

A GEODETIKUS PRECESSZIÓ

Egy új űrkísérlet a relativitáselmélet ellenőrzésére.

A NASA több mint negyven éven keresztül készítette elő azt az űrkísérletét, amellyel az általános relativitáselméletnek a *forgómozgásra* vonatkozó meglepő következtetéseit lehet ellenőrizni. Miről is van itt szó?

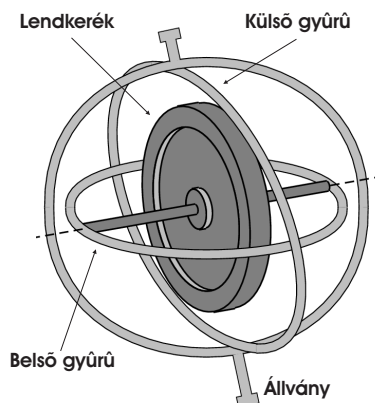
Tegyük fel, hogy egy erősen elnyújtott szivar alakú űrhajó kering a Föld körül poláris körpályán. A "poláris" jelző arra utal, hogy a pálya áthalad a földrajzi pólusok fölött és merőlegesen metszi a szélességi köröket.

Keringés közben az űrhajók általában forognak. Arról, hogy tényleg forognak-e, két módon is meggyőződhetünk: A Földről történő külső, és az űrhajón belül végezhető belső megfigyeléssel.

A határozottság kedvéért tegyük fel, hogy űrhajónk hossz tengelye a körpálya síkjában fekszik, és az űrhajó forog ebben a síkban. Akkor ha például a pólusokon állva alkalmas optikai eszközzel megmérjük az űrhajó látószögét, az egymás utáni áthaladások alkalmával különböző szög alatt fogjuk látni. Az adott helyen megfigyelt látószög változása biztos jele annak, hogy az űrhajó a keringése közben még forog is.

Az űrhajó forgásáról azonban maguk az űrhajósok is meggyőződhetnek még egy ablak nélküli űrhajóban is, amelyből nincs kitekintés se a Földre, se a csillagos égre. Ehhez csupán az szükséges, hogy legyenek giroszkópjaik, amelyeknek az állványa hozzá van rögzítve az űrkabinhoz.

Mint ismeretes, a giroszkóp egy olyan gyorsan forgó lendkerék, amelynek forgástengelye szabadon be tud állni a tér bármely irányába. Ezt a tengely speciális, u.n. kardánfelfüggesztése teszi lehetővé. A giroszkóp lendkerékének impulzusnyomatéka (perdülete) a forgástengely irányába mutat, és az impulzusnyomaték megmaradásának következtében a tengely megőrzi a térbeli irányát, akárhogy mozogjon is az űrhajó a hozzá rögzített giroszkóp állvánnyal együtt. Ezért amikor az űrhajó forog, az űrhajósok ezt nemcsak abból veszik észre, hogy esetleg felkavarodik a gyomruk, hanem abból is, hogy a giroszkópjaik tengelye nem marad állandó helyzetben az űrkabinhoz képest, hanem egy olyan kúppalást mentén precesszál, amelynek szimmetriatengelye az űrhajó forgástengelye.



A giroszkóp szerkezeti elemei

Vajon lehetséges-e, hogy az űrhajó a külső és a belső nézőpontból vizsgálva ne ugyanabban a forgásállapotban legyen, azaz például az egyik nézőpontból forogjon, a másiktól viszont legyen forgásmentes? Tisztán logikai szempontból ezt nyilván lehetségesnek kell tekintenünk, hiszen a külső és a belső forgásmentesség két egymástól logikailag teljesen független fogalom. A newtoni fizika szerint azonban a kérdésre mégis határozott nemmel kell válaszolnunk: Ha az űrhajó az egyik nézőpontból vizsgálva forog, a másiktól is forognia kell, ha pedig az egyik nézőpontból forgásmentes, a másiktól nézve sem foroghat.

Az indoklás a következő: Tekintsünk el a Föld keringésétől a Nap körül; ezt nyugodtan megtehetjük, ha megfigyeléseinket egy évnél lényegesen rövidebb időtartamra korlátozzuk. A Föld középpontja ekkor egyenesvonalú egyenletes mozgást végez, és ha hozzá, mint origóhoz, gondolatban olyan XYZ koordináta-rendszert rögzítünk, amely maga nem forog, a koordináta-rendszerünk inerciarendszert határoz meg. A Föld természetesen forog ezekhez a koordináta tengelyekhez képest, a forgástengely iránya és az űrhajók pályasíkja azonban állandó helyzetű.

Akármilyen mozgást végezzen is egy giroszkóp állványzata, az impulzusmomentum megmaradási tétele miatt a newtoni fizika szerint a lendkerék tengelyének az iránya szigorúan állandó marad az XYZ inerciarendszerhez képest. Ezért az űrhajóban egy általános helyzetű giroszkóp tengelye csak akkor mutathat folyamatosan az űrkabin falának ugyanarra a pontjára, ha az űrhajó maga is megtartja az orientációját az XYZ tengelyekhez viszonyítva. De ha így van, akkor egy adott szélességi kör vagy a pólusok fölött az űrhajót minden áthaladásnál ugyanolyan látószögben kell látnunk.

A newtoni fizika szerint tehát valójában nem létezik két különböző forgásmentesség (és forgás). Csak az számít, hogy az űrhajó az XYZ inerciarendszerhez képest forog-e vagy sem. Ha forog, akkor a Földről nézve változó látószöget¹, az űrhajóban pedig forgó giroszkópokat látunk. Ha nem forog, akkor a Földről nézve a látószög, az űrhajóban pedig a giroszkópok tengelyiránya állandó.

A kétféle forgásmentesség azonban ettől még logikailag független egymástól, és ez a tény nem maradhatott tovább rejtve, amikor a newtoni gravitációelméletet felváltotta az általános relativitáselmélet. Ez az elmélet teljesen új megvilágításba helyezte a gravitációt, amelyet nem erőnek, hanem a téridő-görbület megnyilvánulásának tekint. Erről az elméletről itt most nem mondhatok többet. Csupán annyit tehetek, hogy rámutatok, hol a hiba az előbb vázolt newtoni gondolatmenetben, és ismertetem, hogy az általános relativitáselmélet szerint milyen kapcsolatban áll egymással egy űrhajó külső és belső nézőpontból vizsgált forgása².

Az általános relativitáselmélet szerint a newtoni gondolatmenet azért hibás, mert az inerciarendszerek térbeli kiterjedése valójában nagyon kicsi (csak *lokális* inerciarendszerek vannak). Olyan nagy térbeli kiterjedésű (*globális*) inerciarendszerek egyáltalán nem léteznek, amelyek kiterjednek az egész földgolyóra és a körülötte keringő szatelliterekre. Márpedig a newtoni gondolatmenet pont egy ilyen XYZ inerciarendszer létezésének a feltételezésén alapult.

Az általános relativitáselmélet arra a következtetésre jut, hogy azok az űrhajók, amelyek belső értelemben (a rajtuk elhelyezett giroszkópok viselkedése alapján) forgásmentesek, külső értelemben (földi nézőpontból) forognak. Ez a forgás a *geodetikus precesszió*, amelynek szögsebességét Einstein elméletében ki is lehet számítani. A NASA említett kísérletének — az u.n. *GP-B kísérletnek* — a célkitűzése ennek a szögsebességnek a kísérleti meghatározása volt.

A kísérlet előkészítése azért húzódott el évtizedekig, mert a geodetikus precesszió szögsebessége rendkívül kicsi, és a mérése különlegesen kifinomult

¹Szigorúan véve ez csak akkor van így, ha a forgás szögsebessége nem egész számú többszöröse a keringés szögsebességének. Amikor például a két szögsebesség éppen egyenlő egymással, mint a Hold esetében, akkor az űrhajó látószöge minden szélességi körön időben állandó (és egyforma), noha az űrhajó forog az XYZ tengelyekhez képest, és a giroszkópok jelzik is ezt a forgást.

²Részletesebb tárgyalás található a *GP-B kísérlet elvi alapjai* című előadásomban, amely letölthető a honlapomról (peter.hrasko.com).

eszközöket és módszereket igényel. Az elmélet szerint a 642 km magasan poláris pályán belső nézőpontból forgásmentesen keringő űrszondának egy év alatt 6.6 szögmásodperccel kell elfordulnia a keringés síkjában, 0,042 szögmásodperccel pedig a keringés síkjára merőlegesen (vagyis a keringési síkban fekvő tengely körül). Ez utóbbi elfordulást, amely a Föld forgásának a következménye, *dregnek* hívják³. Ilyen kismértékű szögelfordulást a Földről történő megfigyeléssel lehetetlen kimutatni, ezért a kísérletben a földi megfigyelést egy nagyon távoli kvazárhoz viszonyított szögelfordulás megméréssel helyettesítették. A mérés eredményét a kézirat leadásáig még nem publikálták⁴.

A GP-B kísérlet valódi jelentőségének a felmérésére vessük össze a geodetikus precessziót az általános relativitáselméletet igazoló olyan korábbi megfigyelésekkel, mint a Merkúr perihéliumának a precessziója és a Nap mellett elhaladó fénysugár elhajlása.

Már a XIX. század közepén tudták, hogy a Merkúr-pálya perihéliuma (a pályaellipszis Naphoz legközelebb eső pontja) a többi bolygó gravitációs hatása következtében lassan kering (precesszál) a Nap körül. Az eltolódás tapasztalati értéke 575"/évszázad, de ebből csak 534"/évszázad eltolódást lehetett megmagyarázni a többi bolygó hatásával. Hetven év alatt számos sikertelen hipotézis született a hiány magyarázatára, de a megoldást csak az általános relativitáselmélet hozta meg. 1915-ben Einstein az új elmélet első alkalmazásaként megmutatta, hogy a bolygópályák perihéliumának az eltolódását (radián/fordulat egységben) a $6\pi GM/c^2 a$ képlet határozza meg, amelyben G a gravitációs állandó, M a naptömeg, c a fénysebesség, $2a$ pedig a pályaellipszis nagytengelye. A Merkúra alkalmazva ez a képlet pontosan kiadja a hiányzó 41"/évszázad eltolódást.

A Nap mellett elhaladó fénysugár elhajlását a fény korpuszkuláris hipotézise alapján már 1801-ben kiszámította J. G. Soldner német természetkutató. Az általános relativitáselmélet szerint a hullámelmélet alapján is van fényelhajlás, amely pont kétszer akkora, mint a Soldner által kiszámított érték.

A tapasztalat nagy pontossággal igazolja, hogy az általános relativitáselmélet helyesen jósolja meg mindkét effektus *nagyságát*, de mivel a *jelenségek maguk* már korábban is ismertek voltak (a fényelhajlás esetében hipotézisként), a számszerű egyezésből egyáltalán nem világlik ki, milyen gyökeres

³A "magával ragadást" jelentő angol *drag* szó magyar adaptációja.

⁴A GP-B kísérlet részleteiről és az adatfeldolgozás állásáról a <http://einstein.stanford.edu/> honlapon lehet tájékozódni.

szakítást jelent az új elmélet a newtoni fizikával. Ezzel szemben a geodetikus precesszióknak *már a puszta léte* cáfolja a nagy térbeli kiterjedésű inerciarendszerek realitását, amelyek pedig a newtoni fizika legfontosabb fogalmi eszközei közé tartoznak. Az általános relativitáselméletnek az a következtetése, hogy *a* (belsőleg) *forgásmentesen keringő űrhajók* (külső nézőpontból) *forognak*, a newtoni fizikában még hipotézisként sem merülhetett fel.

Hraskó Péter