon a gravitációs erő lehet vonzó, illetve taszító. Egyenlő nagyságú forrástömeg és ingatömeg között sem vonzás, sem taszítás nem lép fel, ezt fejezi ki az elméleti képlet. A gyakorlatban a két tömeg teljes szimmetriája nem valósítható meg, azaz egyenlő tömegek esetén is marad egy csekély mértékű vonzó, vagy taszító gravitációs erő.

A rezonanciamérés során kialakuló stacionárius amplitúdó nagyságát a B dinamikus gravitációs állandó, valamint a súrlódási tényező (a disszipáció mértéke) határozza meg.

Fontos nyomatékosítanom, hogy a (6.3) erőtvény önállóan nem értelmezhető, csak a (6.2) disszipációs egyenlettel együtt. Disszipáció hiányában a dinamikus gravitáció nem lép fel. Fontos továbbá, hogy a disszipáció csak szükséges, de nem elégséges feltétele a dinamikus gravitáció létrejöttének. Dinamikus gravitációt eddig csak fizikai ingánál lehetett kimutatni, a részletekkel a honlapom elméleti gravitációs anyagaimban foglalkozom.

A továbbiakban a dinamikus gravitációt röviden BS gravitációnak is nevezem (Bodonyi-Sarkadi gravitáció).

7. A rezonanciamérés szimulációja



7.1. ábra: Az ingakísérlet szimulációs vázlata

A mérés szimulációjához a 7.1. ábra jelöléseit használtam. Az ábrán M a fizikai inga alsó tömegét jelöli, m_a a 12 kg-os, m_b a 24 kg-os forrástömeget jelöli, melyek az $R = 0.5$ méter sugarú körpályán mozognak. Az M ingatömeg csak az x -tengely mentén mozoghat, ezért a gerjesztő gravitációs erő x -tengely irányú komponensével kell számolni:

$$P_{dis} = F_{g,x} v_{g,x} = F_{i,x} v_{i,x}, \quad (7.1)$$

Az inga disszipációs teljesítményét egy átlagos értékkel vettem figyelembe:

$$P_{dis} = F_{i,x} v_{i,x} = F_{i,x} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v_i^2} = F_{i,x} \frac{a_i \omega_i}{\sqrt{2}}, \quad (7.2)$$

ahol értelemszerűen az inga stacionárius lengéséhez tartozó ingafrekvenciával és inga amplitúdóval számoltam. A mérés szerint az inga átlagos sebessége mintegy kilencede a forrástömegek sebességének, ezért az ingasebesség irányfüggése elhanyagolható. Mindezek alapján az m_a forrástömeg által az ingára ható dinamikus gravitációs erő:

$$F_{i,x} = F_{g,x} \frac{v_{g,x}}{v_{i,x}} = B \frac{m_a (M - m_a) \mathbf{r}}{r^2} \frac{\mathbf{r}}{r} \Big|_x \times \frac{v_{g,x}}{v_{i,x}} \quad (7.3)$$

Ehhez hozzá kell adnunk az m_b tömeg gravitációs hatását is, mely a kísérletek szerint lényegesen kisebb m_a hatásánál. A mérés aszimmetriája miatt az m_b tömegnek is van gravitációs hatása, amit egy illesztési paraméterrel vettem figyelembe. A (7.3) képletben az m_a gerjesztési sebessége a 7.1. rajz szerint:

$$v_{g,x} = R \omega_g \sin \alpha \quad (7.4)$$

ahol ω_g a körszital fordulatszám a körfrekvenciával kifejezve. Összegezve, az m_a tömeg dinamikus erőhatása az ingára:

$$F_{i,x} = F_{g,x} \frac{v_{g,x}}{v_{i,x}} = B \frac{m_a (M - m_a) \mathbf{r}}{r^2} \frac{\mathbf{r}}{r} \Big|_x \times \frac{\sqrt{2} R \omega_g \sin \alpha}{a_i \omega_i} \quad (7.5)$$

ahol a mérés adatainak ismeretében:

$$\frac{\sqrt{2} R \omega_g}{a_i \omega_i} \cong 9. \quad (7.6)$$

A szinuszos szorzótényező miatt az ingára periódikusan vonzó-taszító erő hat, a forrástömegek ingatömeghez viszonyított nagyságának és a sebességük irányának függvényében.

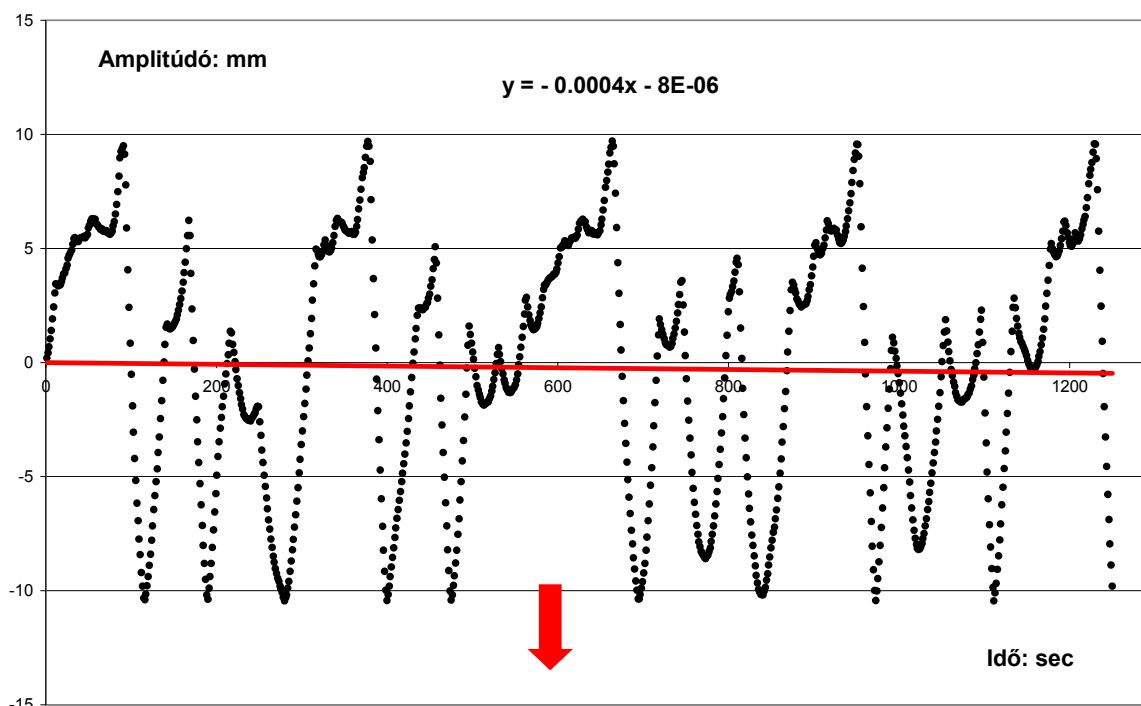
A szimulációs modellben a fentiek szerint két fontos illesztési paraméter van: a B dinamikus gravitációs állandó és az inga súrlódási tényezője. A kísérleti ingamozgás alakjára még a 24 kg-os forrástömeg aszimmetriából következő gravitációja is hatással van. Az inga súrlódási tényezőjének nagyságrendje a különböző mérésekből megbecsülhető:

$$\lambda = 1 / \tau \cong 1 / (200 - 500) s, \quad (7.7)$$

mely a gerjesztett ingamozgás periódusidejének kb. tízszerese. A mérések szerint az inga csillapítása nagy lengésidők esetén meglepően kicsinek mondható. Ennek oka, hogy az inga csekély mértékű alapállapotú mozgási energiáját az állandóan meglévő külső zavarforrások folyamatosan pótolják. Az erős gravitációs állandó nagyságrendje a különböző mérések szerint:

$$B \cong (5 - 10) \times 10^3 \times G. \quad (7.8)$$

Az 5.1. ábra szerinti rezonanciamérés (kényszer rezonanciamérés) eredményét a következő grafikon mutatja:



7.2. ábra: A megvalósított rezonanciamérés egy szakasza

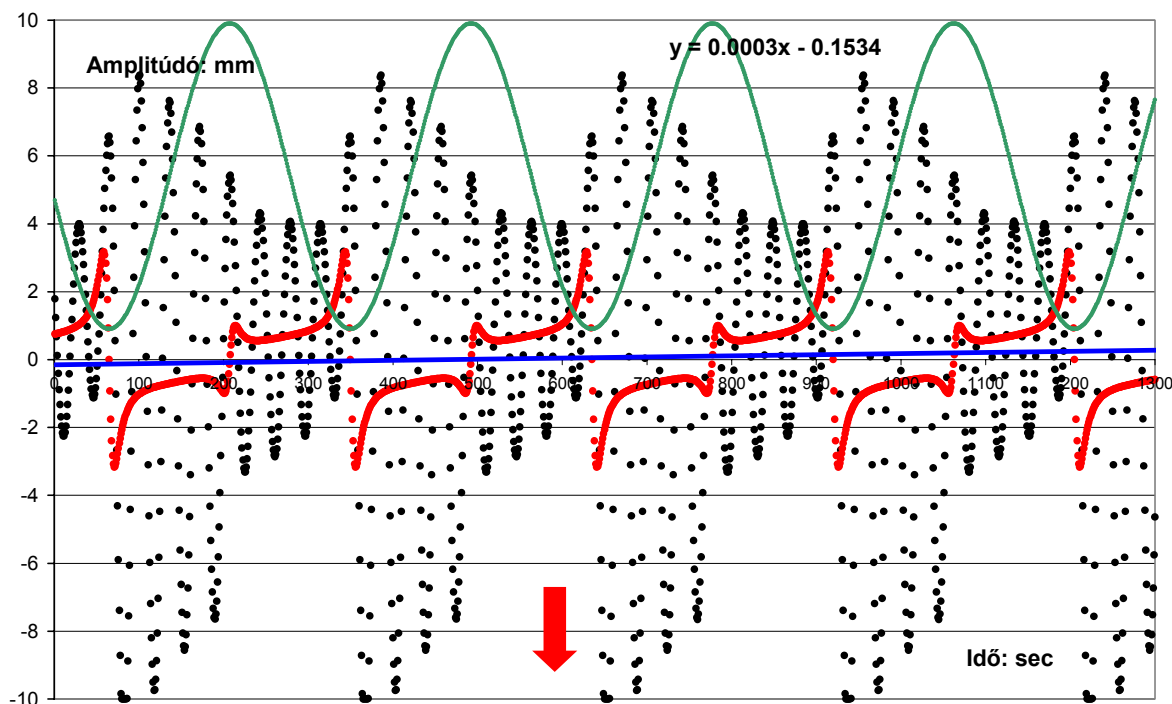
A mérés során kialakult stacionárius ingalengés jól mutatja a körasztal 288 másodperces periódusát, azaz ránézésre igaz Bodonyi eredménye, a körasztalon mozgó forrástömegek közül csak az egyik tömeg (a 12 kg-os) fejt ki domináns erőhatást az ingára. A vonzóerő irányát a piros nyíl mutatja („déli irányban”). Az északi irányú lengési csúcsok a gravitáció taszító hatását egyértelműen mutatják. Az inga alaplengése gerjesztés nélkül hozzávetőlegesen 3-4 mm volt, köszönhetően a hidraulikus csillapításnak. Részben a külső zavarok, de leginkább az inga „frekvenciamodulációja” miatt a mérés csak közelítőleg tekinthető periódikusnak.

Az ingalengések geometriai középvonalát (súlyvonalát) az időtengelyre illeszkedő piros egyenes jelzi. Az ingalengés súlyvonalának eltolódása 1200 másodperc = 20 perc alatt mindössze néhány tizedmilliméter. Ennek oka lehet a Hold mozgása, illetve az esetleges, maximum 1-2 °C-fokos környezeti hőmérsékletváltozás.

Az ingamozgás számítógépes szimulációját a dinamikus gravitáció sebességfüggésének, illetve tömegarány függésének fentiekben megadott képleteivel végeztem el. A szimuláció eredménye a 7.3. ábrán látható. Az ábrán fekete pontok jelölik az inga mozgását az elméleti modell szerint. A piros görbe mutatja arányosan az ingára ható gravitációs erők eredőjét, melyen látható, hogy az erő periódikusan vonzó, illetve taszító. A vonzó periódusban az erő előjele negatív, a piros pontsor az ábrán ekkor a negatív tartományban halad. A domináns erőt a 12 kg-os forrástömeg fejt ki. Az ingatömeggel egyenlő, 24 kg-os forrástömeg gravitációs erejét a mért ingamozgás lefutása alapján illesztéssel határoztam meg, ez a domináns erőnek kb. 30 százaléka. A mérés szerint a 24 kg-os tömeg nagyobbban adódik az ingatömegnél, azaz a 24 kg-os tömeg az ingatömeghez közeledve vonzó hatást fejt ki, szemben a 12 kg-os tömeggel. Ennek oka az, hogy a gravitációs erő nagyságát nemcsak a tömeg, de a sebesség is meghatározza: a 24 kg-os forrástömeg sebessége kilencszerese a 24 kg-os ingatömeg sebességének.

A zöld pontsor a 12 kg-os forrástömeg távolságát mutatja az ingatömegtől, természetesen arányosan. A forrástömeg legközelebbi távolsága az ingatömeghez 10 cm, az inga lengéséből adódó +/-10 mm-es távolságingadozás természetesen elhanyagolható. A forrástömegek legnagyobb távolsága az alsó ingatömegtől értelem szerűen 1.1 méter.

Az ingalengés súlyvonalát a kék egyenes jelöli, ami az ingamozgásra illesztett egyenes a legkisebb négyzetek módszerével. Az egyenes illesztése EXCEL programmal történt, a súlyvonal egyenlete az ábrán felül látható.



7.3. ábra: A rezonanciamérés számítógépes szimulációja

A szimulált ingamozgás amplitúdóját a dinamikus (erős) gravitációs állandó és a súrlódási tényező határozza meg. A modellszámítás illesztett paramétereit:

$$B = 5.873...10^{-7} SI; \quad (B / G \cong 8300) \quad (7.9)$$

$$1/\lambda = 300 s$$

A dinamikus gravitációs állandó hozzávetőlegesen *nyolcezerszer* erősebb, mint a közismert newtoni gravitációs állandó. A szimulált ingamozgás alakjára a λ súrlódási tényező és a 24 kg-os tömeg nem-zérus maradék gravitációja van hatással, amint említettem, ez utóbbit a 12 kg-os tömeg gravitációs hatásának 30 százalékával vettem figyelembe. A dinamikus gravitáció értékét korábban elméleti úton határoztam meg:

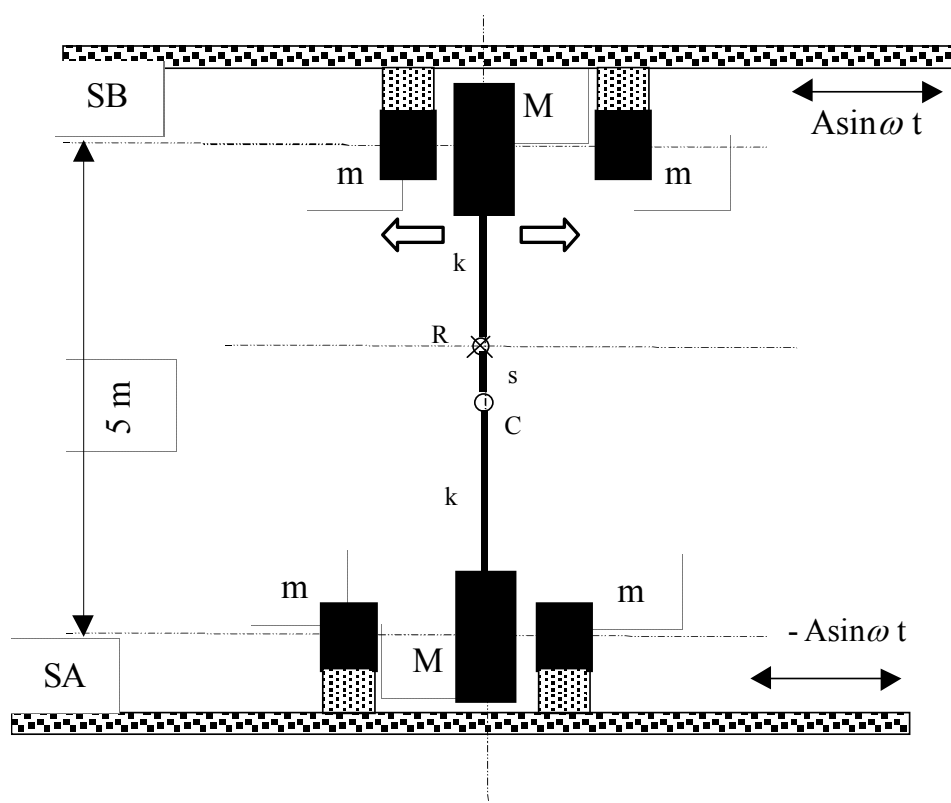
$$B = 2Q^{10} SI; \quad (G \cong 2Q^{16} SI; \quad Q \cong 2/9) \quad (7.10)$$

A méréshez egy „ösrégi” A/D konvertert használtam, melynek leggyorsabb mintavételi ideje 1.32 másodperc volt. A szimuláció „mintavételi idejét” egy másodpercnél választottam. A szimuláció számítógépes programja a dolgozat végén, a Függelékben található.

8. Javaslat a dinamikus gravitációs kísérletek továbbfejlesztésére

A gravitációs rezonanciakísérletek figyelemreméltó eredményei és az elméleti szimuláció sikere a dinamikus gravitáció további, részletes tanulmányozására ösztönöz mindenkit, aki a gravitációs jelenségek mélyebb megismerésére törekszik. A kísérletek eredményei és az elméleti következtetések nemzetközi érdeklődésre számíthatnak. Célszerű lenne tehát kísérleteket jól felszerelt laboratóriumokban, egymástól függetlenül megismételni, a kísérleti és elméleti eredményeinket tovább ellenőrizni és pontosítani. Ehhez várom a hivatalos kutatóintézetek együttműködését, de akár magánszemélyek támogatását is.

A kísérletet más mérési módszerekkel és mérési elrendezésekkel is célszerű lenne elvégezni, a pontosabb és megbízhatóbb eredmények érdekében. Egy hatásosabb mérési elrendezést mutat például a 8.1. ábra, ami még egyelőre csak tervezési szinten létezik. Az újabb mérés alkalmasabbnak tűnik a dinamikus gravitáció vonzó-taszító tulajdonságának vizsgálatára, mint amit eddig sikerült megvalósítanom. Ráadásul ez a mérési elrendezés vélhetően lényegesen megnöveli a mérés jel/zaj viszonyát, a dinamikus gravitáció javasolt törvényét ezzel a méréssel pontosabban lehetne ellenőrizni.



8.1. ábra: Fizikai inga gravitációs gerjesztése négy forrástömeeggel

Függelék

A szimulációs modell BASIC nyelvű programjának listája:

REM GSIM.BAS 2009 MAJUS 09. SARKADI DEZSO
REM SI RENDSZER: POWER BASIC!!!
REM DINAMIKUS GRAVITACIO
REM FIZIKAI INGA PERIODIKUS GERJESZTESE
REM KVAZIREZONANCIA MERES
REM NUMERIKUS SZIMULACIO: ELMELETI MODELL
REM F(nT) = GERJESZTO ERO

```

REM Y(nT) = INGA MOZGASA (mm)
REM =====
CLS: PRINT: PRINT "===== GSIM.BAS ====="
PRINT: DEFDBL A-Z: DEFINT J,N
PI = 4 * ATN(1)
REM INPUT =====
NK = 2500          REM SZAMITOTT ADATOK SZAMA
NM = 1500          REM MENTETT ADATOK SZAMA (STACIONER)
T = 1              REM MINTAVETELI IDO
Q0 = 2 / 9         REM Q NEVLEGES
GQ = 2 * Q0^16     REM ELM. GRAV. ALLANDO
B0 = 2 * Q0^10     REM EROS GRAV. ALLANDO
TG = 285           REM KORASZTAL PERIODUSA
OG = 2 * PI / TG   REM KORASZTAL SZOGSEBESSEG
R = .5             REM KORASZTAL SUGARA
VG = R * OG        REM GERJESZTES SEBESSEGE
TI = TG / 8        REM INGA LENGESIDO
OI = 2 * PI / TI   REM INGA SZOGSEBESSEG
AI = .01           REM INGA AMPLITUDO
VI = AI * OI / SQR(2) REM INGA ATLAGOS SEBESSEGE
D = .1             REM ASZTAL-INGA TAVOLSAG
MM = 52            REM INGA EFFEKTIV TOMEGE
MC = 24            REM INGA ALSO TOMEGE
MA = 12            REM FORRASTOMEG = A
MB = 24            REM FORRASTOMEG = B
LL = 1 / 300       REM CSILLAPITASI TENYEZO
REM FIX DATA =====
NN = NK + NM: DIM Y(NN), FA(NN), FB(NN), F(NN), POZ(NN)
AMIN = 0: AMAX = 0: CC = B0 / MM: VH = VG / VI
HA = MA * (MC - MA): HB = .3 * HA
REM KONVOLUCIOS INTEGRAL KONSTANSOK:
X0 = 0: Y0 = 0          REM Z(0) = 0 KEZDETI FELTETEL
EL = EXP(- LL * T): CT = OI * T
U = EL * COS(CT): V = EL * SIN(CT)
REM MAIN =====
REM GERJESZTO EROK EREDOJENEK SZAMITASA:
FOR J = 1 TO NN
AF = J * T * OG: BF = AF - PI
REM SIN ALFA, COS ALFA:
SA = SIN(AF): SB = SIN(BF)
CA = COS(AF): CB = COS(BF)
REM TAVOLSAG NEGYZETEK:
XA = R + D - R * CA: XB = R + D - R * CB
RA2 = XA^2 + (R * SA)^2: RB2 = XB^2 + (R * SB)^2
REM MA - INGA TAVOLSAG:
POZ(J) = 9 * XA
REM COS BETA:
PA = XA / SQR(RA2): PB = XB / SQR(RB2)
REM A, B TOMEK EROHATASA AZ INGARA:
FA(J) = - CC * HA * PA * SA / RA2
FB(J) = CC * HB * PB * SB / RB2

```



```

F(J) = VH * (FA(J) + FB(J))
REM INGA MOZGAS SZAMITASA (KONVOLUCIO):
XK = X0 * U - Y0 * V + T * F(J) / OI
YK = X0 * V + Y0 * U: X0 = XK: Y0 = YK
REM AMPLITUDO (mm): PUHA FEKEZES:
Y(J) = 1000 * YK
IF Y(J) < -10 THEN Y(J) = -10
NEXT J
REM END MAIN =====
REM ERO SKALAZAS A KIRAJZOLASHOZ:
LS = 3E4
FOR J = NK + 1 TO NN: F(J) = LS * F(J)
REM MAX. AMPLITUDO (mm):
YM = Y(J)
IF YM > AMAX THEN AMAX = YM
IF YM < AMIN THEN AMIN = YM
NEXT J: AC = (AMAX - AMIN) / 2
REM OUTPUT =====
PRINT "SZAMITOTT AMPLITUDO(mm) ="; AC
PRINT "KISERLETI AMPLITUDO = 10 mm"
PRINT
PRINT "B0 ="; B0; "B0 / GQ ="; B0 / GQ
PRINT
PRINT "VG ="; VG; "VG-QEXP ="; LOG(VG) / LOG(Q0)
PRINT "VI ="; VI; "VG / VI ="; VH
PRINT "TG ="; TG; "TI ="; TI
PRINT "CSILLAPITASI TENYEZO:"
PRINT "LL ="; LL, "1/LL ="; 1 / LL
REM OUTPUT FILES =====
OPEN "GSIM.TXT" FOR OUTPUT AS#1
PRINT#1, "SZAMITOTT AMPLITUDO(mm) ="; AC
PRINT#1, "KISERLETI AMPLITUDO = 10 mm"
PRINT#1,
PRINT#1, "B0 ="; B0; "B0 / GQ ="; B0 / GQ
PRINT#1,
PRINT#1, "VG ="; VG; "VG-QEXP ="; LOG(VG) / LOG(Q0)
PRINT#1, "VI ="; VI; "VG / VI ="; VH
PRINT#1, "TG ="; TG; "TI ="; TI
PRINT#1, "CSILLAPITASI TENYEZO:"
PRINT#1, "LL ="; LL, "1/LL ="; 1 / LL
CLOSE#1
OPEN "GSIM.PPP" FOR OUTPUT AS#1
FOR J = NK + 1 TO NN: TT = (J - NK) * T
PRINT#1, TT, ";", Y(J), ";", F(J), ";", POZ(J)
NEXT: CLOSE#1
PRINT: PRINT "MENTVE!"
PRINT "KILEPES? >> 1 = IGEN"
PRINT: INPUT "IGEN? = ", SW
IF SW > 0 THEN END

```

□