Az ötödik erő

Ván Péter

Fizikai Kutatóközpont,
BME,
Montavid Termodinamikai Kutatócsoport

www.eotvos100.hu

Miért pont négy?

	erősség	erőtörvény	hatótáv	történet
gravitációs (tömeg)	1	$\sim \frac{1}{r^2}$	∞	Newton (1687)
elektromágneses (töltés)	10^{36}	$\sim \frac{1}{r^2}$	∞	Maxwell (1873)
gyenge (íz)	10^{25}	$\sim \frac{1}{r} e^{-r/\lambda}$	$10^{-18} m$	Fermi (1934), ...
erős (szín)	10^{38}	$\sim r$	$10^{-15} m$	..., Higgs, ...

Ez négynek tűnik.

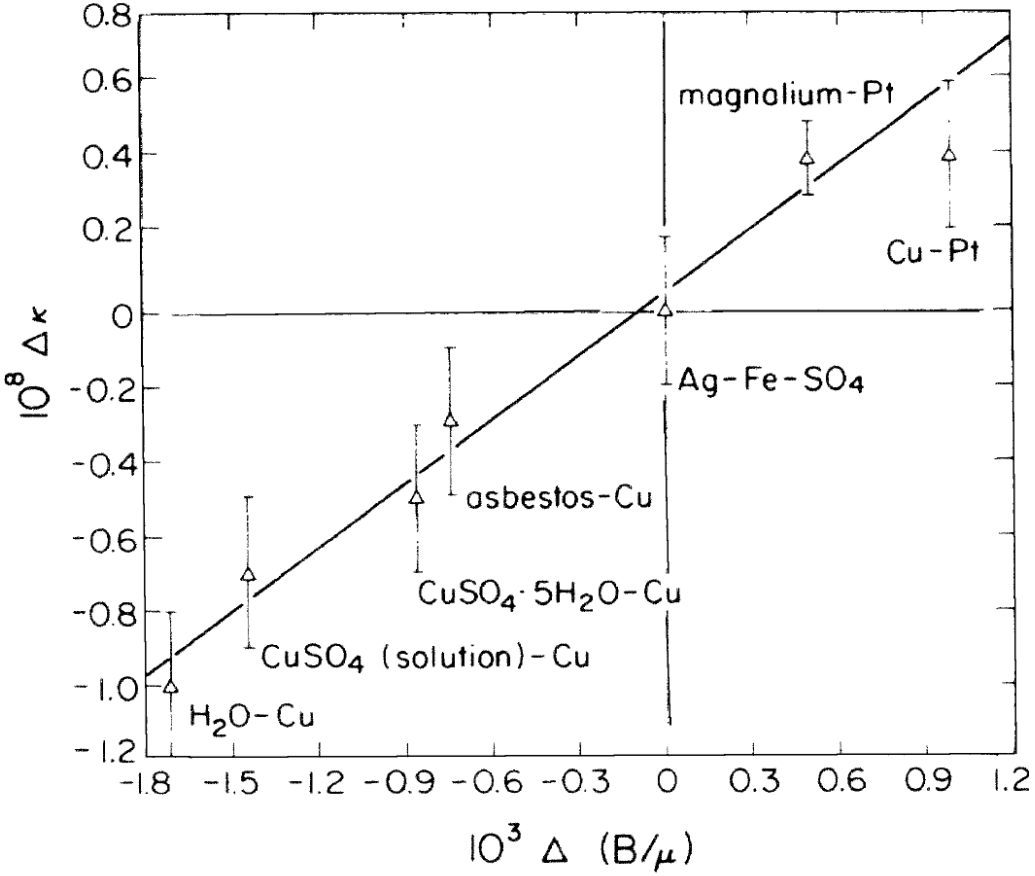
Miért pont négy?

	erősség	erőtörvény	hatótáv	történet
gravitációs (tömeg)	1	$\sim \frac{1}{r^2}$	∞	Newton (1687)
elektromágneses (töltés)	10^{36}	$\sim \frac{1}{r^2}$	∞	Maxwell (1873)
gyenge (íz)	10^{25}	$\sim \frac{1}{r} e^{-kr}$	$10^{-18} m$	Fermi (1934), ..., GSW (1968)
erős (szín)	10^{38}	$\sim r$	$10^{-15} m$	..., Higgs, ...

De összesen kettő: gravitációs és elektrogyengerős.

Eötvös-Pekár-Fekete (1904-22)

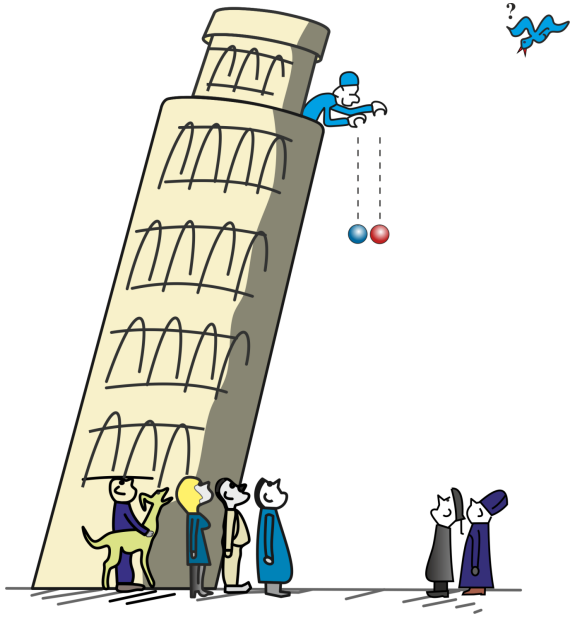
Fischbach-Sudarsky-Szafer-Talmadge-Aronson, 1986



$$\boxed{|F| = \gamma(1 + \Delta\kappa)\frac{mM}{r^2}}$$

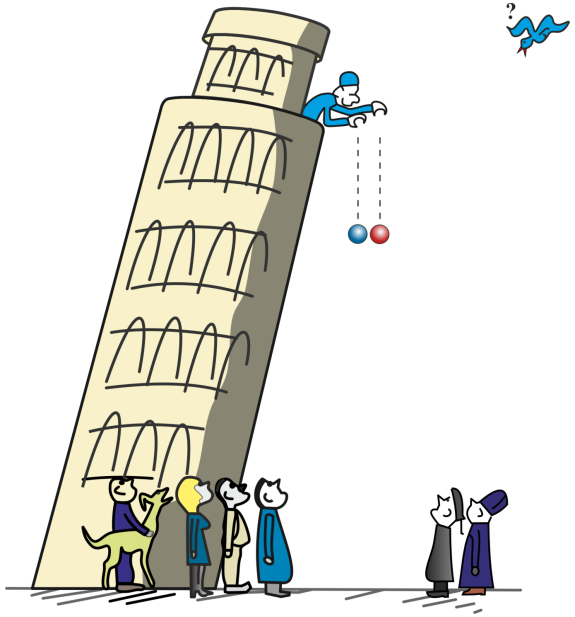
B - bariontöltés, μ - tömeg

$$F = m_T a = m_S g = m_S \gamma \frac{M}{r^2}$$



Tapasztalat vagy elmélet?

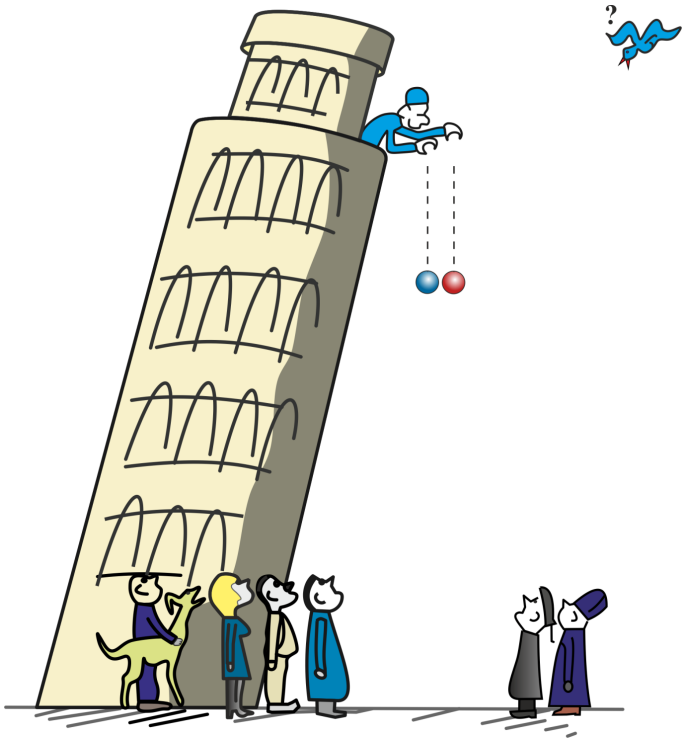
$$F = m_T a = m_S g = m_S \gamma \frac{M}{r^2}$$



Kalapács és toll?

Tapasztalat vagy elmélet?

$$F = m_T a = m_S g = m_S \gamma \frac{M}{r^2}$$



Kalapács és toll?

1971, David Scott,

Apolló 15

Tapasztalat és elmélet.

Elmélet = tapasztalatok egyszerűsítése.

Kísérlet: elmélet alapján tervezzük.

Univerzalitás: liftes (gondolat)kísérlet.

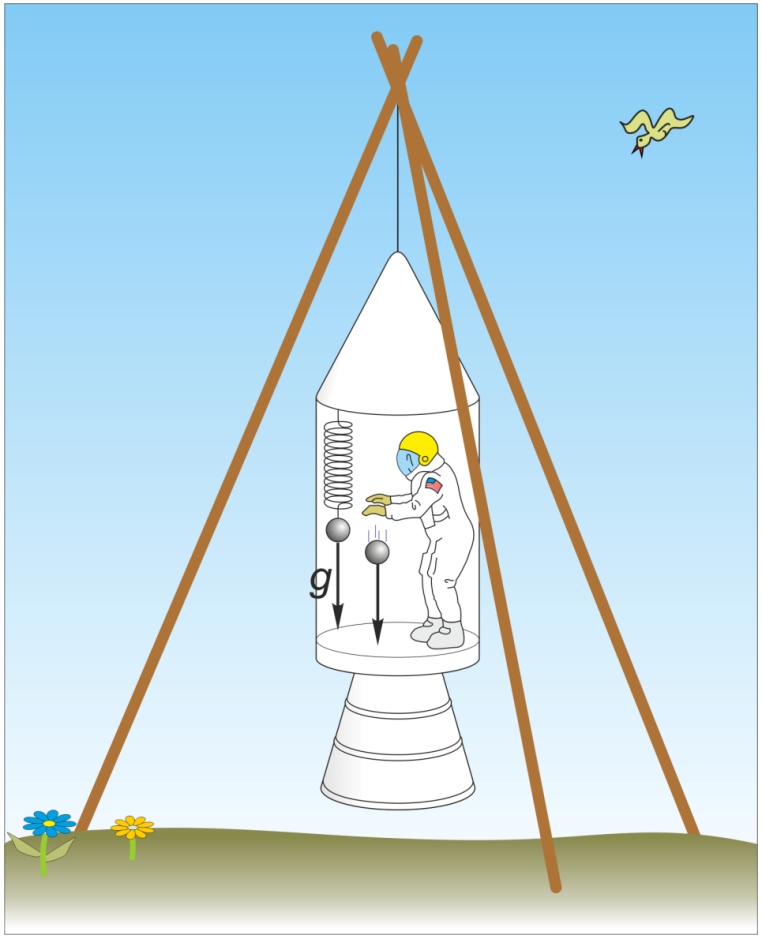
$$m_T a = m_S g = m_S \gamma \frac{M}{r^2}$$

$$a = g$$

... a gravitáció geometria,

azaz

általános relativitáselmélet.



Mozgás és erő, energia és tömeg

$$F = \gamma \frac{mM}{r^2} (1 + \Delta\kappa)$$

Hol van az eltérés Newton törvényétől: γ, m vagy $1/r^2$??
Energia erő helyett:

$$F = -V'(r) = -\frac{d}{dr}\left(\gamma \frac{mM}{r}\right) = \gamma \frac{mM}{r^2}$$

Yukawa korrekció:

$$\boxed{V(r) = \gamma \frac{mM}{r} \left(1 + \alpha e^{-r/\lambda}\right)}$$

λ méretskála. Távol és közel erők.

Energia $= mc^2$, de belső vagy teljes?

$$V = \gamma \frac{m_S M}{r} \left(1 + \alpha e^{-r/\lambda}\right)$$

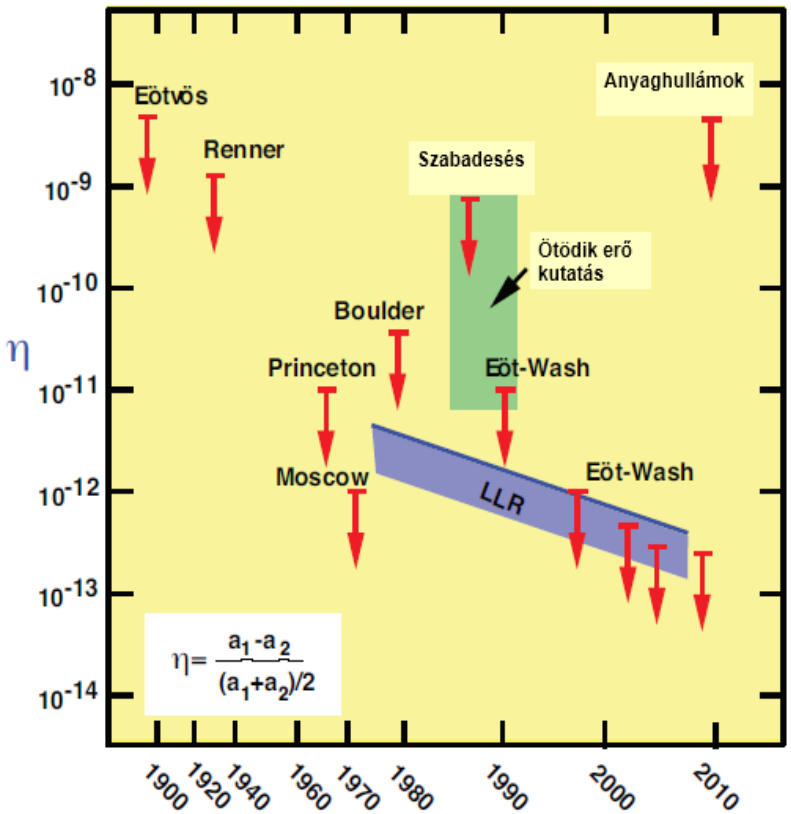
$$m_S = m_T + \eta_{kcsh} \frac{E_{kcsh}}{c^2}, \qquad \eta_{kcsh} \quad \text{csatolási állandó.}$$

Ha egy elméletben van kölcsönhatási energia, akkor az erőknek van hatótávolsága és sérülhet az ekvivalencia elv.

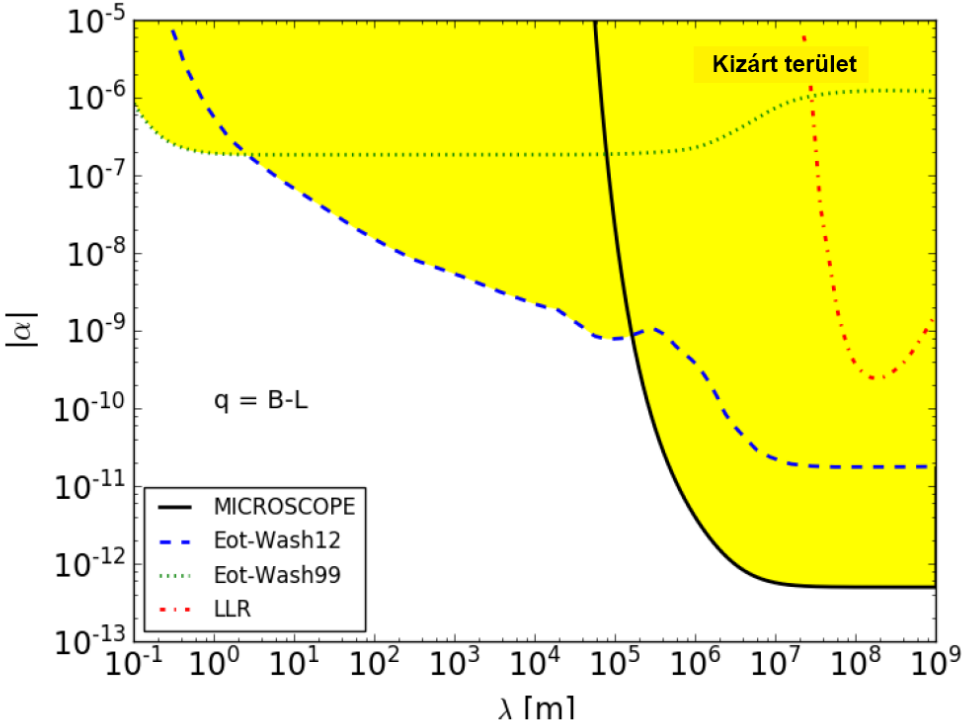
- Skalár, vektor kölcsönhatások, húrelmélet, extra dimenziók, szuperszimmetrikus elméletek, axionok, általánosított gravitáció (Horndeski, Brans-Dicke (?), MOND, stb.), ...
- extra dimenziók (Lukács-Barnaföldi), sötét bozon (Krasznahorkay), ...,
- időfüggő erő (Diósi)

Eddig nincs ötödik erő.

Egyre finomabb kísérletek szerint a gyenge ekvivalencia elv nem sérül.



Will (2014)



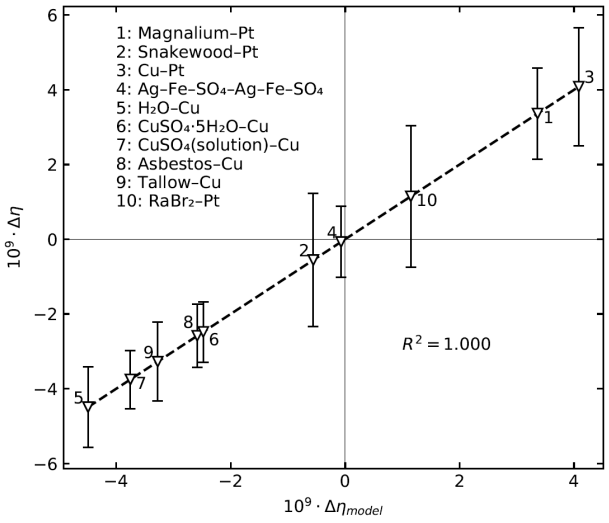
MICROSCOPE (2018)

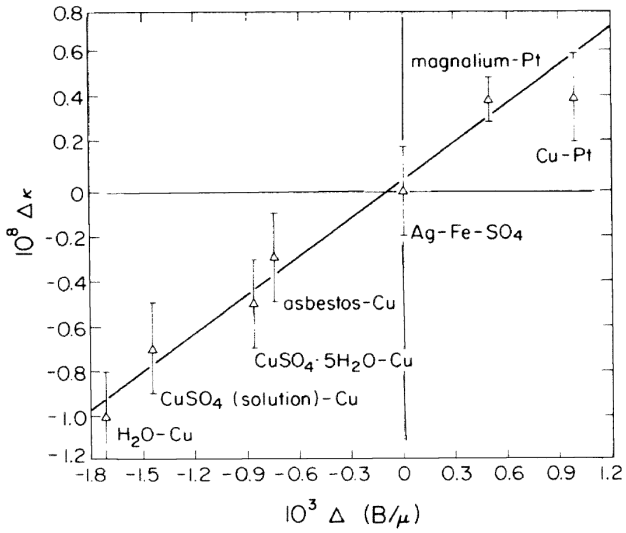
Vajon mit mért Eötvös Loránd?

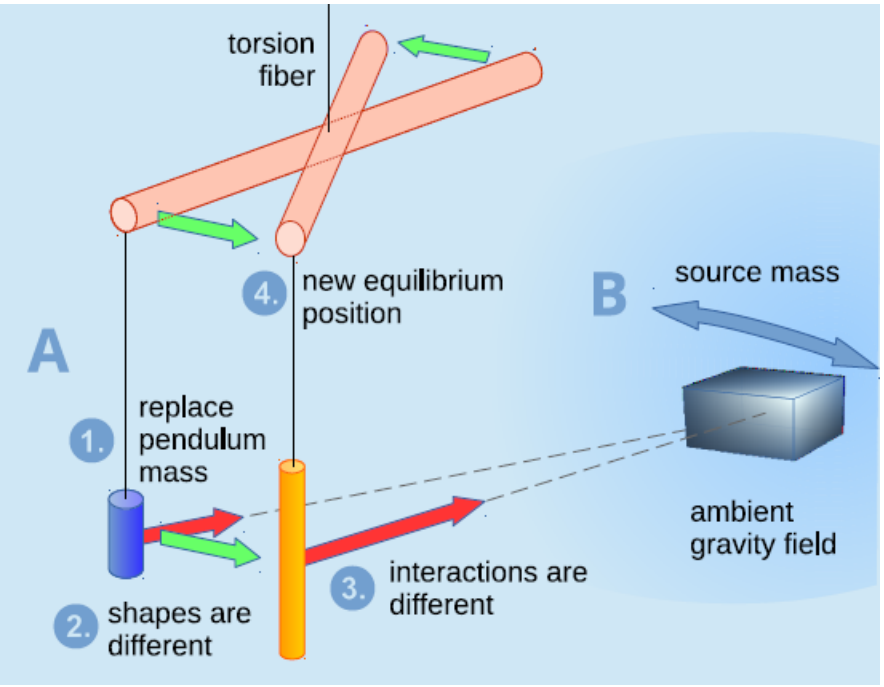
Az Eötvös-kísérlet újramérésében résztvevők:
Völgyesi Lajos
Szondy György
Tóth Gyula
Ván Péter
Eötvös Loránd (1848-1919) fizikus, geofizikus és a felsőoktatás megújítójának 100. évfordulója
Az UNESCO-val közösen emlékezve
Egyesült Nemzetek Nevelésügyi, Tudományos és Kulturális Szervezete
Fenyvesi Edit
Kiss Bálint
Péter Gábor
Harangozó Péter
Gróf Gyula
Lévai Péter
Barnaföldi Gergely
Deák László
Égető Csaba
Somlai László

Köszönöm a figyelmet!

Alakerő?







Tóth (2018)

Ekvivalencia elvek: gyenge, erős, stb...

Einstein eqvivalencia elv (EEP):

1. Gyenge ekvivalencia elve (WEP) avagy a szabadesés univerzalitása (UFF): "súly" arányos a "tömeggel".
2. Erős ekvivalencia elve (SEP): ugyanez öngravitáló testeknél.
3. Lokális Lorentz inveriancia (LLI),
4. Lokális helyzet invariancia (LPI).

Ha az Einstein ekvivalencia elv igaz, akkor a gravitáció elmélete alapulhat görbült téridőn.

Lásd: Will: Living Rev. Relativity, 2014

"Most of the ideas solving the big problems in physics predict effects that could show up in EP tests." (Adelberger)

Gyenge ekvivalencia elvének sérülése

Skalár, vektor kölcsönhatások, húrelmélet, extra dimenziók, szuperszimmetrikus elméletek, axionok, általánosított gravitáció (Horndeski, Brans-Dicke (?), MOND, stb.), ...

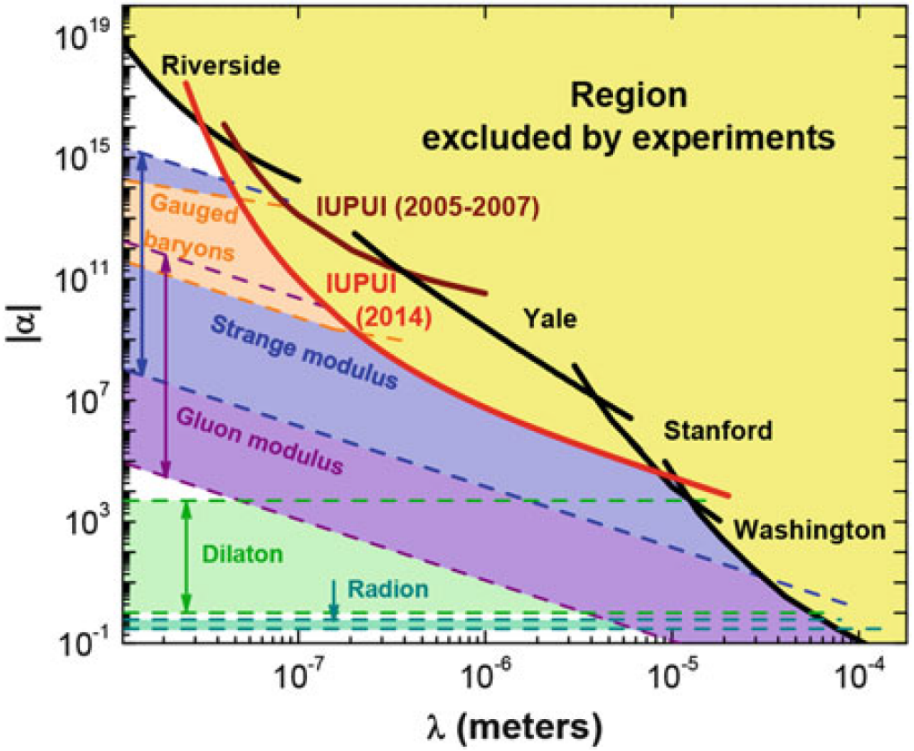
$$m_S = m_T + \sum_A \frac{\eta^A E^A}{c^2}$$

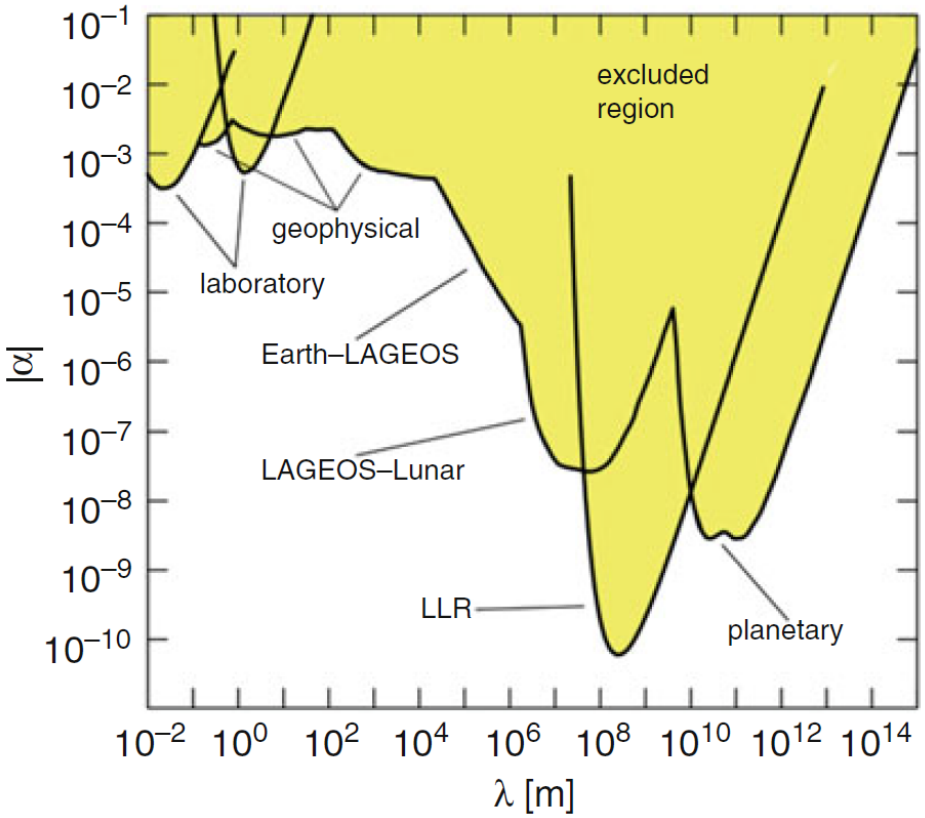
m_S a súlyos, passzív gravitáló tömeg, m_T tehetetlen tömeg
E^A belső energia, az A kölcsönhatás mellett, η^A a csatolási állandó
Pl. barionos kölcsönhatásra:

$$V(r) = -G_\infty \frac{m_1 m_2}{r}\left(1 + \alpha e^{-\frac{r}{\lambda}}\right), \qquad \alpha = -\xi_B \left(\frac{B_1}{m_1}\right)\left(\frac{B_2}{m_2}\right)$$

A konkrét elmélet megadja az értelmezést, gravitációt önmagát is beleértve. Célzott kísérletek.

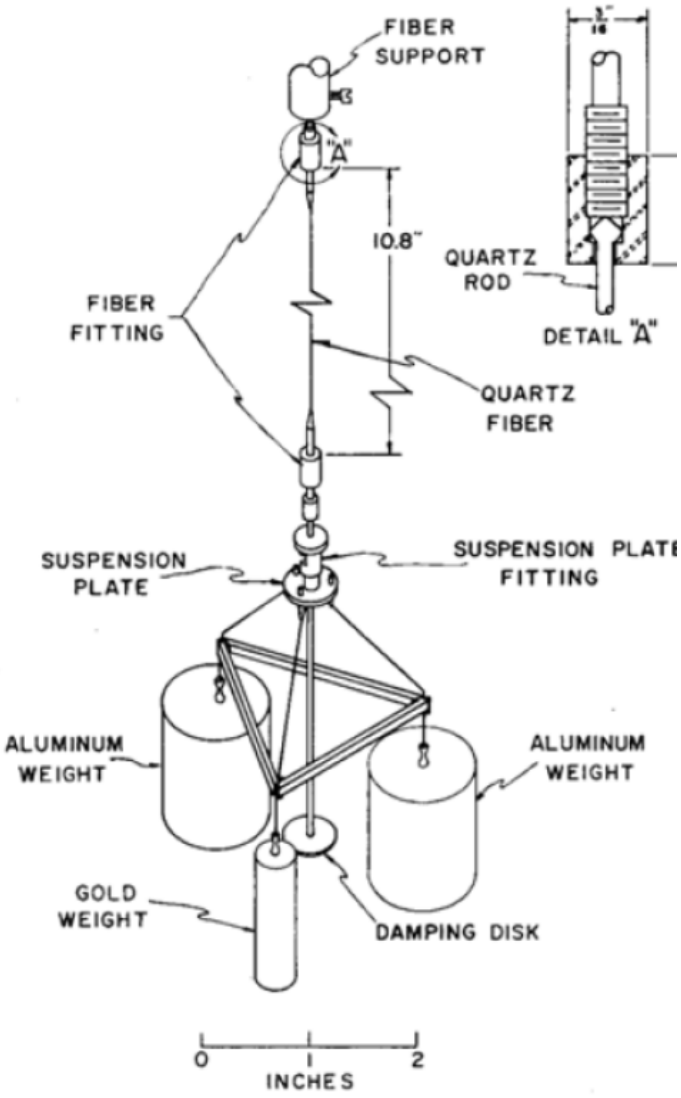
Gyenge ekvivalencia helyzetkép 1

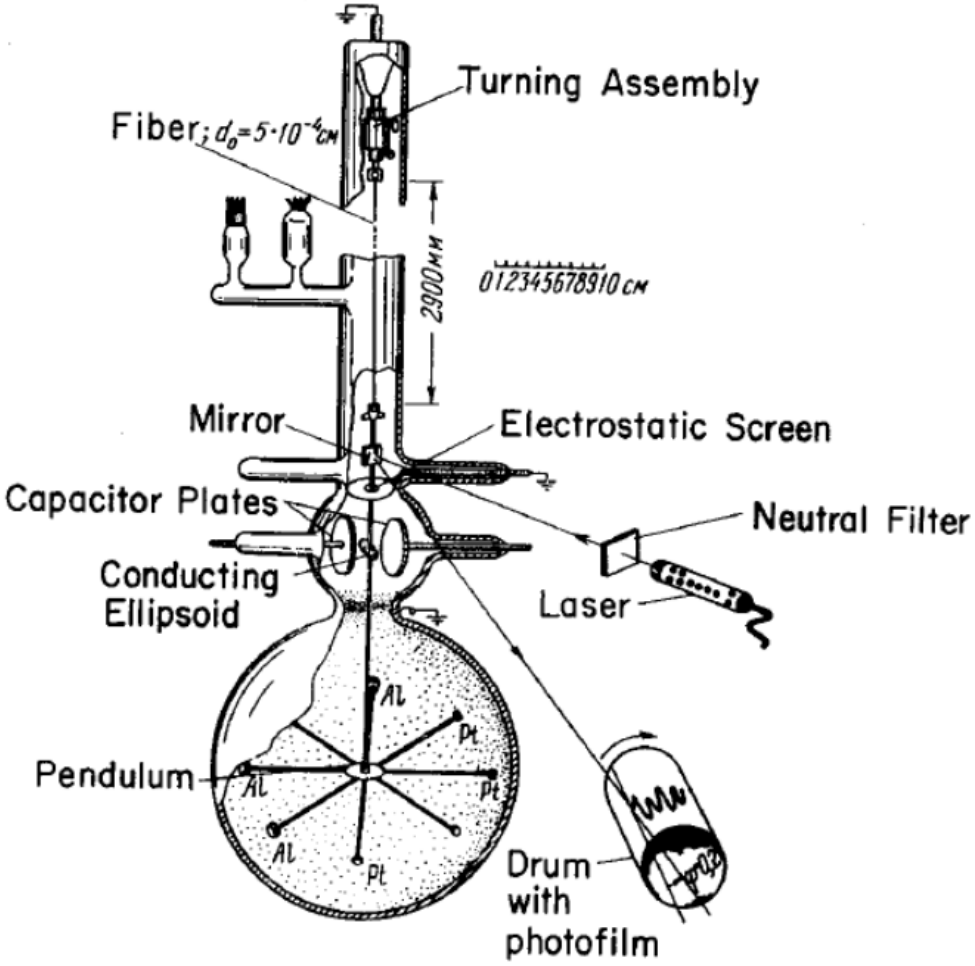




Franklin-Fischbach (2016), Adelberger et al. (2009).

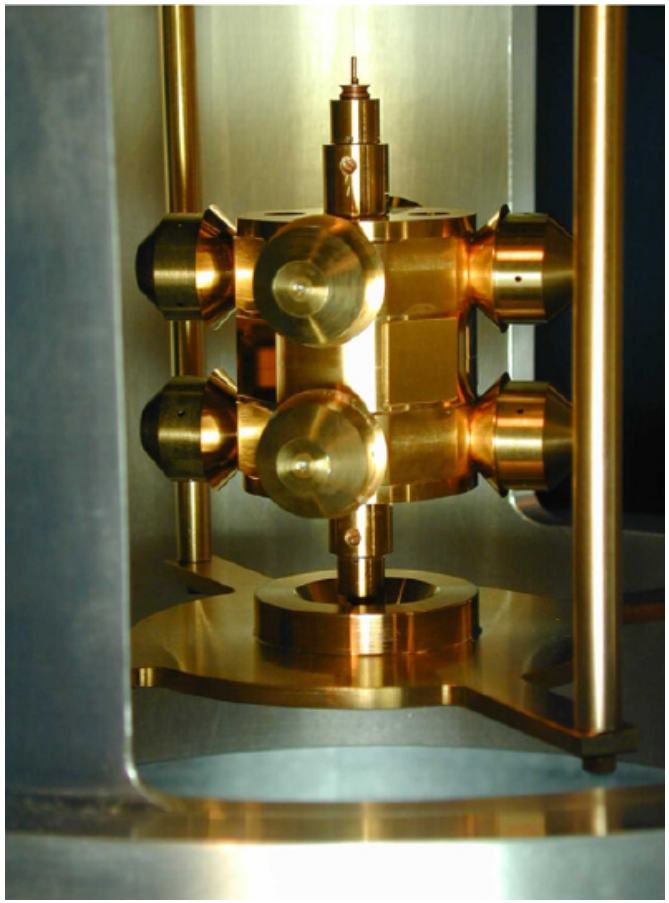
Roll-Krotkov-Dicke (1964); Panov-Braginskii (1972)

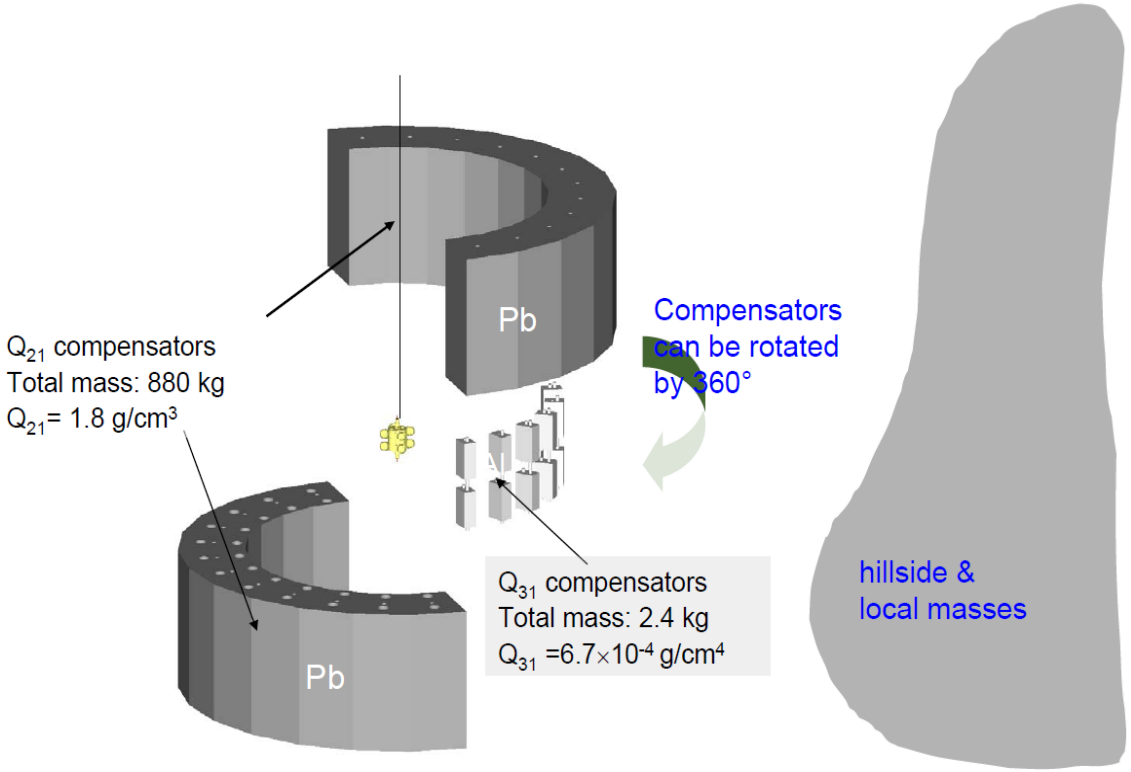




Nap a referencia, 24 órás periódus (Eöt-Wash), torziós drift.

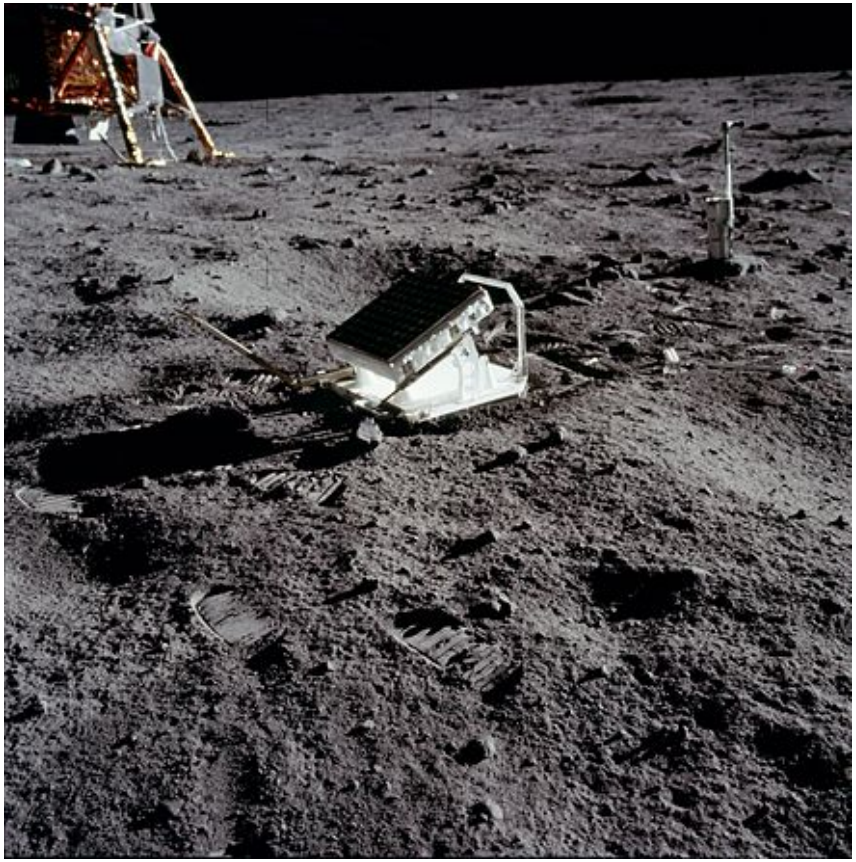
Eöt-Wash

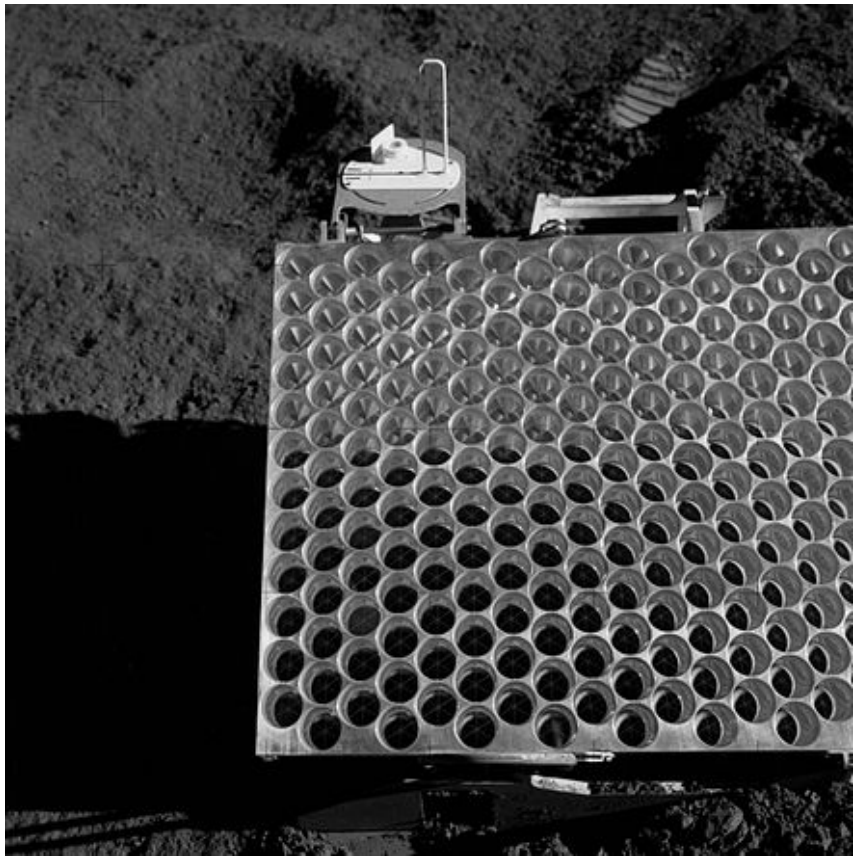




Hatalmas gradiensek, kompenzált első momentum, üreges teszttömegek

Holdradar kísérlet

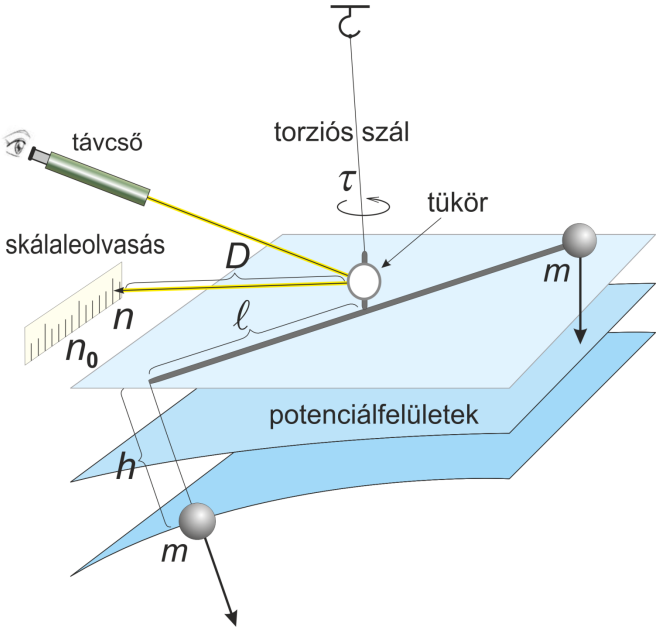


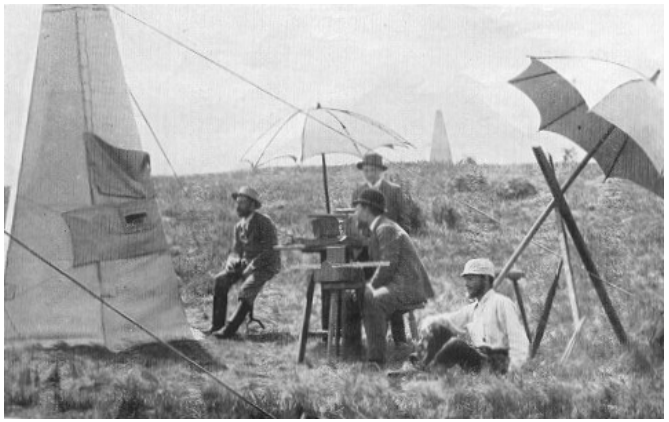


Bay Zoltán, Apollo 11 és Apollo 15.
Hold és Föld különböző anyagú, illetve erős ekvivalencia.

Az Eötvös-inga (1896-1934)

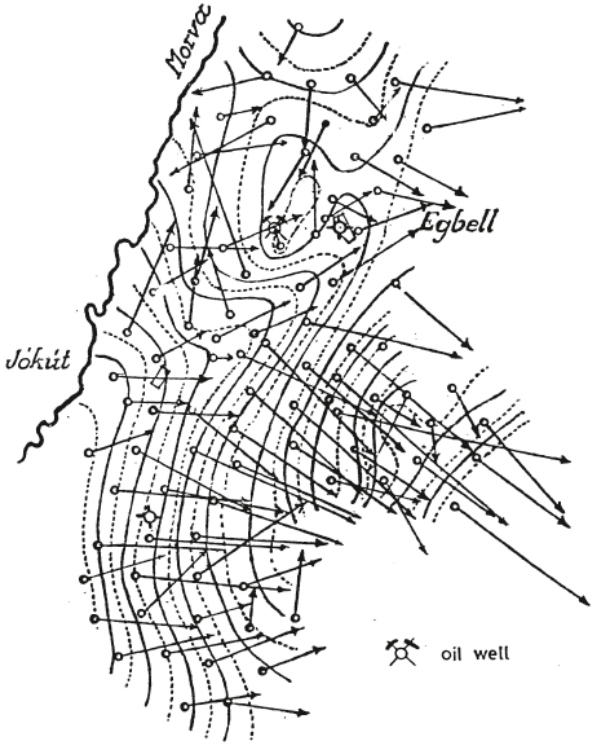
- 1886 Coulomb-inga korszerűsítés: gravitációs sokszorozó
- 1889 első ekvivalencia mérések, fényképezés, automatizálás, tükör, szál öregítés
- 1891 súlyok szinteltolása: horizontális variométer
- Sághegyi mérés: számolható, anomália?
- 1902 Kettős inga: rövidebb, pontosabb mérés
- 1906 Budapest-Arad konferencia: állami támogatás
- 1906-09 EPF mérések, vízhűtés
- 1916-17 Egbell hitelesítés
- 1920-38 Texas, India, Venezuela, Perzsia,...
- 1934 Budafapuszta (Kondor: A másik szárnysegéd)





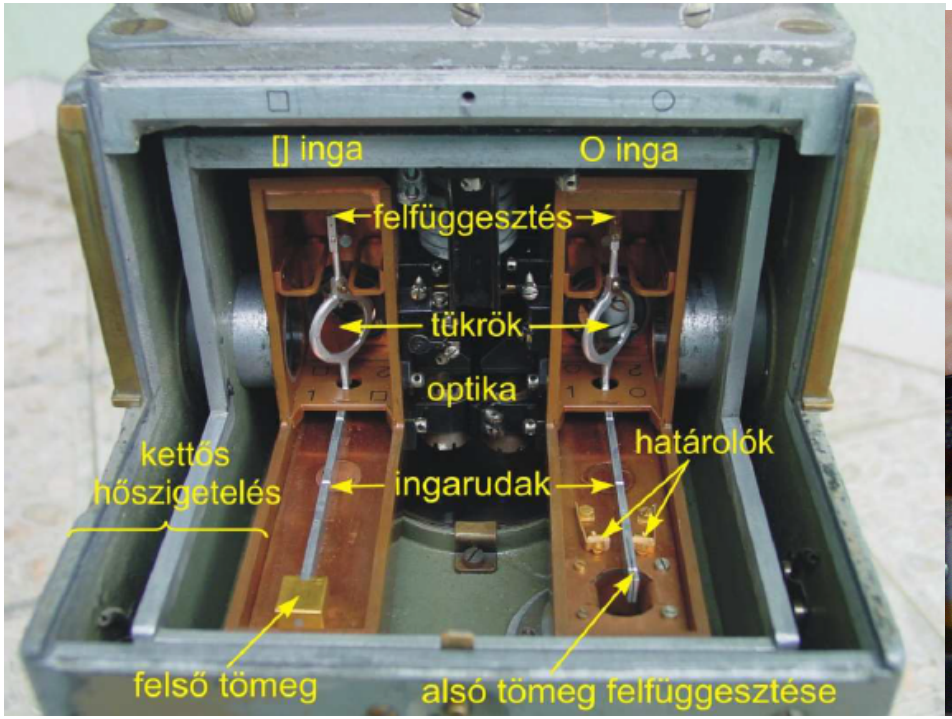
Az Eötvös-inga (1896-1934)

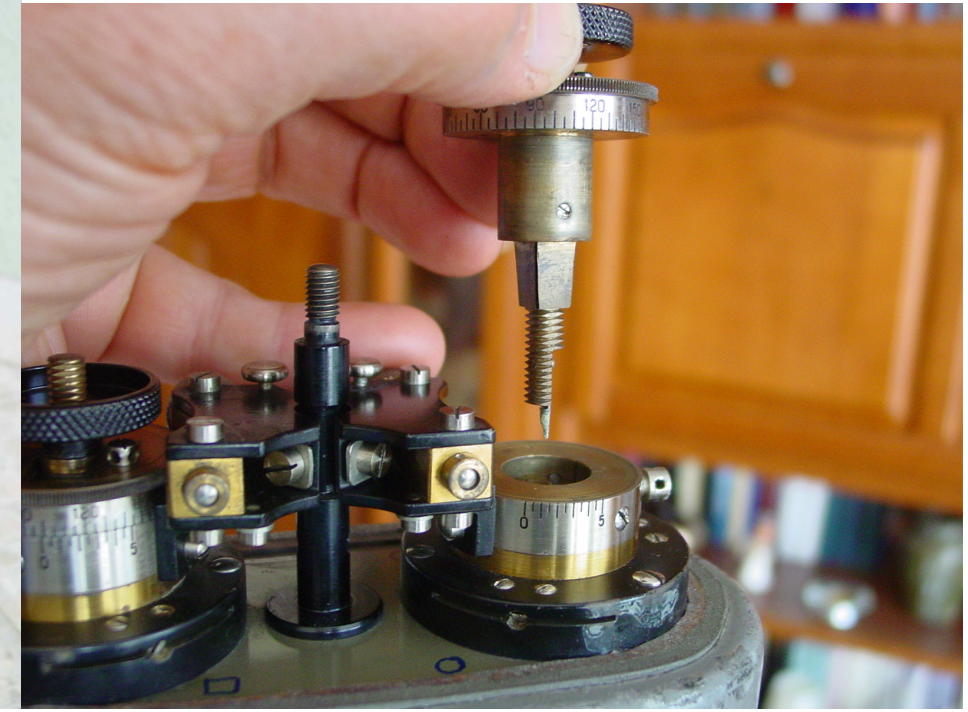
- 1886 Coulomb-inga korszerűsítés: gravitációs sokszorozó
- 1889 első ekvivalencia mérések, fényképezés, automatizálás, tükör, szál öregítés
- 1891 súlyok szinteltolása: horizontális variométer
- Sághegyi mérés: számolható, anomália?
- 1902 Kettős inga: rövidebb, pontosabb mérés
- 1906 Budapest-Arad konferencia: állami támogatás
- 1906-09 EPF mérések, vízhűtés
- 1916-17 Egbell hitelesítés
- 1920-38 Texas, India, Venezuela, Perzsia,...
- 1934 Budafapuszta (Kondor: A másik szárnysegéd)



Két Eötvös-inga: AutERBal, kis eredeti Pekár

Az Eötvös-inga: finom, titokzatos szerkezet

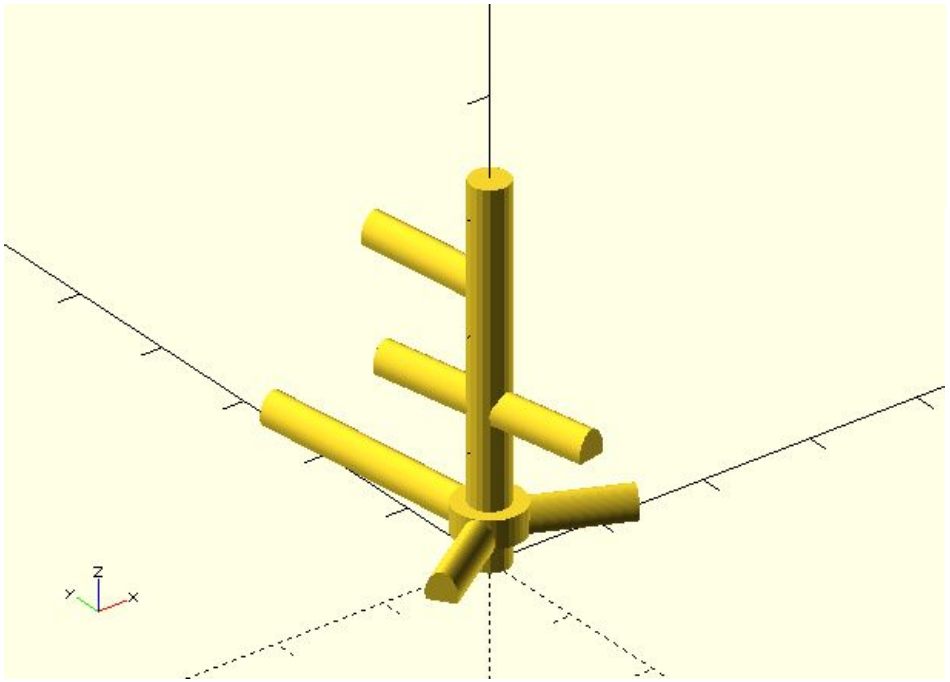


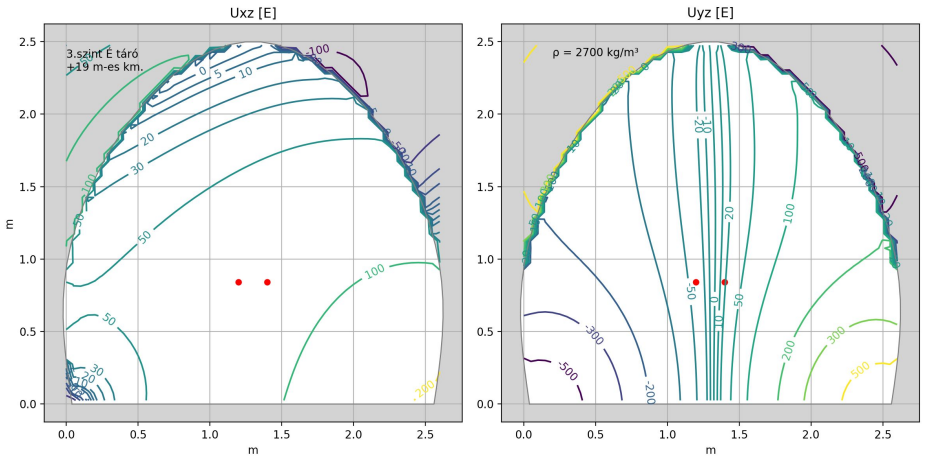


tükrök, torziós szál és alsó tömeg

Eötvös-inga korszerűsítés

Jánossy-akna - földalatti kutatólaboratórium





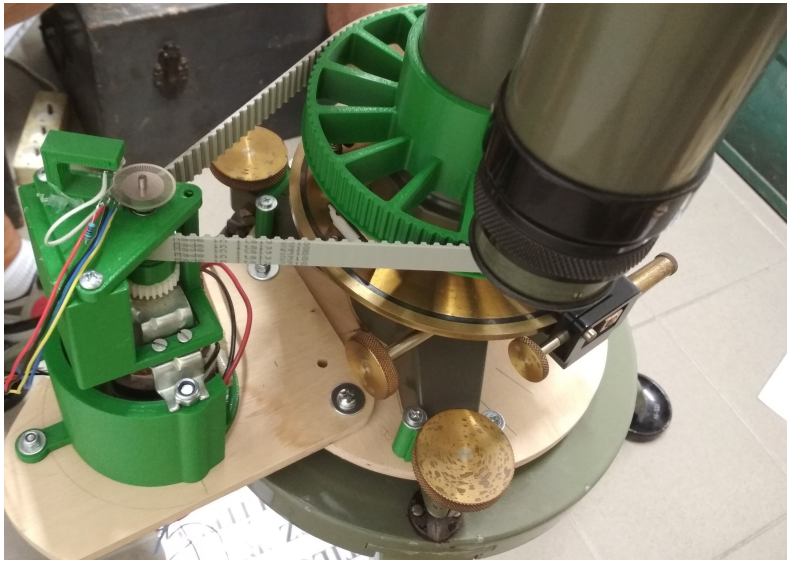
- 30m mély, $\pm 0.02^\circ C$/nap hőmérsékleti stabilitás,
- számolt gravitációs gradiens (Eötvös)

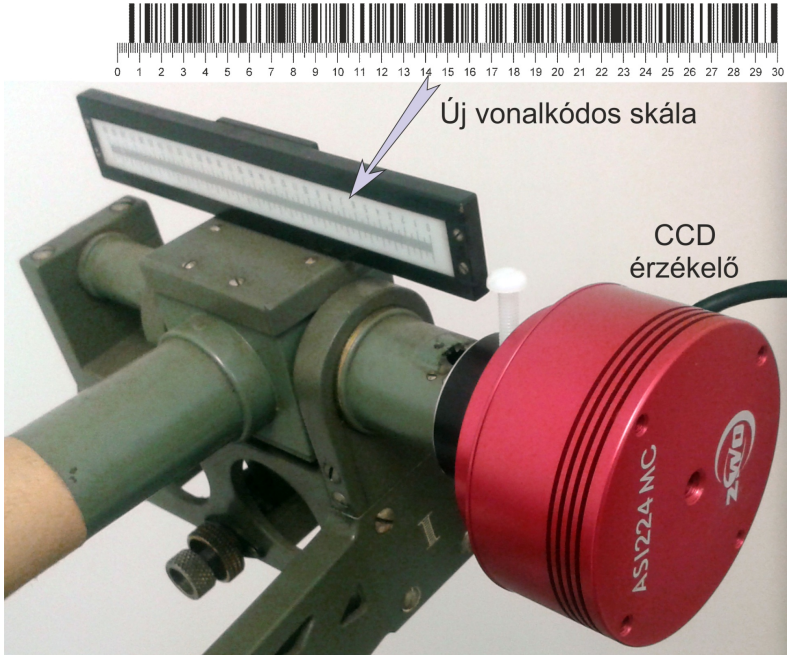
Fejlesztések

Első fázis:

- automatikus forgatás,
- automatikus adatgyűjtés és kiértékelés
- csendes, ellenőrzött környezet,

Várható érzékenység: 10^{-10}





Az Eötvös-inga a Jánossy-aknában

... és egy GI-B011 giroteodolit.

Motiváció

- Kapcsolt gravitációs kutatások, zaj (szeizmikus, ET)
- Alkalmazás, technológia. Egzakt Föld alak, ásványkutatás
- Fischbach levelezés. Ötödik erő?
- Eötvös év
- Nemegyensúlyi termodinamika: ee sértés?
- Mindez így együtt érdekes ...

A tömegek kiszabadítása

SEP violations

Generalized gravitation, e.g. Horndeski, Brans-Dicke (?), MOND, ...

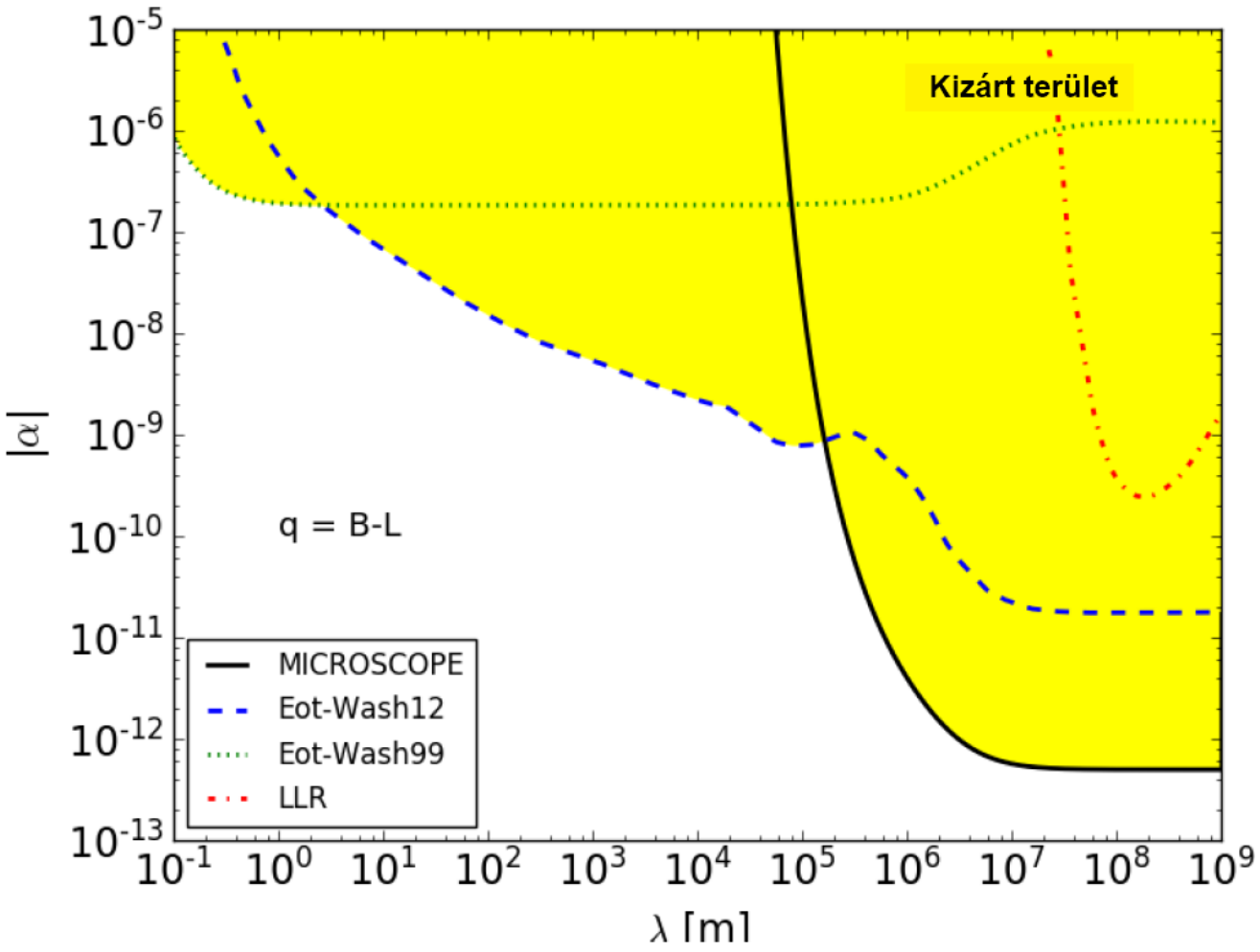
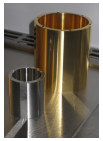
$$m_P = m_I + \eta_N E_g$$

It is WEP for self-gravitating bodies, so called Nordtvedt effect. m_P passive gravitational mass, m_I inertial gravitational mass.
E_N is gravitational self-energy, η_N is the coupling constant.
With PPN parameters:

$$\eta_N = 4\beta - \gamma - 3 - \frac{10}{3}\xi - \alpha_1 + \frac{2}{3}\alpha_2 - \frac{2}{3}\zeta_1 - \frac{1}{3}\zeta_2.$$

γ, β, cuvature and superposition nonlinearity (Eddington-Robertson-Schiff); ξ preferred-location; $\alpha_{1,2,3}$ preferred-frame; α_3, $\zeta_{1,..,4}$ total momentum conservation.

MICROSCOPE



Platinum and titanium test masses. $\eta < 10^{-14}$.