

Hafele Keating kísérlete 2005.01.26

Hafele és Keating 1971 októberében körbepélték a Földet, mégpedig egyszer keleti, egyszer nyugati irányba, hogy igazolja Einstein relativitáselméletét az idődilatacióról. A mérések sikerültek, ám az elemzés némi kívánnivalót hagyott maga után.

Az adatok: keletre 41.2 óra repülés, 8900 m magasan, nyugatra 48.6 óra repülés, 9400 m magasan. Mivel a repcsik éppen megkerülték a Földet, a megtett út 40 millió méter egész pontosan (hiszen így van definiálva a méter!) így a sebességek számolhatók:

Keletre $v = 269.68$ m/s, nyugatra $v = 228.62$ m/s.

A megadott táblázat tartalmazza az előrejelzett és a mért értékeket:

	keletre	nyugatra
Magasságformula:	144 +- 14	179 +- 18
Kinetikus:	- 184 +- 18	96 +- 10
Összesen:	- 40 +- 23	275 +- 21
És ezt mérték:	- 59 +- 10	273 +- 21
Kinetikus 2 :	- 260	156

A relativisztikus időeltolódás négy tagból tevődik össze! Az első tag a magasságformula:

A t_0 ideig h magasan repülő gép $t = t_0 * g * h / c^2$ időeltolódást szenved, mégpedig sietést, mert fent gyorsabban járnak az órák. $g = 9.81$ m/s², $c = 3 * 10^8$ m/s, ezek birtokában

a keleti időeltolódás $t = 41.2 * 3600 * 9.81 * 8900 / 9 * 10^{16} = 143.88$ ns ,

a nyugati időeltolódás $t = 48.6 * 3600 * 9.81 * 9400 / 9 * 10^{16} = 179.26$ ns .

A második tag abból adódik, hogy a Föld forog, így az egyenlítőn álló megfigyelő 463 m/s sebességgel halad valójában! A keletre tartó repülő ehhez képest még plusz 269.68 m/s sebességgel mozog, így sebessége valójában 732.68 m/s! A nyugatra tartó repülő sebessége viszont levonódik, így az valójában $463 - 228.62 = 234.38$ m/s sebességgel halad.

A most használandó idődilatació formula az ismert $t = t_0 / \sqrt{1 - v^2 / c^2}$ ami jól közelíthető ezzel: $t = t_0 * (1 + v^2 / 2 c^2)$. Jelöljük a Föld kerületi sebességét v_F -fel, ez a 463 m/s, a repülő sebességét meg v -vel, ekkor a repülő idődilataciójából le kell vonni a földi megfigyelő idődilatacióját. A keleti repülő sebessége $v + v_F$, míg a nyugati repülő sebessége $v_F - v$ lesz, ezek birtokában $t_1 = t_0 * (1 + (v + v_F)^2 / 2 c^2)$ és $t_2 = t_0 * (1 + v_F^2 / c^2)$ és $t_2 - t_1 = - t_0 * (v^2 + 2 v * v_F) / 2 c^2$. v előjele a keletinél pozitív, a nyugatinál negatív.

A formula előtt álló előjel azt jelzi, hogy amit kapok az időkésés! Most a földön álló óra jár gyorsabban!

Keletinél $t_0 = 41.2 * 3600$ s, $v = 269.68$ m/s, $v_F = 463$ m/s , ezeket betéve elhűlünk, mert nem a várt $- 183$ ns -ot kapjuk, hanem $- 265.69$ ns-ot, ami a kinetikus 2 sorban álló $- 260$ -hoz áll közel. Nyugatinál $t_0 = 48.6 * 3600$ s, $v = - 228.62$ m/s, v_F ugyanaz, ezzel $+ 155$ m/s jön ki, pozitív, azaz sietés, de megintcsak a kinetikus 2 sorban levő adat, nem a várt $+ 96$ ns!

Na most ez az a pont, ahol Hafele és Keating így magyarázgatott:

„If you plug in numbers for a 48 hour round trip flight at constant speed at the equator, you get -260 ns and 156 ns for the eastbound and westbound flights respectively. The predicted values obtained by Hafele and Keating presumably were based upon detailed measurements of the speeds, etc.”

Ez nem egyéb, mint burkolt beismerése annak, hogy a számításokkal valójában kudarcot vallottak! Vannak akik ebből egyenesen azt a következtetést vonták le, hogy íme, a Hafele – Keating kísérlet megcáfolta einstein elméletét! Most megmutatom, hogy erről szó sincs, ellenkezőleg, egy újabb bizonyítékot kaptunk az általános relativitáselméletre! Arról van szó, hogy a forgó Föld valójában egy Kerr – metrikát hoz létre, és a Kerr – metrika nemcsak a geodetikus precesszió drag –nek nevezett tagjában nyilvánul meg, hanem egy sokkal jobban mérhető tagban is, amit földi módszerekkel mérni lehetett! A geodetikus precesszió értéke 6.6 ívmásodperc per év, a drag ennek is kb 1%-a, tehát nagyon kicsi, a nagyon drága Gravity Probe B műholdat ezért lőtték fel hogy ezt mérje, erről Hraskó Péter weboldalán lehet többet olvasni: www.peter.hrasko.com . Itt több cikk is foglalkozik a geodetikus precesszióval, amit tehát drága műhoddal kell éveken át tartó méréssel mérni! Hafele és Keating viszont egy sokkal olcsóbb, gyorsabb, földi méréssel sokkal többet igazolt: azt, hogy a Föld Kerr – metrikája igenis jelentős hatású, jól mérhető, nem igaz hogy elegendő a Schwarzschild – metrika közelítés! A Hafele Keating kísérlet tehát a 3 klasszikus általános relativitáselmélet - bizonyíték mellett egy negyedik bizonyítékot szolgáltat!

A Kerr-féle fekete lyuk abban különbözik a Schwarzschild félettől, hogy forog. Így a forgó fekete lyuk a téridőt is magával forgatja, mégpedig az Egyenlítőnél A téridő forgásának kerületi sebessége ennek értéke az egyenlítőnél $w = c * a / R$ sebességgel, ahol R a Föld sugara, a pedig a forgást jellemző paraméter, amely ezt tudja:

$m*a*c = J = \text{perdület} = \text{THETA} * \text{omega}$ ahol $\text{THETA} = 2/5 m*R^2$, m a Föld tömege, omega pedig $2 \text{ pí} / T$, T pedig ugye egy nap, azaz $24*3600 \text{ sec}$.

Na most kis számolás után ezt kapom: $a*c/R = 2/5 R * \text{omega}$, azaz $w = 2/5 R*\text{omega}$, de $R*\text{omega}$ éppen 463 m/s, így $w = 2/5*463 \text{ m/s} = 185.2 \text{ m/s}$. A téridő ilyen sebességgel kering az egyenlítő mentén, természetesen keleti irányba, a Föld forgásának megfelelő irányba! Ha a Föld üreges lenne, akkor THETA nagyobb lenne, és nem jönne ki a várt eredmény.

A földi megfigyelő ugyan 463 m/s sebességgel halad körbekörbe, de a téridőhöz képest csak $463-185.2 = 277.8 \text{ m/s}$ sebességgel halad! A képleteinkben tehát a 463-at 277.8-cal kell helyettesíteni, és láss csodát!

Keletre $41.2*3600*(2*277.8*269.68 + 269.68^2) / 2*9*10^{16} = 183.39 \text{ ns}$ késés,
Nyugatra $48.6*3600*(-2*277.8*228.62+228.62^2) / 2*9*10^{16} = 72.6 \text{ ns}$ sietés

adódik, majdnem pontosan az elvárt!

Keletre: ha a 144-ből levonom a 183.39-et, kb -40 ns késést kapok, a mért adat – 59 ns.
Nyugatra: ha a 179 hez hozzáadom a 72.6 ns –t, kb 252 ns-t kapok, a mért adat 273 ns.
Mindkét irányban hiányzik kb 20 ns. Van egy negyedik tag is, és ez a Nap hatása!!!

Miközben a repcsik körbe repülnek, épp egy Föld átmérőnyit közelednek-távolodnak a Naptól, és ennek már hatása van! Itt is a magasságformula kell, de ezúttal g a Nap által a Föld távolságában keltett nehézségi gyorsulás, h pedig a Föld átmérője! Ha ezt kiszámoljuk, 124 ns –ot kapunk. 41.2 órára számolva persze. Ennyi idődilatació van a Föld napos és árnyékos oldala közt (egyik pontban dél van, a másikban éjfél). Igen ám, de a repülők körbe repülnek, hol közelebb, hol távolabb a Naptól, és a földi megfigyelő is ezt teszi. Emiatt hol

késik, hol siet egyik a másikhoz képest, a hatások majdnem kiátlagolódnak. Ami marad, az éppen ez a 20 ns.

Tehát összefoglalásként megállapíthatjuk, hogy a Hafele-Keating kísérlet meggyőzően igazolja az általános relativitáselméletet, igazolja a Föld Kerr-metrikáját (azt a drága műholdat éppen azért lőtték fel hogy ezt mérje!) igazolja hogy a Föld nem üreges, és azt is hogy jól számoltunk!

Utóirat 2008.01.12: A drága műhold a Gravity Probe B, amelynek a mérési adatait már kiértékeltek, és utána lehet keresni az interneten. Hraskó Péter is ír róla a weblapján: www.peter.hrasko.com . Ő azt írja, hogy a műhold a geodetikus precessziót mérte, aminek az értéke 6.6 ívmásodperc per év. Ez abból adódik, hogy a Föld kering a Nap körül, és így egy inerciarendszer az állócsillagokhoz képest forogni látszik, ezzel a 6.6 ívmásodperc per év szögsebességgel. Van még egy tag, amit drag-nek hívnak, ez a tag származik a Föld forgásából, és értéke a 6.6 ívmásodperc per évnek kb az 1 % -a, tehát még sokkal kisebb. Ezt a drága műholdat kellett fellőni, amely több évig mért, hogy egyáltalán kimutatható legyen a Föld forgásának a hatása. Ez az oka annak, hogy Hraskó Péter nekem azt írta, hogy a Hafele Keating kísérletnél a Föld Kerr – metrikájának nincs mérhető hatása, ugyanígy a Nap és a Hold hatása is elenyésző. A Holddal valóban nem számoltam én sem, de a Nap hatása mint láttuk, jelentős, és a Föld forgása a $w = 2/5 * 463 \text{ m/s} = 185.2 \text{ m/s}$ révén szintén jelentős, tehát a Föld Kerr-metrikája igenis kimérhető, és ez meg is történt, méghozzá nem a drága műhold segítségével, hanem a sokkal olcsóbb és gyorsabb Hafele – Keating kísérlettel! A mérés lényege pedig éppen a téridő keringése a Föld körül, ahogy az a Kerr metrikánál lenni szokott! Tehát Hafelék igazolták az általános relativitáselmélet helyességét, méréssel!

Akit a részletek érdekelnek, keressen rá a Googleval a hafele keating szóra!

Most következzenek a számítások, melyeket a Maple 7 programmal végeztem el!
Igyekeztem minden fizikai konstansat a lehető legpontosabb értékkel venni.
Így az eredmények kicsit mások, de a lényegét jól tükrözik.

A Maple 7 programok piros színnel jelennek meg, míg az eredmények kék színnel.

$$J = 5.86035 * 10^{33} * \text{kg} * \text{m}^2 / \text{s}$$

$$M = 5.97368 * 10^{24} * \text{kg}$$

Kell még a fénysebesség:

$$c = 2.997924 * 10^8 \text{ m/s}.$$

restart:

$$J := 5.86035 * 10^{33} * \text{kg} * \text{m}^2 / \text{s};$$

$$J := .5860350000 \cdot 10^{34} \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}}$$

$$M := 5.97368 * 10^{24} * \text{kg};$$

$$M := .5973680000 \cdot 10^{25} \text{ kg}$$

$$c := 2.99792458 * 10^8 * \text{m/s};$$

$$c := .2997924580 \cdot 10^9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$a := J / (M * c); \quad a := 3.272358656 \text{ m}$$

$$T_{\text{kelet}} := 41.2 * 3600 * s; \quad T_{\text{kelet}} := 148320.0 \text{ s}$$

$$h_{\text{kelet}} := 8900 * m; \quad h_{\text{kelet}} := 8900 \text{ m}$$

$$L := 40 * 10^6 * m; \quad L := 40000000 \text{ m}$$

$$v_{\text{kelet}} := L / T_{\text{kelet}}; \quad v_{\text{kelet}} := 269.6871629 \frac{m}{s}$$

$$T_{\text{nyugat}} := 48.6 * 3600 * s; \quad T_{\text{nyugat}} := 174960.0 \text{ s}$$

$$v_{\text{nyugat}} := L / T_{\text{nyugat}}; \quad v_{\text{nyugat}} := 228.6236854 \frac{m}{s}$$

$$R := 12757 / 2 * 10^3 * m; \quad R := 6378500 \text{ m}$$

$$G := 6.672 * 10^{(-11)} * m^3 / kg * s^2; \quad G := .6672000000 * 10^{-10} \frac{m^3}{kg \cdot s^2}$$

$$t_{0\text{magasságkelet}} := G * M / R / c^2 * T_{\text{kelet}}; \quad t_{0\text{magasságkelet}} := .0001031187745 \text{ s}$$

$$r_0 := 2 * G * M / c^2; \quad r_0 := .008869243572 \text{ m}$$

$$t_{1\text{magasságkelet}} := G * M / (R + h_{\text{kelet}}) / c^2 * T_{\text{kelet}}; \quad t_{1\text{magasságkelet}} := .0001029750921 \text{ s}$$

$$t_{2\text{magasságkelet}} := t_{1\text{magasságkelet}} - t_{0\text{magasságkelet}}; \quad t_{2\text{magasságkelet}} := -.1436824 * 10^{-6} \text{ s}$$

Ez tehát az első adatunk, a 144 ns. Az előjelek fordítva szerepelnek, mert itt a sietés a pozitív, a késés a negatív.

$$t_{0\text{magasságnyugat}} := G * M / R / c^2 * T_{\text{nyugat}}; \quad t_{0\text{magasságnyugat}} := .0001216401078 \text{ s}$$

$$h_{\text{nyugat}} := 9400 * m; \quad h_{\text{nyugat}} := 9400 \text{ m}$$

$$t_{1\text{magasságnyugat}} := G * M / (R + h_{\text{nyugat}}) / c^2 * T_{\text{nyugat}}; \quad t_{1\text{magasságnyugat}} := .0001214611105 \text{ s}$$

$$t_{2\text{magasságnyugat}} := t_{1\text{magasságnyugat}} - t_{0\text{magasságnyugat}}; \quad t_{2\text{magasságnyugat}} := -.1789973 * 10^{-6} \text{ s}$$

Ez a második adatunk, a 179 ns, ez is sietés.

$v_{\text{FöldKerületi}} := \text{evalf}(L / (24 * 3600 * s));$

$$v_{\text{FöldKerületi}} := 462.9629630 \frac{m}{s}$$

Ez a Föld kerületi sebessége, a 463 m/s.

$t_{0\text{kinetikuskelet}} := 1/2 * v_{\text{FöldKerületi}}^2 / c^2 * T_{\text{kelet}};$

$$t_{0\text{kinetikuskelet}} := .1768564133 \cdot 10^{-6} s$$

$t_{1\text{kinetikuskelet}} := 1/2 * (v_{\text{kelet}} + v_{\text{FöldKerületi}})^2 / c^2 * T_{\text{kelet}};$

$$t_{1\text{kinetikuskelet}} := .4429162074 \cdot 10^{-6} s$$

$t_{2\text{kinetikuskelet}} := t_{1\text{kinetikuskelet}} - t_{0\text{kinetikuskelet}};$

$$t_{2\text{kinetikuskelet}} := .2660597941 \cdot 10^{-6} s$$

$t_{0\text{kinetikusnyugat}} := 1/2 * v_{\text{FöldKerületi}}^2 / c^2 * T_{\text{nyugat}};$

$$t_{0\text{kinetikusnyugat}} := .2086218856 \cdot 10^{-6} s$$

$t_{1\text{kinetikusnyugat}} := 1/2 * (-v_{\text{nyugat}} + v_{\text{FöldKerületi}})^2 / c^2 * T_{\text{nyugat}};$

$$t_{1\text{kinetikusnyugat}} := .5345121015 \cdot 10^{-7} s$$

$t_{2\text{kinetikusnyugat}} := t_{1\text{kinetikusnyugat}} - t_{0\text{kinetikusnyugat}};$

$$t_{2\text{kinetikusnyugat}} := -.1551706754 \cdot 10^{-6} s$$

Itt a táblázat kinetikus2 sorában szereplő adatok jelennek meg, a -260 ns és a 156 ns.

most jön a Föld Kerr-metrikájának a hatása!

A $J = 5.86035 \cdot 10^{33} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}$ és az $M = 5.97368 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ adatok Hraskó Pétertől származnak, aki „egy elég modern geofizikai könyv alapján” vette ezeket a Földre vonatkozóan.

Én a Földet merev gömbnek tekintve a

$$J_2 = M \cdot a \cdot c = \text{Theta} \cdot \text{Omega} = 2/5 \cdot M \cdot R^2 \cdot 2 \cdot \text{Pi} / T$$

értéket vettem alapul. Megnézzük hogy ezzel mi adódik ki.

Megjegyzés: $J < J_2$, azaz a Föld belül sűrűbb, emiatt kisebb a J mint a merev gömbre számolt érték, tehát kapásból igazolódik hogy a Föld nem lehet üreges!

$$a = J / (M \cdot c) = 2/5 \cdot R^2 \cdot 2 \cdot \text{Pi} / T$$

$$v_{\text{Kerr}} = a \cdot c / R = 2/5 \cdot R \cdot 2 \cdot \text{Pi} / T = 2/5 \cdot v_{\text{FöldKerületi}}!$$

$$T := 24 \cdot 3600 \cdot s;$$

$$T := 86400 s$$

$J;$

$$.5860350000 \cdot 10^{34} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{s}$$

$J_2 := \text{evalf}(2/5 \cdot M \cdot R^2 \cdot 2 \cdot \text{Pi} / T);$

$$J_2 := .7069768474 \cdot 10^{34} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{s}$$

Mint látjuk, $J < J_2$, azaz a Föld belül tömörebb.

$$(J_2 - J) / J_2 * 100;$$

$$17.10690355$$

17% eltérés van, na ez meg mennyi eltérést produkál?

$$v_{Kerr1} := 2/5 * v_{FöldKerületi};$$

$$v_{Kerr1} := 185.1851852 \frac{m}{s}$$

$$a := J/M/c;$$

$$3.272358656 \text{ m}$$

$$v_{Kerr3} := a/R * c;$$

$$v_{Kerr3} := 153.8023744 \frac{m}{s}$$

$$t_{3kinetikuskelet} := 1/2 * (v_{kelet} + v_{FöldKerületi} - v_{Kerr1})^2 / c^2 * T_{kelet};$$

$$t_{3kinetikuskelet} := .2473095802 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

$$t_{2kinetikuskelet};$$

$$.2660597941 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

$$t_{1kinetikuskelet};$$

$$.4429162074 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

$$t_{02kinetikuskelet} := 1/2 * (v_{FöldKerületi} - v_{Kerr1})^2 / c^2 * T_{kelet};$$

$$t_{02kinetikuskelet} := .6366830880 \cdot 10^{-7} \text{ s}$$

$$t_{5kinetikuskelet} := 1/2 * (v_{kelet} + v_{FöldKerületi} - v_{Kerr3})^2 / c^2 * T_{kelet};$$

$$t_{5kinetikuskelet} := .2764757320 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

$$t_{03kinetikuskelet} := 1/2 * (v_{FöldKerületi} - v_{Kerr3})^2 / c^2 * T_{kelet};$$

$$t_{03kinetikuskelet} := .7886722615 \cdot 10^{-7} \text{ s}$$

$$t_{8kinetikuskelet} := t_{5kinetikuskelet} - t_{03kinetikuskelet};$$

$$t_{8kinetikuskelet} := .1976085058 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

$$t_{9kinetikuskelet} := t_{3kinetikuskelet} - t_{02kinetikuskelet};$$

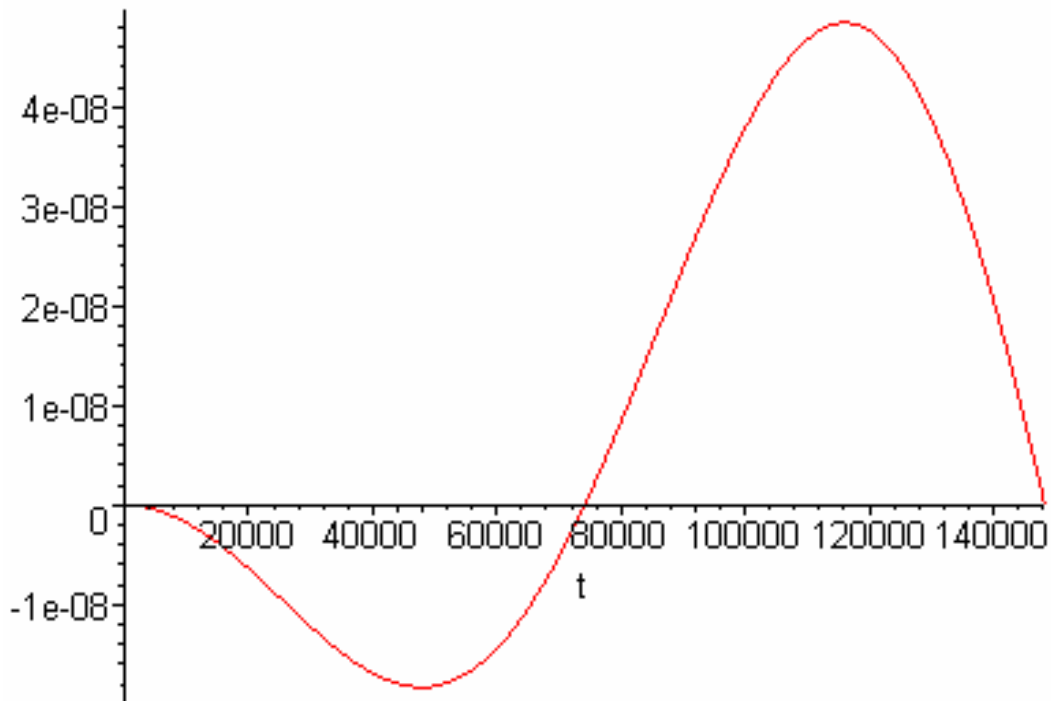
$$t_{9kinetikuskelet} := .1836412714 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

Na íme, megkaptuk az előrejelzett 183 ns - ot!

$$t_{kelet} := t_{2magasságkelet} + t_{8kinetikuskelet};$$

$$t_{kelet} := .539261058 \cdot 10^{-7} \text{ s}$$

az előjelek fordítva vannak mint a cikkben. Itt a mínusz a sietés, a plusz a késés. A mért 59 ns -hoz képest nagyon jó.



Hát ez nagyon szépen lemegy nullába! Tehát a Nap hatása szinte kiesik! Ez azért van, mert a repülő éppen egyszer megkerülte a Földet! Így a földi megfigyelő és a repülő útja éppen egy teljes körrel különbözik egymástól.

Mi van ha más fázisból indítom? Akkor már jelentkezik különbség! Tehát végül is Hafeleéknek is igazuk volt:

Az utazás részletei, mikor szálltak fel és le, befolyásolják az eredményt, mégpedig a nap hatásán keresztül. ennek köszönhető, hogy a mért és a számolt eredmények nem pontosan egyeznek.

Összegzésként elmondhatjuk, hogy a Hafele Keating kísérlet meggyőző bizonyítékát mutatta az általános relativitáselméletnek, és annak, hogy a Föld forgása miatt fellépő Kerr – metrika hatása igenis jelentős, és mérhető, és nem kell ehhez a drága Gravity Probe B műhold, hanem egyszerű földi módszerekkel is ki lehet ezt mérni.

Nagy sebességgel forgó nagy tömegek szintén Kerr – metrikát hoznak létre. Ezek szerint itt is fellépnek időanomáliák. Ezt már földi laborokban is ki lehet mérni. És akkor újabb bizonyítékokat kapunk Einstein elméletére!

Einstein feltételezte, hogy a mozgó tömegek induktív hatást gyakorolnak más tömegekre, olyan ez mint a mágnesség. Ezt az induktív hatást is ki lehetne mérni. Lehet hogy ez is könnyebb, mint gondolnánk. A nagy tengeráramlatok, mint a Golf – áramlat, jelentősen befolyásolhatják a Föld gravitációs terét, így lehetnek a Földnek olyan helyei, ahol jelentős időanomáliákat lehet kimérni. Ehhez megfelelő precíziós műszerek kellenek. Atomórák, és más térgörbületmérő eszközök. Pl. két atomóra, amely bizonyos távolságban van egymástól, és a különbségi jelet mérjük.

Hafele Keating kísérlete 2005.01.26

Hafele és Keating 1971 októberében körberepülte a Földet, mégpedig egyszer keleti, egyszer nyugati irányba, hogy igazolja Einstein relativitáselméletét az idődilatacióról. A mérések sikerültek, ám az elemzés némi kívánnivalót hagyott maga után.

Az adatok: keletre 41.2 óra repülés, 8900 m magasan, nyugatra 48.6 óra repülés, 9400 m magasan. Mivel a repcsik éppen megkerülték a Földet, a megtett út 40 millió méter egész pontosan (hiszen így van definiálva a méter!) így a sebességek számolhatók:

Keletre $v = 269.68$ m/s, nyugatra $v = 228.62$ m/s.

A megadott táblázat tartalmazza az előrejelzett és a mért értékeket:

	keletre	nyugatra
Magasságformula:	144 +- 14	179 +- 18
Kinetikus:	- 184 +- 18	96 +- 10
Összesen:	- 40 +- 23	275 +- 21
És ezt mérték:	- 59 +- 10	273 +- 21
Kinetikus 2 :	- 260	156

A relativisztikus időeltolódás négy tagból tevődik össze! Az első tag a magasságformula:

A t_0 ideig h magasan repülő gép $t = t_0 * g * h / c^2$ időeltolódást szenved, mégpedig sietést, mert fent gyorsabban járnak az órák. $g = 9.81$ m/s², $c = 3 * 10^8$ m/s, ezek birtokában

a keleti időeltolódás $t = 41.2 * 3600 * 9.81 * 8900 / 9 * 10^{16} = 143.88$ ns ,

a nyugati időeltolódás $t = 48.6 * 3600 * 9.81 * 9400 / 9 * 10^{16} = 179.26$ ns .

A második tag abból adódik, hogy a Föld forog, így az egyenlítőn álló megfigyelő 463 m/s sebességgel halad valójában! A keletre tartó repülő ehhez képest még plusz 269.68 m/s sebességgel mozog, így sebessége valójában 732.68 m/s! A nyugatra tartó repülő sebessége viszont levonódik, így az valójában $463 - 228.62 = 234.38$ m/s sebességgel halad.

A most használandó idődilatació formula az ismert $t = t_0 / \sqrt{1 - v^2 / c^2}$ ami jól közelíthető ezzel: $t = t_0 * (1 + v^2 / 2 c^2)$. Jelöljük a Föld kerületi sebességét v_F -fel, ez a 463 m/s, a repülő sebességét meg v -vel, ekkor a repülő idődilataciójából le kell vonni a földi megfigyelő idődilatacióját. A keleti repülő sebessége $v + v_F$, míg a nyugati repülő sebessége $v_F - v$ lesz, ezek birtokában $t_1 = t_0 * (1 + (v + v_F)^2 / 2c^2)$ és $t_2 = t_0 * (1 + v_F^2 / c^2)$ és $t_2 - t_1 = - t_0 * (v^2 + 2 v * v_F) / 2 c^2$. v előjele a keletinél pozitív, a nyugatinál negatív.

A formula előtt álló előjel azt jelzi, hogy amit kapok az időkésés! Most a földön álló óra jár gyorsabban!

Keletinél $t_0 = 41.2 * 3600$ s, $v = 269.68$ m/s, $v_F = 463$ m/s , ezeket betéve elhűlünk, mert nem a várt $- 183$ ns -ot kapjuk, hanem $- 265.69$ ns-ot, ami a kinetikus 2 sorban álló $- 260$ -hoz áll közel. Nyugatinál $t_0 = 48.6 * 3600$ s, $v = - 228.62$ m/s, v_F ugyanaz, ezzel $+ 155$ m/s jön ki, pozitív, azaz sietés, de megintcsak a kinetikus 2 sorban levő adat, nem a várt $+ 96$ ns!

Na most ez az a pont, ahol Hafele és Keating így magyarázgatott:

„If you plug in numbers for a 48 hour round trip flight at constant speed at the equator, you get -260 ns and 156 ns for the eastbound and westbound flights respectively. The predicted values obtained by Hafele and Keating presumably were based upon detailed measurements of the speeds, etc.”

Ez nem egyéb, mint burkolt beismerése annak, hogy a számításokkal valójában kudarcot vallottak! Vannak akik ebből egyenesen azt a következtetést vonták le, hogy íme, a Hafele – Keating kísérlet megcáfolta einstein elméletét! Most megmutatom, hogy erről szó sincs, ellenkezőleg, egy újabb bizonyítékot kaptunk az általános relativitáselméletre! Arról van szó, hogy a forgó Föld valójában egy Kerr – metrikát hoz létre, és a Kerr – metrika nemcsak a geodetikus precesszió drag –nek nevezett tagjában nyilvánul meg, hanem egy sokkal jobban mérhető tagban is, amit földi módszerekkel mérni lehetett! A geodetikus precesszió értéke 6.6 ívmásodperc per év, a drag ennek is kb 1%-a, tehát nagyon kicsi, a nagyon drága Gravity Probe B műholdat ezért lőtték fel hogy ezt mérje, erről Hraskó Péter weboldalán lehet többet olvasni: www.peter.hrasko.com . Itt több cikk is foglalkozik a geodetikus precesszióval, amit tehát drága műhoddal kell éveken át tartó méréssel mérni! Hafele és Keating viszont egy sokkal olcsóbb, gyorsabb, földi méréssel sokkal többet igazolt: azt, hogy a Föld Kerr – metrikája igenis jelentős hatású, jól mérhető, nem igaz hogy elegendő a Schwarzschild – metrika közelítés! A Hafele Keating kísérlet tehát a 3 klasszikus általános relativitáselmélet - bizonyíték mellett egy negyedik bizonyítékot szolgáltat!

A Kerr-féle fekete lyuk abban különbözik a Schwarzschild félettől, hogy forog. Így a forgó fekete lyuk a téridőt is magával forgatja, mégpedig az Egyenlítőnél A téridő forgásának kerületi sebessége ennek értéke az egyenlítőnél $w = c * a / R$ sebességgel, ahol R a Föld sugara, a pedig a forgást jellemző paraméter, amely ezt tudja:

$m*a*c = J = \text{perdület} = \text{THETA} * \text{omega}$ ahol $\text{THETA} = 2/5 m*R^2$, m a Föld tömege, omega pedig $2 \text{ pí} / T$, T pedig ugye egy nap, azaz $24*3600 \text{ sec}$.

Na most kis számolás után ezt kapom: $a*c/R = 2/5 R * \text{omega}$, azaz $w = 2/5 R*\text{omega}$, de $R*\text{omega}$ éppen 463 m/s, így $w = 2/5*463 \text{ m/s} = 185.2 \text{ m/s}$. A téridő ilyen sebességgel kering az egyenlítő mentén, természetesen keleti irányba, a Föld forgásának megfelelő irányba! Ha a Föld üreges lenne, akkor THETA nagyobb lenne, és nem jönne ki a várt eredmény.

A földi megfigyelő ugyan 463 m/s sebességgel halad körbekörbe, de a téridőhöz képest csak $463-185.2 = 277.8 \text{ m/s}$ sebességgel halad! A képleteinkben tehát a 463-at 277.8-cal kell helyettesíteni, és láss csodát!

Keletre $41.2*3600*(2*277.8*269.68 + 269.68^2) / 2*9*10^{16} = 183.39 \text{ ns}$ késés,
Nyugatra $48.6*3600*(-2*277.8*228.62+228.62^2) / 2*9*10^{16} = 72.6 \text{ ns}$ sietés

adódik, majdnem pontosan az elvárt!

Keletre: ha a 144-ből levonom a 183.39-et, kb -40 ns késést kapok, a mért adat – 59 ns.
Nyugatra: ha a 179 hez hozzáadom a 72.6 ns –t, kb 252 ns-t kapok, a mért adat 273 ns.
Mindkét irányban hiányzik kb 20 ns. Van egy negyedik tag is, és ez a Nap hatása!!!

Miközben a repcsik körbe repülnek, épp egy Föld átmérőnyit közelednek-távolodnak a Naptól, és ennek már hatása van! Itt is a magasságformula kell, de ezúttal g a Nap által a Föld távolságában keltett nehézségi gyorsulás, h pedig a Föld átmérője! Ha ezt kiszámoljuk, 124 ns –ot kapunk. 41.2 órára számolva persze. Ennyi idődilatació van a Föld napos és árnyékos oldala közt (egyik pontban dél van, a másikban éjfél). Igen ám, de a repülők körbe repülnek, hol közelebb, hol távolabb a Naptól, és a földi megfigyelő is ezt teszi. Emiatt hol

késik, hol siet egyik a másikhoz képest, a hatások majdnem kiátlagolódnak. Ami marad, az éppen ez a 20 ns.

Tehát összefoglalásként megállapíthatjuk, hogy a Hafele-Keating kísérlet meggyőzően igazolja az általános relativitáselméletet, igazolja a Föld Kerr-metrikáját (azt a drága műholdat éppen azért lőtték fel hogy ezt mérje!) igazolja hogy a Föld nem üreges, és azt is hogy jól számoltunk!

Utóirat 2008.01.12: A drága műhold a Gravity Probe B, amelynek a mérési adatait már kiértékeltek, és utána lehet keresni az interneten. Hraskó Péter is ír róla a weblapján: www.peter.hrasko.com . Ő azt írja, hogy a műhold a geodetikus precessziót mérte, aminek az értéke 6.6 ívmásodperc per év. Ez abból adódik, hogy a Föld kering a Nap körül, és így egy inerciarendszer az állócsillagokhoz képest forogni látszik, ezzel a 6.6 ívmásodperc per év szögsebességgel. Van még egy tag, amit drag-nek hívnak, ez a tag származik a Föld forgásából, és értéke a 6.6 ívmásodperc per évnek kb az 1 % -a, tehát még sokkal kisebb. Ezt a drága műholdat kellett fellőni, amely több évig mért, hogy egyáltalán kimutatható legyen a Föld forgásának a hatása. Ez az oka annak, hogy Hraskó Péter nekem azt írta, hogy a Hafele Keating kísérletnél a Föld Kerr – metrikájának nincs mérhető hatása, ugyanígy a Nap és a Hold hatása is elenyésző. A Holddal valóban nem számoltam én sem, de a Nap hatása mint láttuk, jelentős, és a Föld forgása a $w = 2/5 * 463 \text{ m/s} = 185.2 \text{ m/s}$ révén szintén jelentős, tehát a Föld Kerr-metrikája igenis kimérhető, és ez meg is történt, méghozzá nem a drága műhold segítségével, hanem a sokkal olcsóbb és gyorsabb Hafele – Keating kísérlettel! A mérés lényege pedig éppen a téridő keringése a Föld körül, ahogy az a Kerr metrikánál lenni szokott! Tehát Hafelék igazolták az általános relativitáselmélet helyességét, méréssel!

Akit a részletek érdekelnek, keressen rá a Googleval a hafele keating szóra!

Most következzenek a számítások, melyeket a Maple 7 programmal végeztem el!
Igyekeztem minden fizikai konstans a lehető legpontosabb értékkel venni.
Így az eredmények kicsit mások, de a lényegét jól tükrözik.

A Maple 7 programok piros színnel jelennek meg, míg az eredmények kék színnel.

$$J = 5.86035 * 10^{33} * \text{kg} * \text{m}^2 / \text{s}$$

$$M = 5.97368 * 10^{24} * \text{kg}$$

Kell még a fénysebesség:

$$c = 2.997924 * 10^8 \text{ m/s}.$$

restart:

$$J := 5.86035 * 10^{33} * \text{kg} * \text{m}^2 / \text{s};$$

$$J := .5860350000 \cdot 10^{34} \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}}$$

$$M := 5.97368 * 10^{24} * \text{kg};$$

$$M := .5973680000 \cdot 10^{25} \text{ kg}$$

$$c := 2.99792458 * 10^8 * \text{m/s};$$

$$c := .2997924580 \cdot 10^9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$a := J / (M * c); \quad a := 3.272358656 \text{ m}$$

$$T_{\text{kelet}} := 41.2 * 3600 * s; \quad T_{\text{kelet}} := 148320.0 \text{ s}$$

$$h_{\text{kelet}} := 8900 * m; \quad h_{\text{kelet}} := 8900 \text{ m}$$

$$L := 40 * 10^6 * m; \quad L := 40000000 \text{ m}$$

$$v_{\text{kelet}} := L / T_{\text{kelet}}; \quad v_{\text{kelet}} := 269.6871629 \frac{m}{s}$$

$$T_{\text{nyugat}} := 48.6 * 3600 * s; \quad T_{\text{nyugat}} := 174960.0 \text{ s}$$

$$v_{\text{nyugat}} := L / T_{\text{nyugat}}; \quad v_{\text{nyugat}} := 228.6236854 \frac{m}{s}$$

$$R := 12757 / 2 * 10^3 * m; \quad R := 6378500 \text{ m}$$

$$G := 6.672 * 10^{(-11)} * m^3 / kg * s^2; \quad G := .6672000000 * 10^{-10} \frac{m^3}{kg \cdot s^2}$$

$$t_{0\text{magasságkelet}} := G * M / R / c^2 * T_{\text{kelet}}; \quad t_{0\text{magasságkelet}} := .0001031187745 \text{ s}$$

$$r_0 := 2 * G * M / c^2; \quad r_0 := .008869243572 \text{ m}$$

$$t_{1\text{magasságkelet}} := G * M / (R + h_{\text{kelet}}) / c^2 * T_{\text{kelet}}; \quad t_{1\text{magasságkelet}} := .0001029750921 \text{ s}$$

$$t_{2\text{magasságkelet}} := t_{1\text{magasságkelet}} - t_{0\text{magasságkelet}}; \quad t_{2\text{magasságkelet}} := -.1436824 * 10^{-6} \text{ s}$$

Ez tehát az első adatunk, a 144 ns. Az előjelek fordítva szerepelnek, mert itt a sietés a pozitív, a késés a negatív.

$$t_{0\text{magasságnnyugat}} := G * M / R / c^2 * T_{\text{nyugat}}; \quad t_{0\text{magasságnnyugat}} := .0001216401078 \text{ s}$$

$$h_{\text{nyugat}} := 9400 * m; \quad h_{\text{nyugat}} := 9400 \text{ m}$$

$$t_{1\text{magasságnnyugat}} := G * M / (R + h_{\text{nyugat}}) / c^2 * T_{\text{nyugat}}; \quad t_{1\text{magasságnnyugat}} := .0001214611105 \text{ s}$$

$$t_{2\text{magasságnnyugat}} := t_{1\text{magasságnnyugat}} - t_{0\text{magasságnnyugat}}; \quad t_{2\text{magasságnnyugat}} := -.1789973 * 10^{-6} \text{ s}$$

Ez a második adatunk, a 179 ns, ez is sietés.

$v_{\text{FöldKerületi}} := \text{evalf}(L / (24 * 3600 * s));$

$$v_{\text{FöldKerületi}} := 462.9629630 \frac{m}{s}$$

Ez a Föld kerületi sebessége, a 463 m/s.

$t_{0\text{kinetikuskelet}} := 1/2 * v_{\text{FöldKerületi}}^2 / c^2 * T_{\text{kelet}};$

$$t_{0\text{kinetikuskelet}} := .1768564133 \cdot 10^{-6} s$$

$t_{1\text{kinetikuskelet}} := 1/2 * (v_{\text{kelet}} + v_{\text{FöldKerületi}})^2 / c^2 * T_{\text{kelet}};$

$$t_{1\text{kinetikuskelet}} := .4429162074 \cdot 10^{-6} s$$

$t_{2\text{kinetikuskelet}} := t_{1\text{kinetikuskelet}} - t_{0\text{kinetikuskelet}};$

$$t_{2\text{kinetikuskelet}} := .2660597941 \cdot 10^{-6} s$$

$t_{0\text{kinetikusnyugat}} := 1/2 * v_{\text{FöldKerületi}}^2 / c^2 * T_{\text{nyugat}};$

$$t_{0\text{kinetikusnyugat}} := .2086218856 \cdot 10^{-6} s$$

$t_{1\text{kinetikusnyugat}} := 1/2 * (-v_{\text{nyugat}} + v_{\text{FöldKerületi}})^2 / c^2 * T_{\text{nyugat}};$

$$t_{1\text{kinetikusnyugat}} := .5345121015 \cdot 10^{-7} s$$

$t_{2\text{kinetikusnyugat}} := t_{1\text{kinetikusnyugat}} - t_{0\text{kinetikusnyugat}};$

$$t_{2\text{kinetikusnyugat}} := -.1551706754 \cdot 10^{-6} s$$

Itt a táblázat kinetikus2 sorában szereplő adatok jelennek meg, a -260 ns és a 156 ns.

most jön a Föld Kerr-metrikájának a hatása!

A $J = 5.86035 \cdot 10^{33} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}$ és az $M = 5.97368 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ adatok Hraskó Pétertől származnak, aki „egy elég modern geofizikai könyv alapján” vette ezeket a Földre vonatkozóan.

Én a Földet merev gömbnek tekintve a

$$J_2 = M * a * c = \text{Theta} * \text{Omega} = 2/5 * M * R^2 * 2 * \text{Pi} / T$$

értéket vettem alapul. Megnézzük hogy ezzel mi adódik ki.

Megjegyzés: $J < J_2$, azaz a Föld belül sűrűbb, emiatt kisebb a J mint a merev gömbre számolt érték, tehát kapásból igazolódik hogy a Föld nem lehet üreges!

$$a = J / (M * c) = 2/5 * R^2 * 2 * \text{Pi} / T$$

$$v_{\text{Kerr}} = a * c / R = 2/5 * R * 2 * \text{Pi} / T = 2/5 * v_{\text{FöldKerületi}}!$$

$$T := 24 * 3600 * s;$$

$$T := 86400 s$$

$J;$

$$.5860350000 \cdot 10^{34} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{s}$$

$J_2 := \text{evalf}(2/5 * M * R^2 * 2 * \text{Pi} / T);$

$$J_2 := .7069768474 \cdot 10^{34} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{s}$$

Mint látjuk, $J < J_2$, azaz a Föld belül tömörebb.

$$(J_2 - J) / J_2 * 100;$$

$$17.10690355$$

17% eltérés van, na ez meg mennyi eltérést produkál?

$$v_{Kerr1} := 2/5 * v_{FöldKerületi};$$

$$v_{Kerr1} := 185.1851852 \frac{m}{s}$$

$$a := J/M/c;$$

$$3.272358656 \text{ m}$$

$$v_{Kerr3} := a/R * c;$$

$$v_{Kerr3} := 153.8023744 \frac{m}{s}$$

$$t_{3kinetikuskelet} := 1/2 * (v_{kelet} + v_{FöldKerületi} - v_{Kerr1})^2 / c^2 * T_{kelet};$$

$$t_{3kinetikuskelet} := .2473095802 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

$$t_{2kinetikuskelet};$$

$$.2660597941 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

$$t_{1kinetikuskelet};$$

$$.4429162074 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

$$t_{02kinetikuskelet} := 1/2 * (v_{FöldKerületi} - v_{Kerr1})^2 / c^2 * T_{kelet};$$

$$t_{02kinetikuskelet} := .6366830880 \cdot 10^{-7} \text{ s}$$

$$t_{5kinetikuskelet} := 1/2 * (v_{kelet} + v_{FöldKerületi} - v_{Kerr3})^2 / c^2 * T_{kelet};$$

$$t_{5kinetikuskelet} := .2764757320 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

$$t_{03kinetikuskelet} := 1/2 * (v_{FöldKerületi} - v_{Kerr3})^2 / c^2 * T_{kelet};$$

$$t_{03kinetikuskelet} := .7886722615 \cdot 10^{-7} \text{ s}$$

$$t_{8kinetikuskelet} := t_{5kinetikuskelet} - t_{03kinetikuskelet};$$

$$t_{8kinetikuskelet} := .1976085058 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

$$t_{9kinetikuskelet} := t_{3kinetikuskelet} - t_{02kinetikuskelet};$$

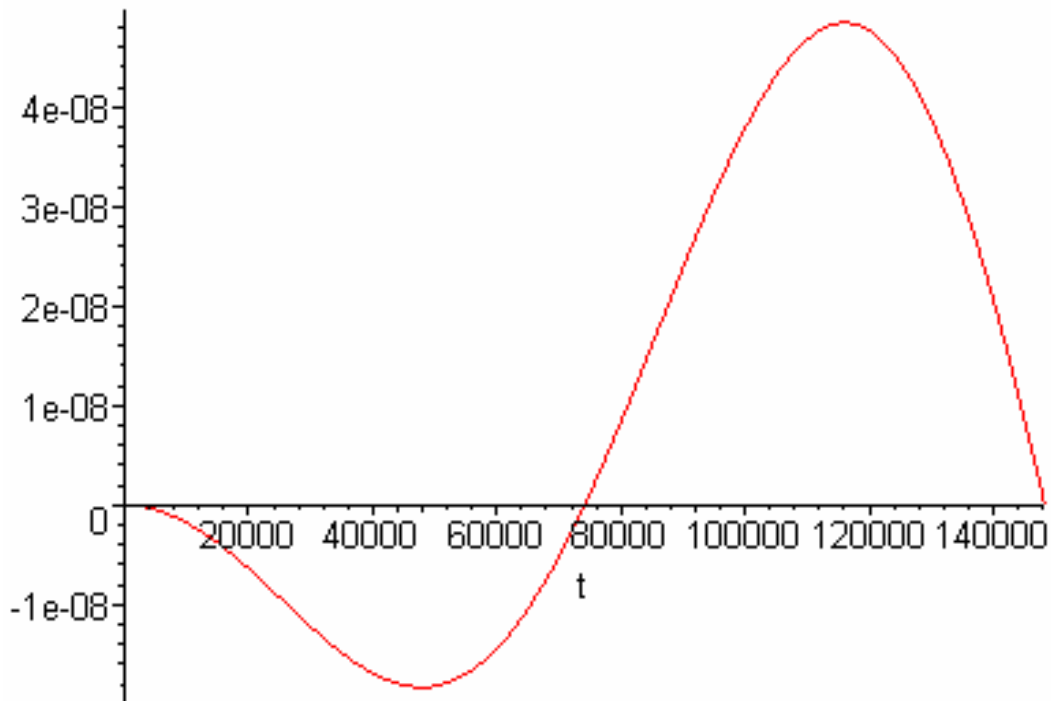
$$t_{9kinetikuskelet} := .1836412714 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

Na íme, megkaptuk az előrejelzett 183 ns - ot!

$$t_{kelet} := t_{2magasságkelet} + t_{8kinetikuskelet};$$

$$t_{kelet} := .539261058 \cdot 10^{-7} \text{ s}$$

az előjelek fordítva vannak mint a cikkben. Itt a mínusz a sietés, a plusz a késés. A mért 59 ns -hoz képest nagyon jó.



Hát ez nagyon szépen lemegy nullába! Tehát a Nap hatása szinte kiesik! Ez azért van, mert a repülő éppen egyszer megkerülte a Földet! Így a földi megfigyelő és a repülő útja éppen egy teljes körrel különbözik egymástól.

Mi van ha más fázisból indítom? Akkor már jelentkezik különbség! Tehát végül is Hafeleéknek is igazuk volt:

Az utazás részletei, mikor szálltak fel és le, befolyásolják az eredményt, mégpedig a nap hatásán keresztül. ennek köszönhető, hogy a mért és a számolt eredmények nem pontosan egyeznek.

Összegzésként elmondhatjuk, hogy a Hafele Keating kísérlet meggyőző bizonyítékát mutatta az általános relativitáselméletnek, és annak, hogy a Föld forgása miatt fellépő Kerr – metrika hatása igenis jelentős, és mérhető, és nem kell ehhez a drága Gravity Probe B műhold, hanem egyszerű földi módszerekkel is ki lehet ezt mérni.

Nagy sebességgel forgó nagy tömegek szintén Kerr – metrikát hoznak létre. Ezek szerint itt is fellépnek időanomáliák. Ezt már földi laborokban is ki lehet mérni. És akkor újabb bizonyítékokat kapunk Einstein elméletére!

Einstein feltételezte, hogy a mozgó tömegek induktív hatást gyakorolnak más tömegekre, olyan ez mint a mágnesség. Ezt az induktív hatást is ki lehetne mérni. Lehet hogy ez is könnyebb, mint gondolnánk. A nagy tengeráramlatok, mint a Golf – áramlat, jelentősen befolyásolhatják a Föld gravitációs terét, így lehetnek a Földnek olyan helyei, ahol jelentős időanomáliákat lehet kimérni. Ehhez megfelelő precíziós műszerek kellenek. Atomórák, és más térgörbületmérő eszközök. Pl. két atomóra, amely bizonyos távolságban van egymástól, és a különbségi jelet mérjük.