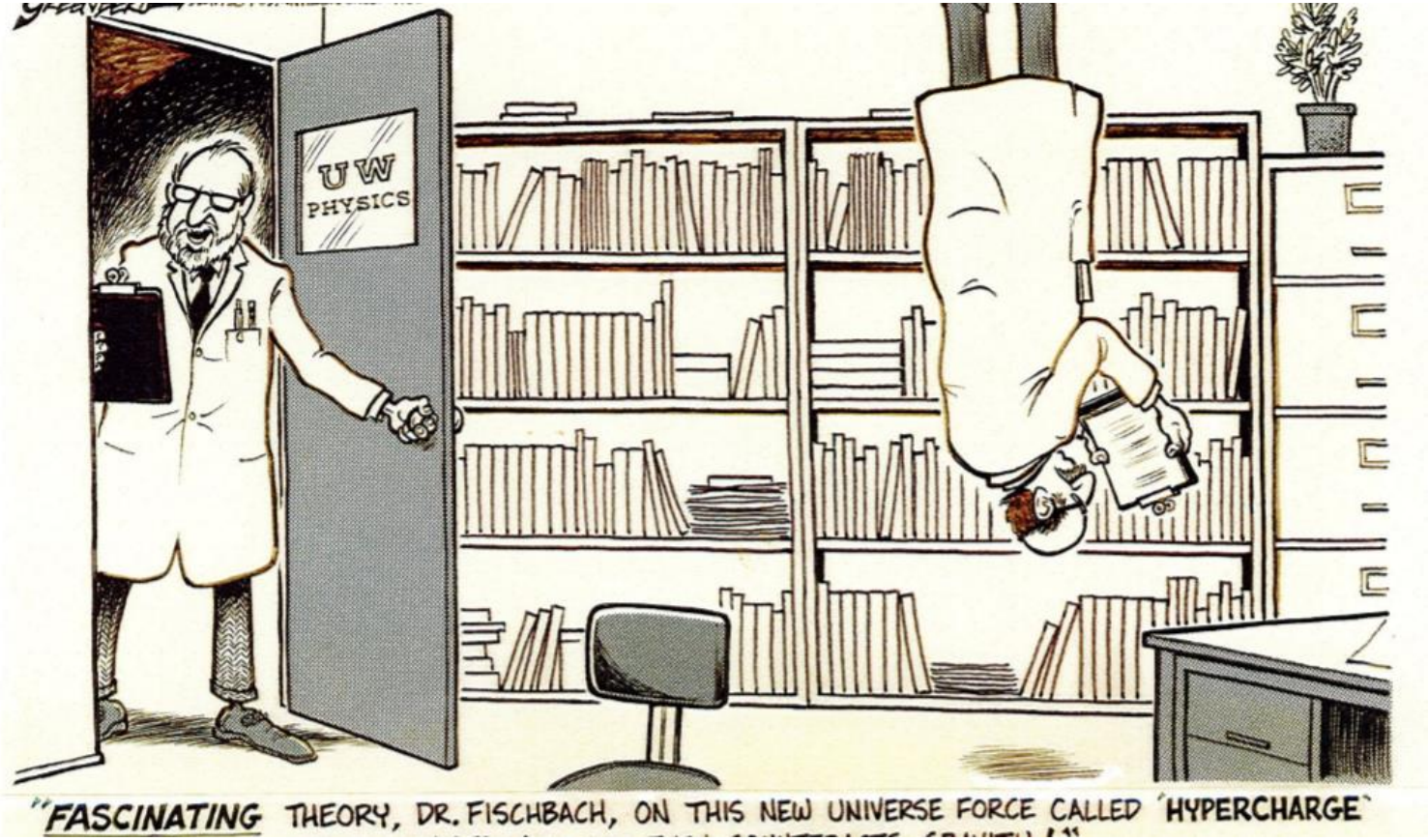
Az Eötvös-inga
és az
Ötödik Erő



Newsweek, 1986. január 20.

„Izgalmas az elmélete Fischbach professzor a HIPERTÖLTÉS-nek hívott új erőről, ami a gravitációval együtt, de azzal ellentétesen hat!”

Az Ötödik Erő (New York Times 1986. január 8.)

"All the News That's Fit to Print"

The New York Times

Late Edition

Weather: Mostly sunny and cold today, strong winds; clear and cold tonight. Partly sunny and warmer tomorrow. Temperatures: today 23-27, tonight 15-20; yesterday 18-27. Details, page C20.

VOL.CXXXV . . No. 46,648 Copyright © 1986 The New York Times NEW YORK, WEDNESDAY, JANUARY 8, 1986 30 CENTS

Hints of 5th Force in Universe Challenge Galileo's Findings

By JOHN NOBLE WILFORD

A new analysis of early 20th-century experiments has produced results challenging both the findings of Galileo that all falling bodies accelerate at the same rate and a fundamental element of Einstein's general theory of relativity.

This has led physicists to suspect that there may be a fifth, heretofore unidentified force at work in the universe.

Scientists said the new study, published in the Jan. 6 issue of Physical Review Letters, could have a profound influence on thinking in physics and cosmology if the results can be substantiated by further experiments. Those who had examined the report said it appeared to be based on sound research.

Principle of Equivalence

Even though the new findings seemed to undermine a basic assumption made by Einstein — the principle of equivalence that stemmed from Galileo's work — scientists said the hypothesized new force, called the hypercharge, was so weak and local that, if it did exist, it should not fundamentally alter Einstein's principles as the basic tool of modern cosmology.

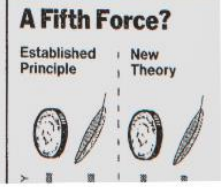
The other known forces are electromagnetism, gravity and the strong and weak forces governing nuclear structure.

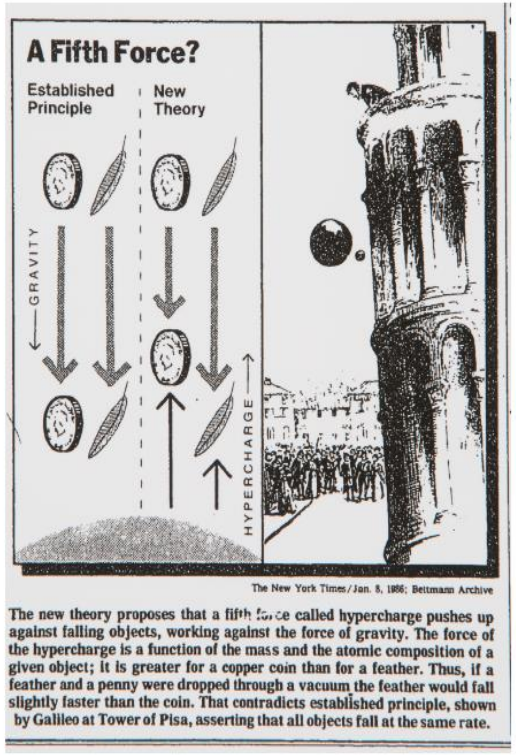
The new analysis suggests that, contrary to Galileo's assertion, a feather would fall faster than a coin if dropped from the same height in a vacuum. This is because, in the new thinking, gravity is not the only force at work; there is also presumably something called hypercharge, which acts on objects of different compositions so that they accelerate at slightly different rates.

In a telephone interview, Dr. Ephraim Fischbach, the leader of the team of scientists who made the study, said: "When you see something as fundamental as a new force, it's likely to change many things. We will have to rethink many views of particle physics and cosmology."

Dr. Fischbach, a professor of physics at Purdue University in Indiana, is a visiting professor this year at the Institute of Nuclear Theory at the University of Washington in Seattle. The other authors of the report are Daniel Sudar-

Continued on Page B7, Column 1





The New York Times/Jan. 8, 1986; Bettmann Archive

The new theory proposes that a fifth force called hypercharge pushes up against falling objects, working against the force of gravity. The force of the hypercharge is a function of the mass and the atomic composition of a given object; it is greater for a copper coin than for a feather. Thus, if a feather and a penny were dropped through a vacuum the feather would fall slightly faster than the coin. That contradicts established principle, shown by Galileo at Tower of Pisa, asserting that all objects fall at the same rate.

Ephraim Fischbach Tihanyban az Eötvös-ingák kiállításán 1988-ban

Az ismert négy alapvető erő

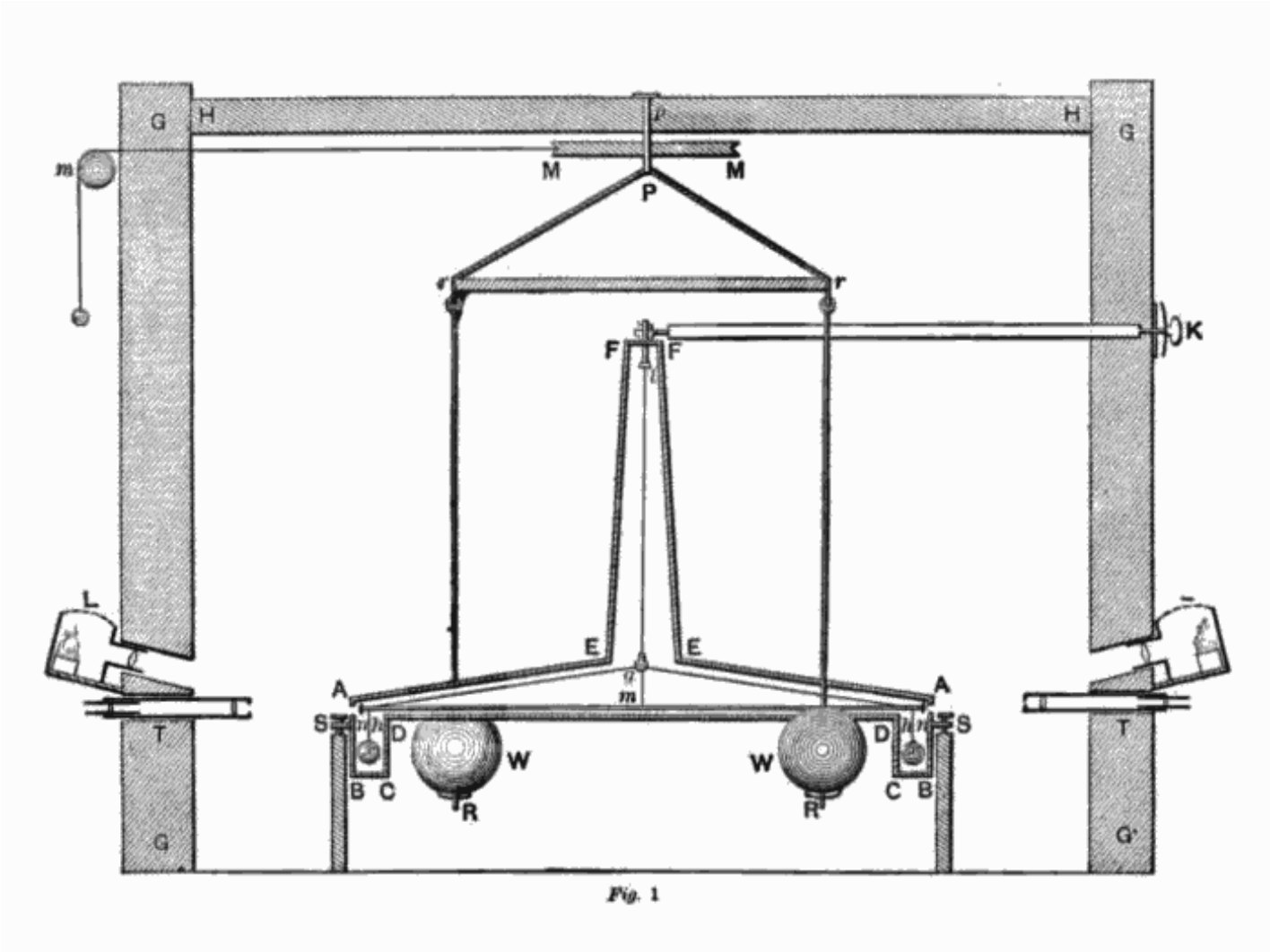
1. A gravitációs tömegvonzás

Isaac Newton (1687) : a Földet a Nap körüli pályán tartó erő

Henry Cavendish (1797/98) : acélgolyók közötti vonzás kimutatása

torziós ~~ingával~~ mérleggel

Cavendish torziós mérlege



Az ismert négy alapvető erő

2. Az elektromos erőhatás

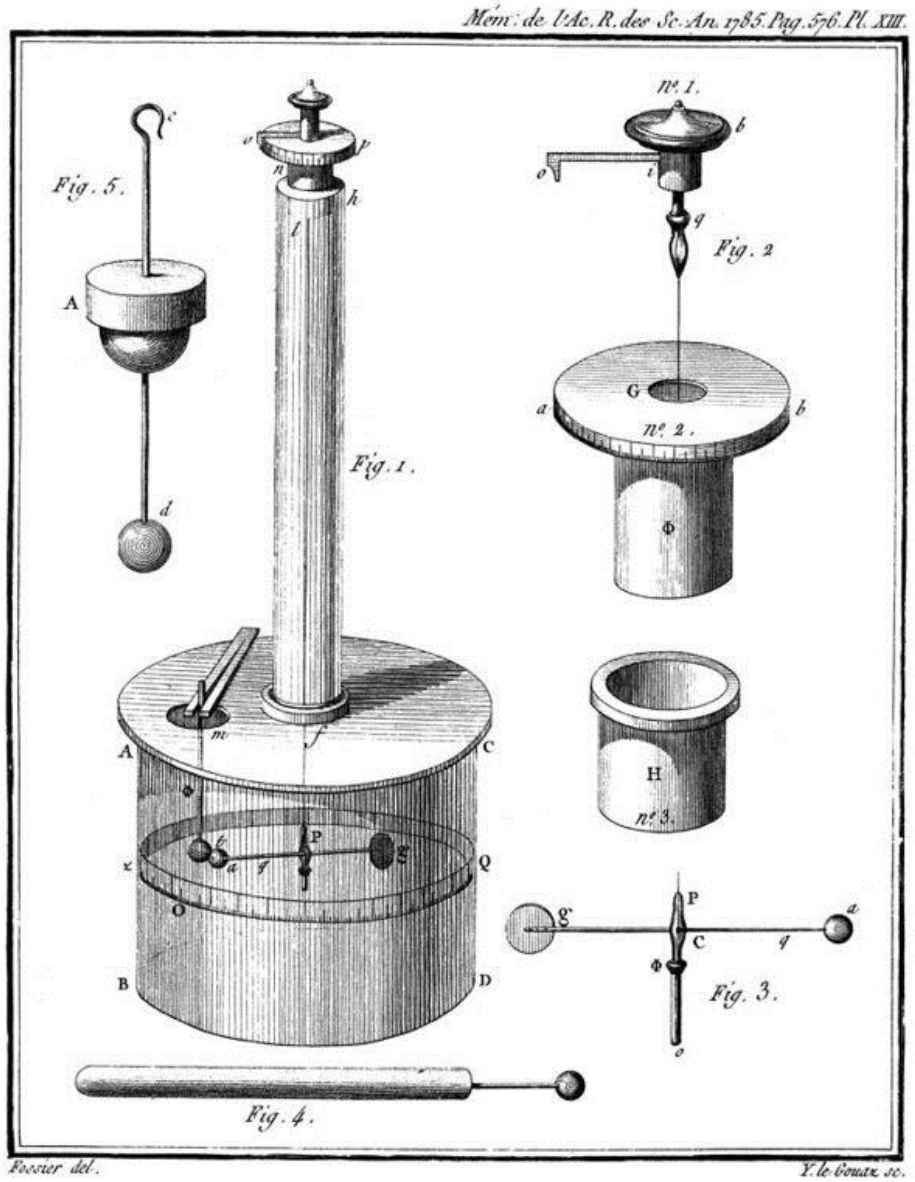
Charles Augustin de Coulomb

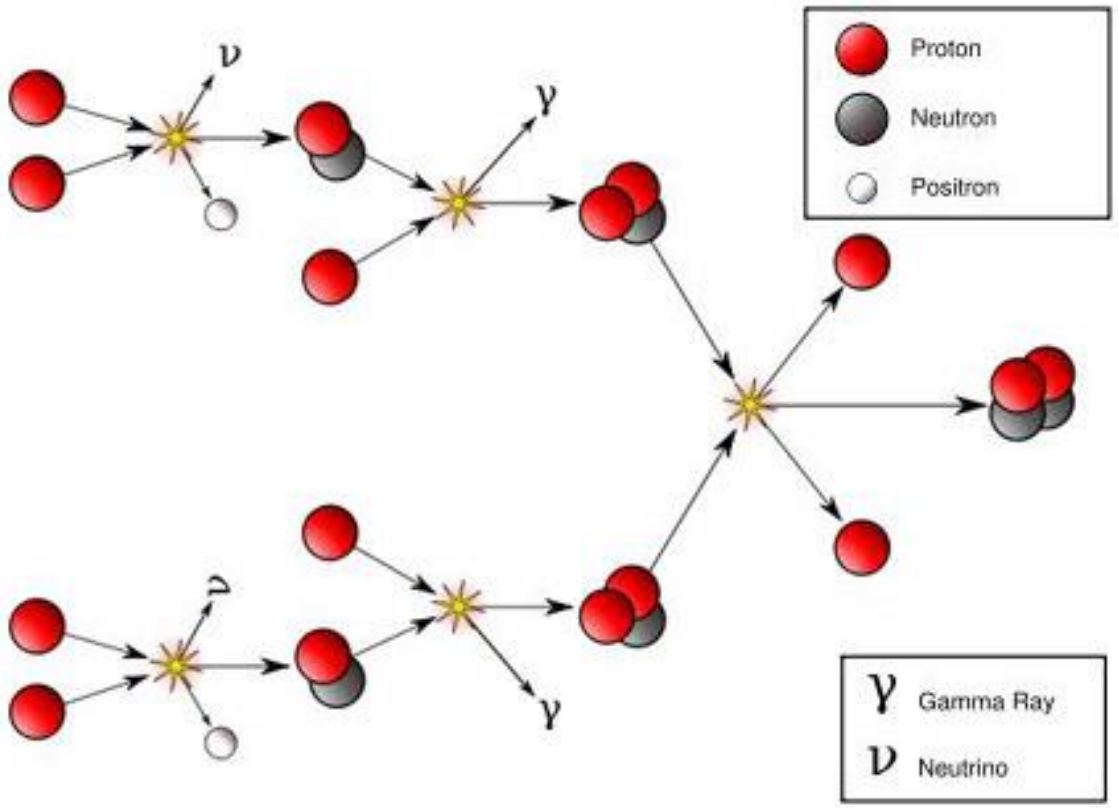
(1785)

„Ha két ember kartávolságra állna egymástól és mindegyiküknek 1 százalékkal több elektronja lenne, mint protonja, akkor a taszító erő elég lenne az egész Föld súlyával egyenlő nagyságú súly felemeléséhez.”

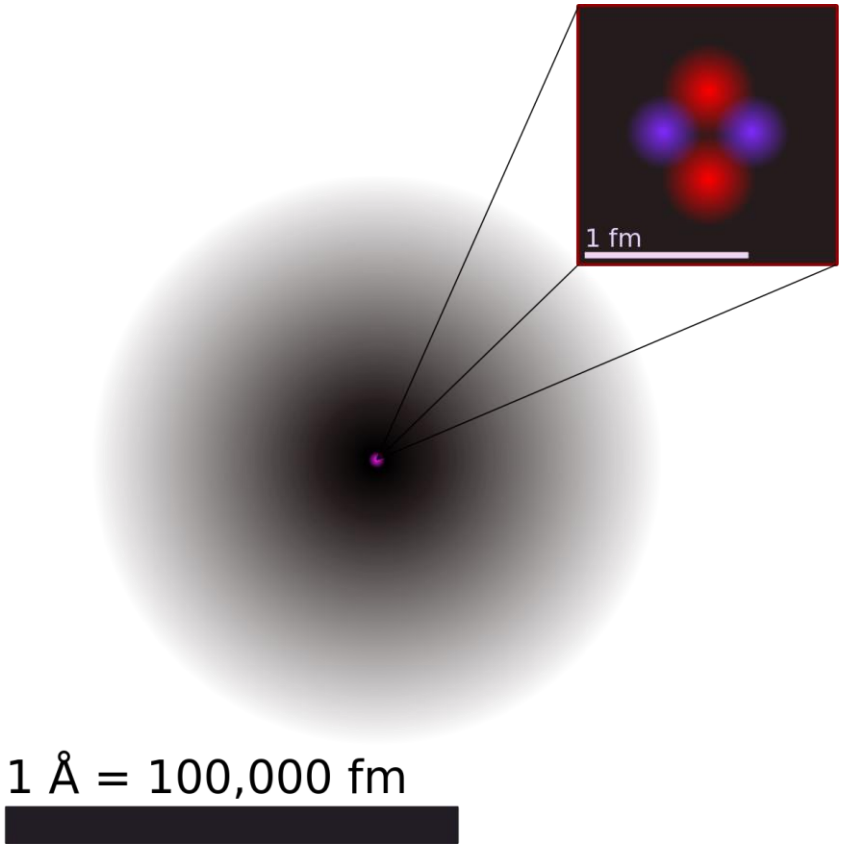
(The Feynman Lectures on Physics)

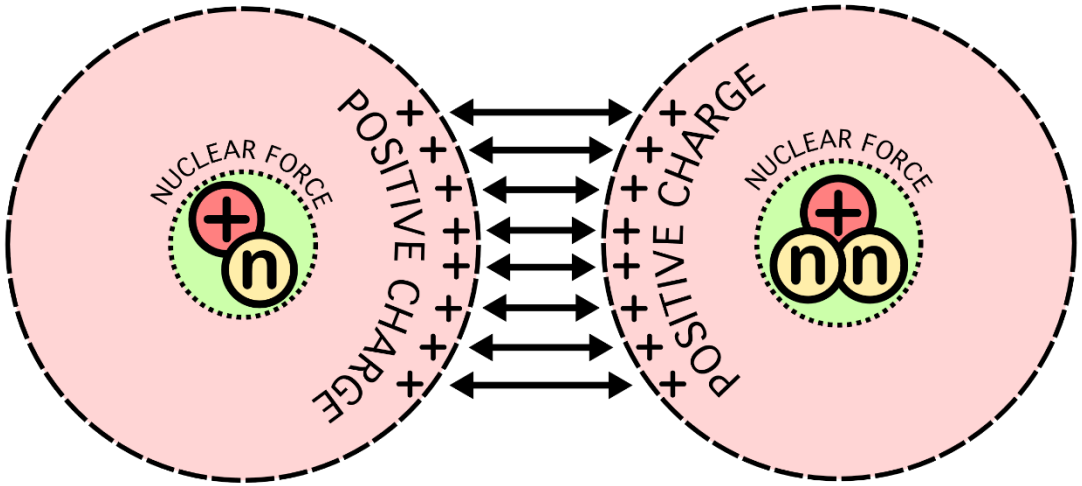
Coulomb torziós mérlege





4. E. Fermi (1933): A gyenge magerő nélkülözhetetlen!





3. H. Yukawa (1935) Az erős magerő és harca az elektromos taszítóerővel

A kölcsönhatás hatósugara és közvetítő részecskéjének tömege

Az erős erőtér hatósugara az atommag átmérője nagyságrendileg 0,000 000 000 000 001 méter

Kvantumelmélet: az erőt az erőtér kvantumának cseréje közvetíti

Nulla tömegű foton a Coulomb-erő hatósugara végtelen

Végtelen hatósugarú tömegvonzás a gravitáció kvantumának tömege nulla

Yukawa jóslata:
Az atommag alkotórészei közötti erőtér
kvantumának tömege nagyjából az elektron tömegének 200-szorosa lesz

1947: a pion felfedezése

Létezik-e további alapvető kölcsönhatás?

DEBRECENI kutatók kérdése:

Mekkora a hatósugara egy olyan erőtérnek,
amelyet a pionnál nagyjából nyolcszor kisebb tömegű kvantum közvetít?

Létezik-e további alapvető kölcsönhatás?

DEBRECENI kutatók kérdése:

Mekkora a hatósugara egy olyan erőtérnek,
amelyet a pionnál nagyjából nyolcszor kisebb tömegű kvantum közvetít?

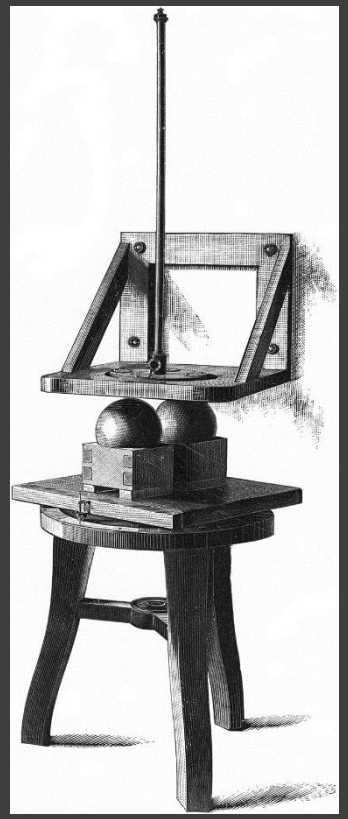
PRL **116,** 042501 (2016) PHYSICAL REVIEW LETTERS week ending 29 JANUARY 2016

Observation of Anomalous Internal Pair Creation in ^{8}Be: A Possible Indication of a Light, Neutral Boson

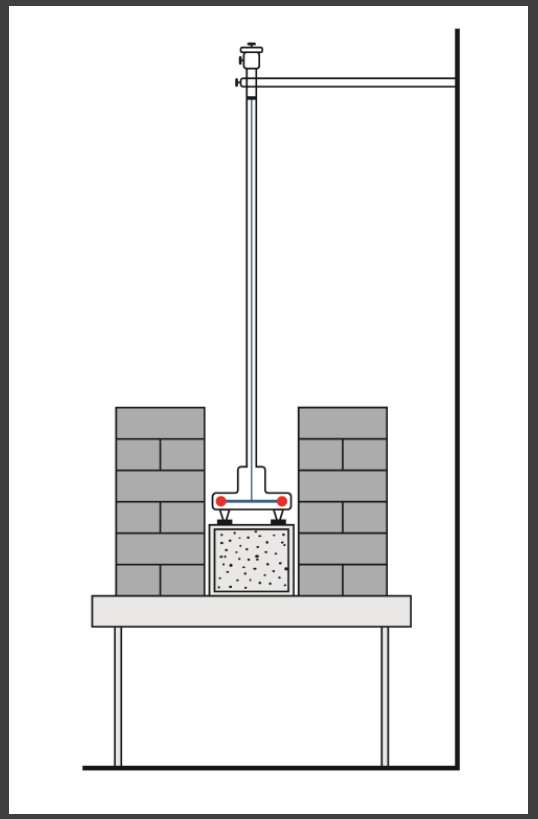
A. J. Krasznahorkay,* M. Csatlós, L. Csige, Z. Gácsi, J. Gulyás, M. Hunyadi, I. Kuti, B. M. Nyakó, L. Stuhl, J. Timár, T. G. Tornyi, and Zs. Vajta
Institute for Nuclear Research, Hungarian Academy of Sciences (MTA Atomki), P.O. Box 51, H-4001 Debrecen, Hungary

T. J. Ketel
Nikhef National Institute for Subatomic Physics, Science Park 105, 1098 XG Amsterdam, Netherlands

A. Krasznahorkay
CERN, CH-1211 Geneva 23, Switzerland and Institute for Nuclear Research, Hungarian Academy of Sciences (MTA Atomki), P.O. Box 51, H-4001 Debrecen, Hungary
(Received 7 April 2015; published 26 January 2016)



Cavendish-hatás

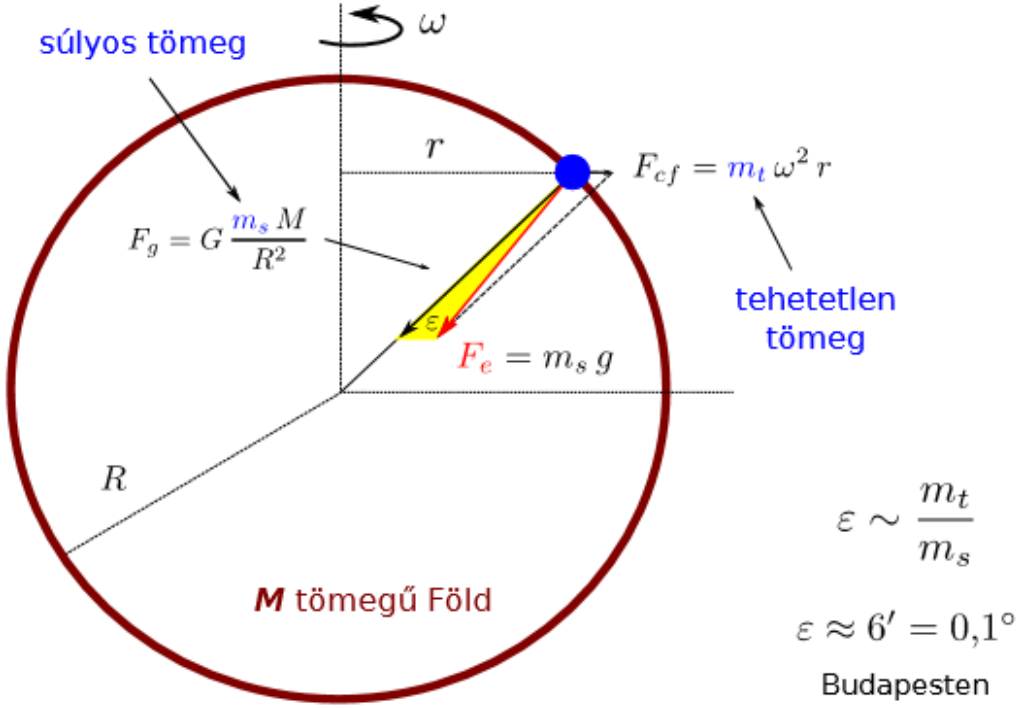


Gravitációs állandó mérése

Görbületi variométer

Eötvös Loránd gravitációs mérései (1888-90)

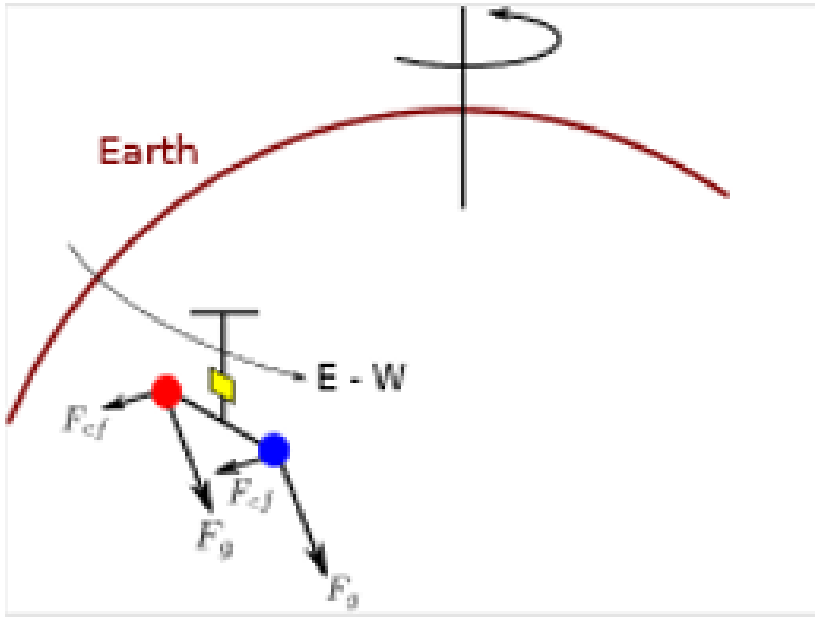
A torziós mérleg tömegeire ható súlyerő



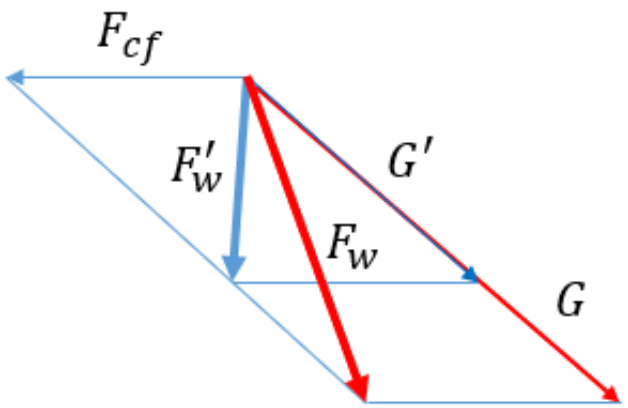
$$\varepsilon \sim \frac{m_t}{m_s}$$

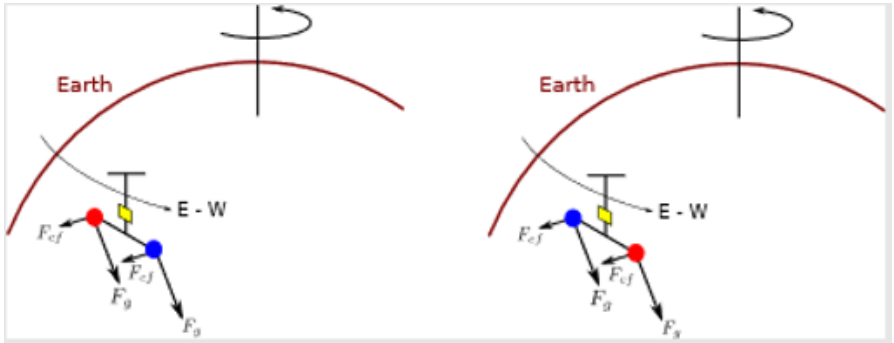
$$\varepsilon \approx 6' = 0{,}1°$$

Budapesten



Newton: A centrifugális erőt meghatározó *tehetetlen tömeg* m_t és a tömegvonzást meghatározó *súlyos tömeg* m_s *független fizikai mennyiségek*

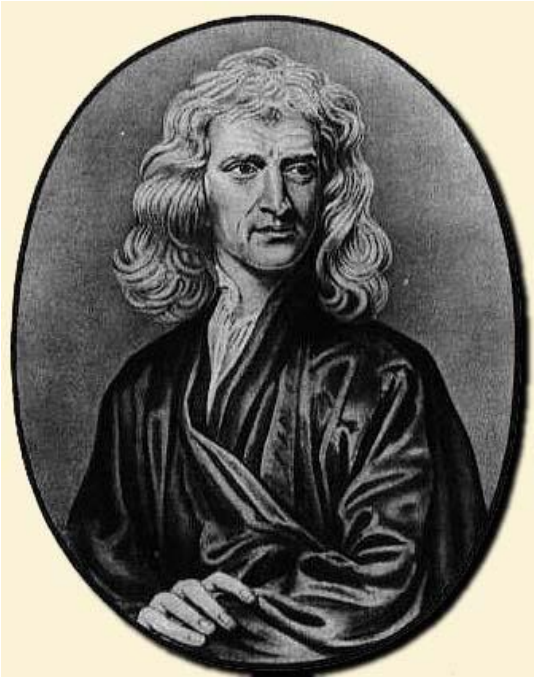




Eötvös Loránd gravitációs mérési stratégiája

De mi van, ha azonos m_t-hez különböző tömegvonzási erő társul:
G vagy G'?

A próbatestek felcserélésével ellenkező elcsavarodás lép fel!



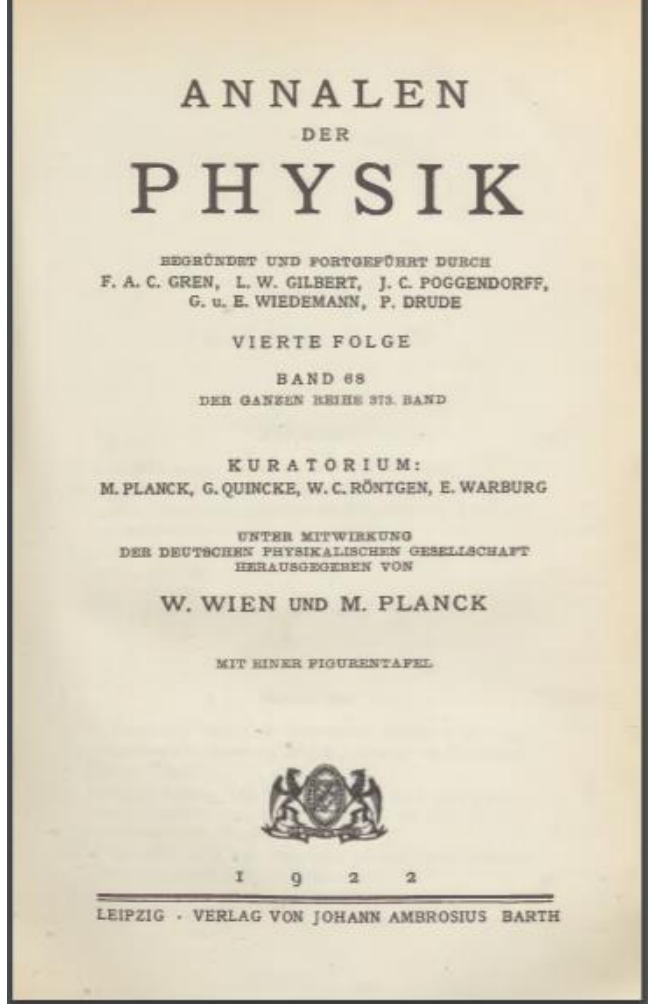
DEFINITIO I.

Quantitas materiæ eſt menſura ejuſdem orta ex illius denſitate et magnitudine conjunctim.

AER denſitate duplicata, in ſpatio etiam duplicato, fit quadruplus; in triplicato ſextuplus. Idem intellige de nive & pulveribus per compreſſionem vel liquefactionem condenſatis. Et par eſt ratio corporum omnium, quæ per cauſas quaſcunque diverſimode condenſantur. Medii interea, ſi quod fuerit, interſtitia partium libere pervadentis, hic nullam rationem habeo. Hanc autem quantitatem ſub nomine corporis vel maſſæ in ſequentibus paſſim intelligo. Innoteſcit ea per corporis cujuſque pondus: Nam ponderi proportionalem eſſe reperi per experimenta pendulorum accuratiſſime inſtituta, uti poſthac docebitur.

Kísérleti ellenőrzés:
Azonos lengési idő, különböző anyagból készült próbatestek azonos hosszúságú ingákra
Newton 1:1.000, Bessel 1:50.000

Eötvös (1890): 1:20.000.000
Eötvös, Pekár, Fekete (1909): 1:200.000.000



ANNALEN
DER
PHYSIK

BEGRÜNDET UND FORTGEFÜHRT DURCH
F. A. C. GREN, L. W. GILBERT, J. C. POGGENDORFF,
G. u. E. WIEDEMANN, P. DRUDE

VIERTE FOLGE

BAND 68
DER GANZEN REIHE 373. BAND

KURATORIUM:
M. PLANCK, G. QUINCKE, W. C. RÖNTGEN, E. WARBURG

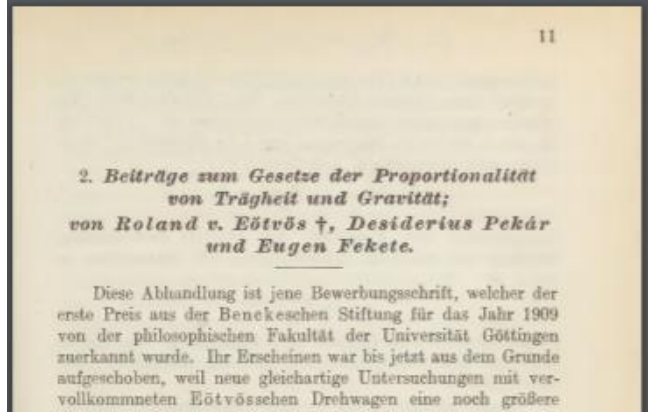
UNTER MITWIRKUNG
DER DEUTSCHEN PHYSIKALISCHEN GESELLSCHAFT
HERAUSGEGEBEN VON

W. WIEN UND M. PLANCK

MIT EINER FIGURENTAFEL

1 9 2 2

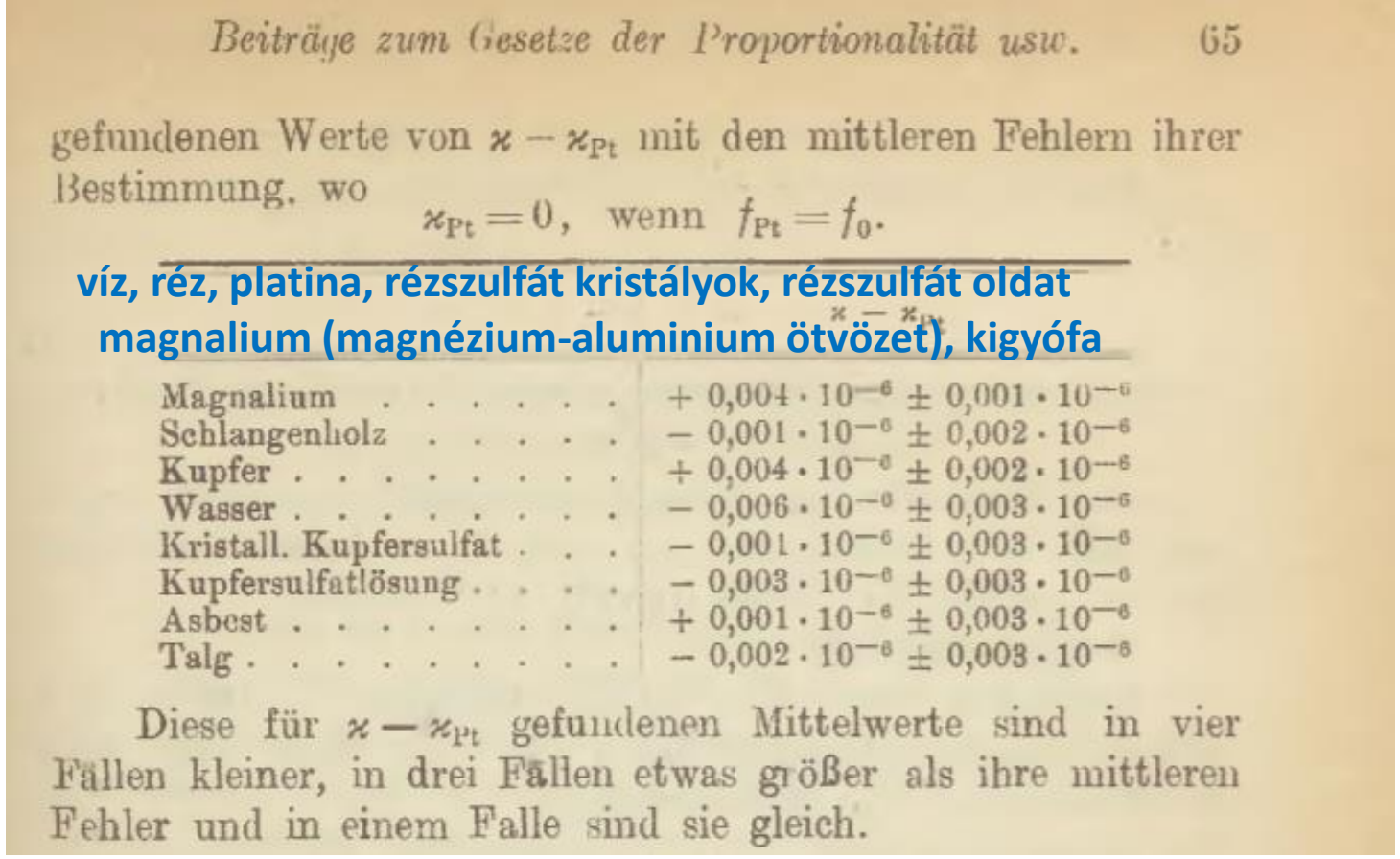
LEIPZIG · VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH



11

2. *Beiträge zum Gesetze der Proportionalität von Trägheit und Gravität;*
von Roland v. Eötvös †, Desiderius Pekár und Eugen Fekete.

Diese Abhandlung ist jene Bewerbungsschrift, welcher der erste Preis aus der Beneckeschen Stiftung für das Jahr 1909 von der philosophischen Fakultät der Universität Göttingen zuerkannt wurde. Ihr Erscheinen war bis jetzt aus dem Grunde aufgeschoben, weil neue gleichartige Untersuchungen mit vervollkommneten Eötvösschen Drehwagen eine noch größere



Beiträge zum Gesetze der Proportionalität usw. 65

gefundenen Werte von $\varkappa - \varkappa_{Pt}$ mit den mittleren Fehlern ihrer Bestimmung, wo

$$\varkappa_{Pt} = 0, \quad \text{wenn} \quad f_{Pt} = f_0.$$

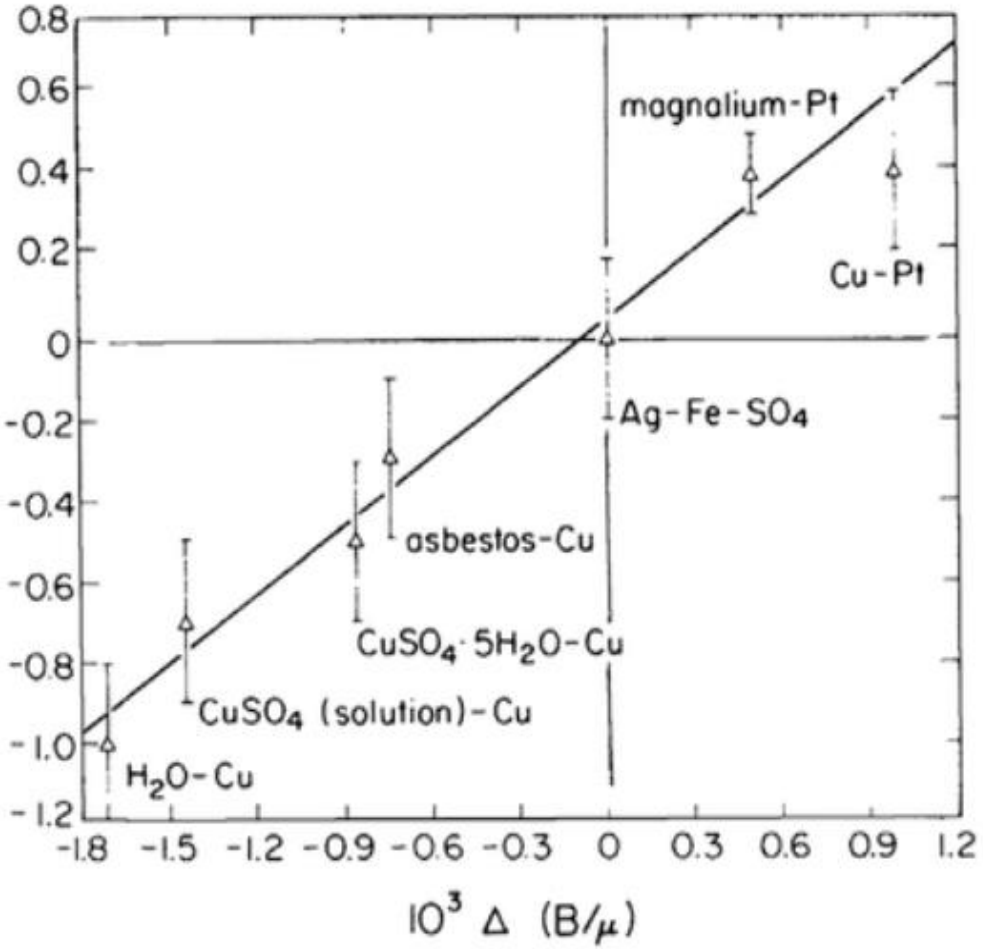
víz, réz, platina, rézszulfát kristályok, rézszulfát oldat
magnalium (magnézium-aluminium ötvözet), kigyófa

	$\varkappa - \varkappa_{Pt}$
Magnalium	$+ 0{,}004 \cdot 10^{-6} \pm 0{,}001 \cdot 10^{-6}$
Schlangenholz	$- 0{,}001 \cdot 10^{-6} \pm 0{,}002 \cdot 10^{-6}$
Kupfer	$+ 0{,}004 \cdot 10^{-6} \pm 0{,}002 \cdot 10^{-6}$
Wasser	$- 0{,}006 \cdot 10^{-6} \pm 0{,}003 \cdot 10^{-6}$
Kristall. Kupfersulfat	$- 0{,}001 \cdot 10^{-6} \pm 0{,}003 \cdot 10^{-6}$
Kupfersulfatlösung	$- 0{,}003 \cdot 10^{-6} \pm 0{,}003 \cdot 10^{-6}$
Asbest	$+ 0{,}001 \cdot 10^{-6} \pm 0{,}003 \cdot 10^{-6}$
Talg	$- 0{,}002 \cdot 10^{-6} \pm 0{,}003 \cdot 10^{-6}$

Diese für $\varkappa - \varkappa_{Pt}$ gefundenen Mittelwerte sind in vier Fällen kleiner, in drei Fällen etwas größer als ihre mittleren Fehler und in einem Falle sind sie gleich.

Einstein Eötvöshöz (1918):
„Nem szeretném ezt a levélváltást elmulasztani anélkül, hogy Önnek hálámat ne fejezzem ki azért a támogatásért, amelyet a súlyos és tehetetlen tömeg azonosságára vonatkozó ismereteink az Ön kutatásai révén nyertek.”

Eötvös adatainak újra-elemzése (Fischbach,1986)



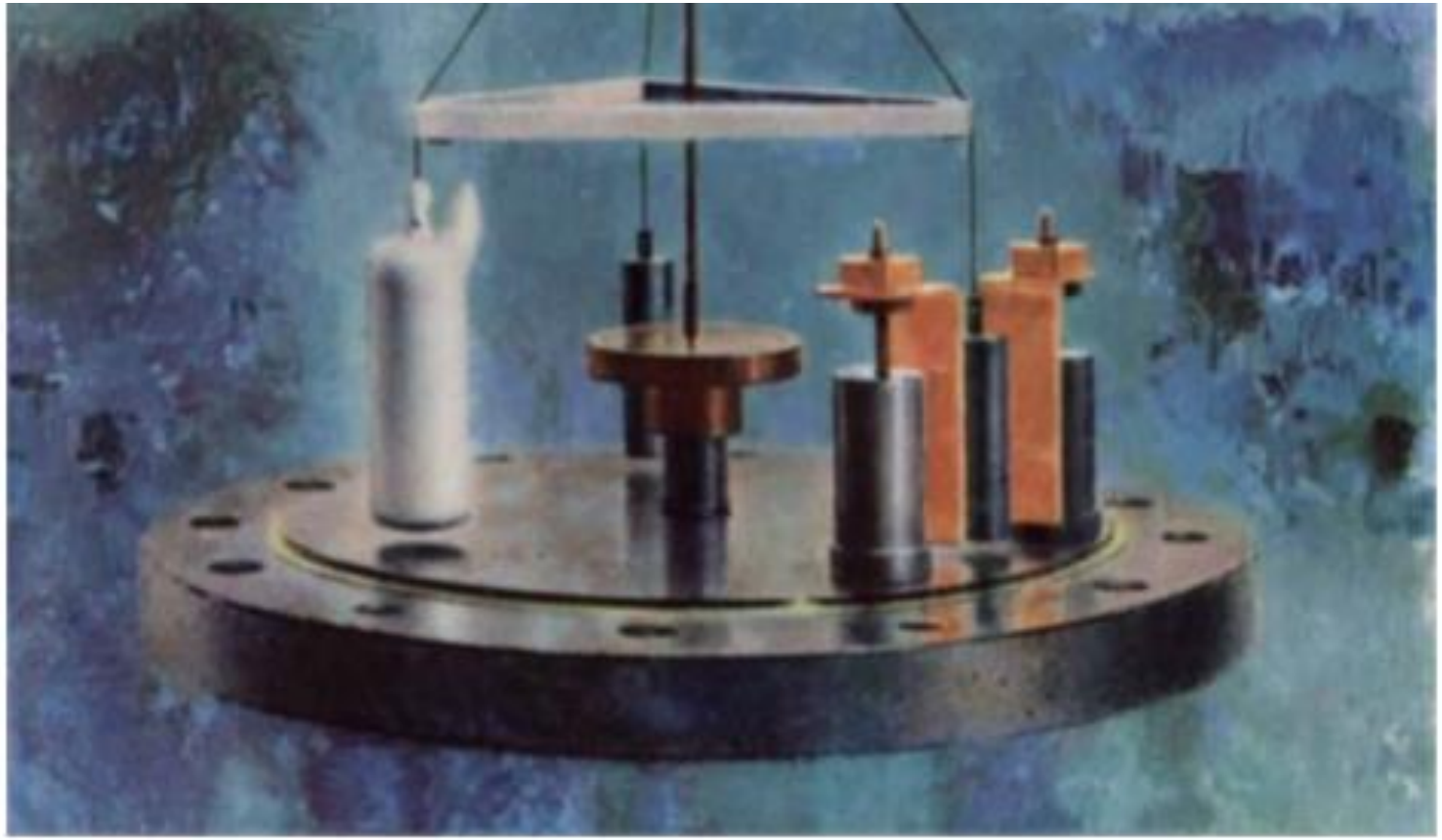
B molnyi anyagmennyiségben lévő protonok és neutronok száma

μ molnyi anyag tömege

Fischbach javaslata:

véges hatótávolságú erő kíséri a tömegvonzást

„Hipertöltés”: $\frac{B}{\mu}$



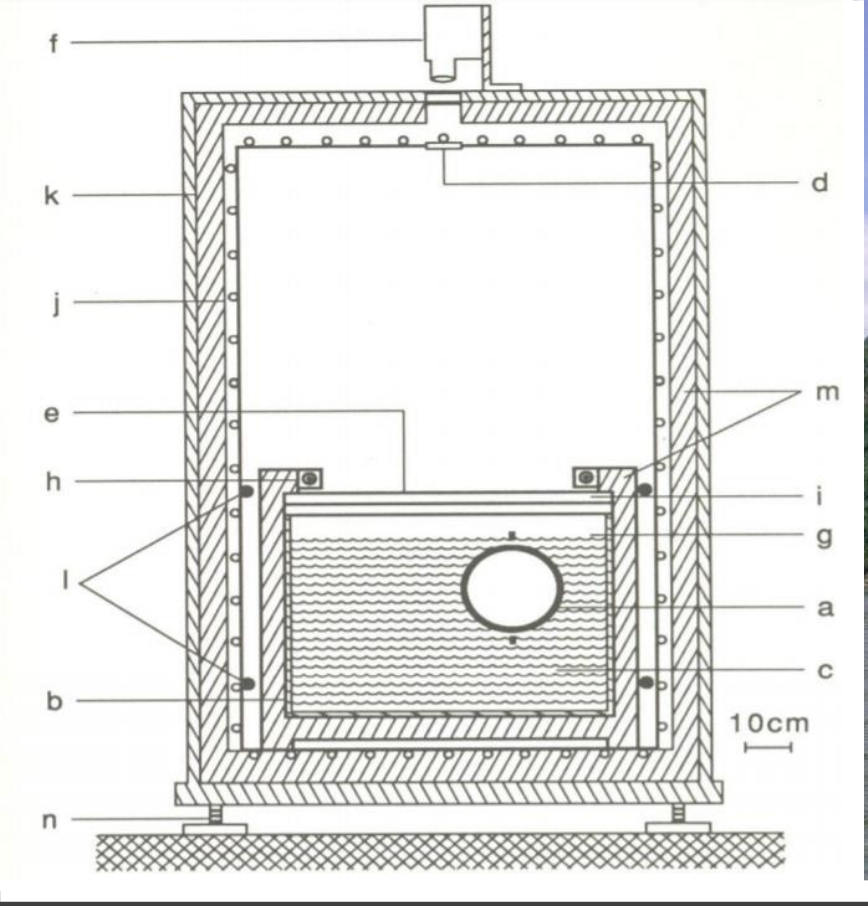
Új lendület az Eötvös-ingás kutatásokban

- **Nap felé esés** gyorsulásának anyagtól való függetlensége

- Roll, Krotkov és Dicke (Princeton, 1963)
- Braginsky és Panov (Moszkva, 1972)

- Három nagyságrend javítás Eötvös eredményén

- Érzéketlen rövid (cca. 100 m) hatósugarú erőhatás jelenlétére



BROOKHAVEN BULLE

Vol. 41 - No. 42 C

BROOKHAVEN NATIONAL

The Fifth Force: A Cliff-Hanger

Senior Physicist Peter Thieberger pent several weeks during the sum- ner of 1986 sleeping on the floor of a amper overlooking the Palisades of he Hudson River. Nearby, a hollow opper ball floating in a tank of water rifted slowly towards the cliff's edge.

As the ball moved, a video camera ecorded what may be the first mod- rn evidence of a fifth force in the niverse.

As evidence from other experiments added to Thieberger's data, theor- its may eventually find the charac- aristics of the fifth force useful for ompleting a unified field theory, hich would explain all forces as anifestations of the same force.

Going Against Gravity

Most physicists currently think hat there are four forces in the uni- erse: electromagnetic, strong, weak nd gravity. One manifestation of the lectromagnetic force is everyday agnetism. The strong force holds e atomic nucleus together, while the eak force governs the production nd decay of many particles. Gravity responsible for the weight of matter nd the motions of the stars and lanets.

Physicists Samuel Aronson, Asso- ate Chairman of BNL's Physics epartment, and Ephraim Fischbach, urdue University, along with their lleagues, were the first to suggest hat there might be experimental evi- nce for a fifth force.

In a January 1986 paper published *Physical Review Letters*, they had ncluded that a 65-year-old experi- ent by Roland von Eötvös that was ought to prove that gravity affects l objects equally, had, in fact, dem- nstrated just the opposite. They pos- lated that a heretofore overlooked rce, whose effects had been com- only explained away as experimen-

Irving Feigenbaum (left) and Peter Thieberger outside their experiment at the AGS.

Metro Reports

were obtained, explain the experi- ments performed and their possible implications."

experiments, they showed the largest deviation from expected results.

Though the accelerometer that

could not penetrate as testing with con By maintaining a u erature, around 4°C stopped the convecti ing the experiment ture.

Once the experim Thieberger taped hi fifth force: the coppe constant speed fro tank towards the o of the sphere, he measure the stren force.

For this experim and Feigenbaum re from Project Engin who did the detailed a way to have the c cisely fabricated, Technical Supervis son, who, with sever tors, helped with th the Palisades.

In addition, Senio visor Robert Lind camper, which had from the Departm Science, and helped tion. On two occas Thieberger by stayin iment overnight.

Also, Senior Ph Wegner spent a we provide the experim power, through wh world's largest exte ed up to a nearby c Senior Physicist C participated in ma sions throughout th

A Repeat Ne

Thieberger is plan experiment in the meantime, he and repeating the exp primarily testing their instruments. cliffs of the Palisad

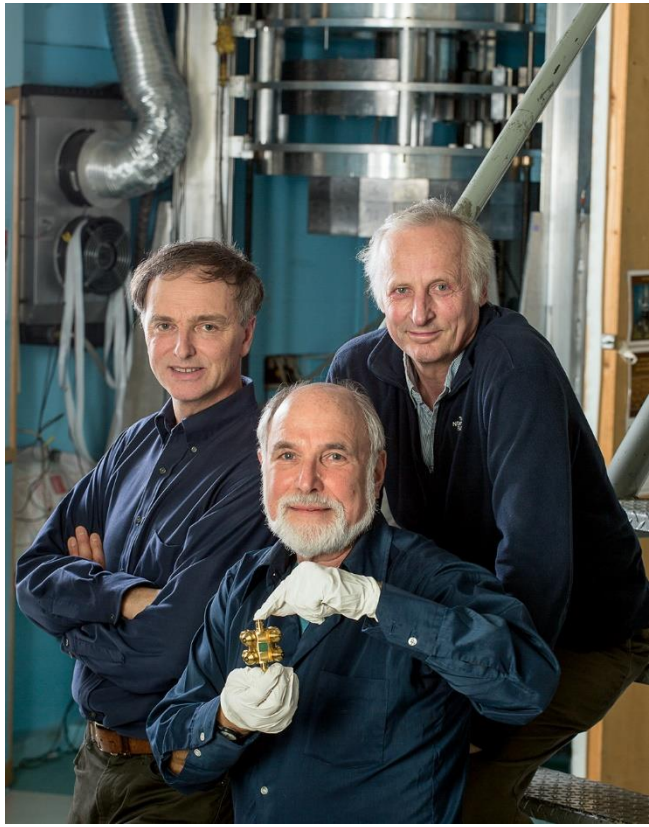
Thieberger „lebegő labda” kísérlete (1987)

Az Eöt-WASH kísérlet-sorozat (1988-2012)

E. Adelberger és csoportja (Seattle)

Öt nagyságrenddel csökkentik Eötvös és munkatársai korlátját a súlyos és tehetetlen tömeg relatív eltérésére: 10^{-13}

Érzékeny 1m-nél nem rövidebb hatótávolságú Ötödik Erőre.
Nem találják nyomát!



MICROSCOPE (jelenleg folyó francia műholdas mérés) érzékenységi korlátja: 10^{-14}

Az Ötödik Erő következményeinek kutatása

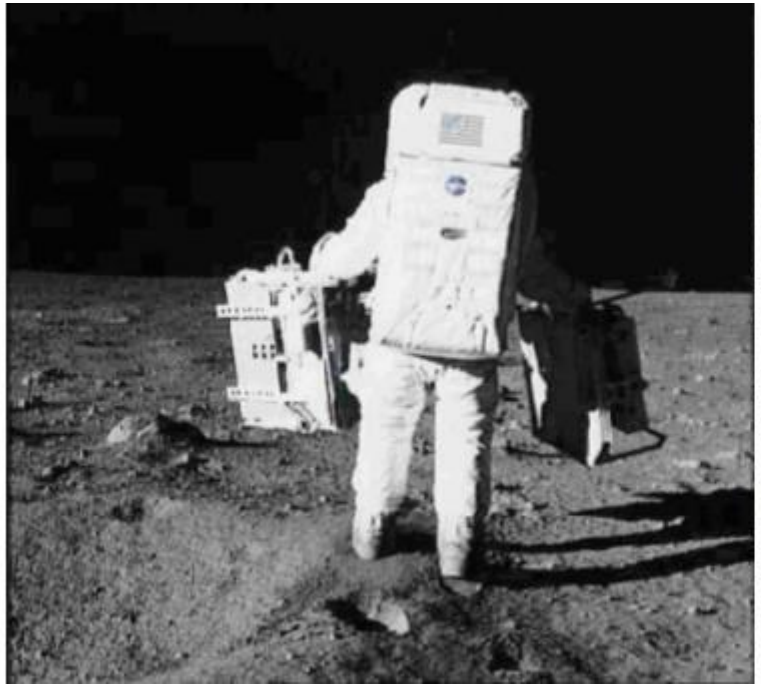
Nulla „hipertöltés” esetén csak a Newton-erő hat!

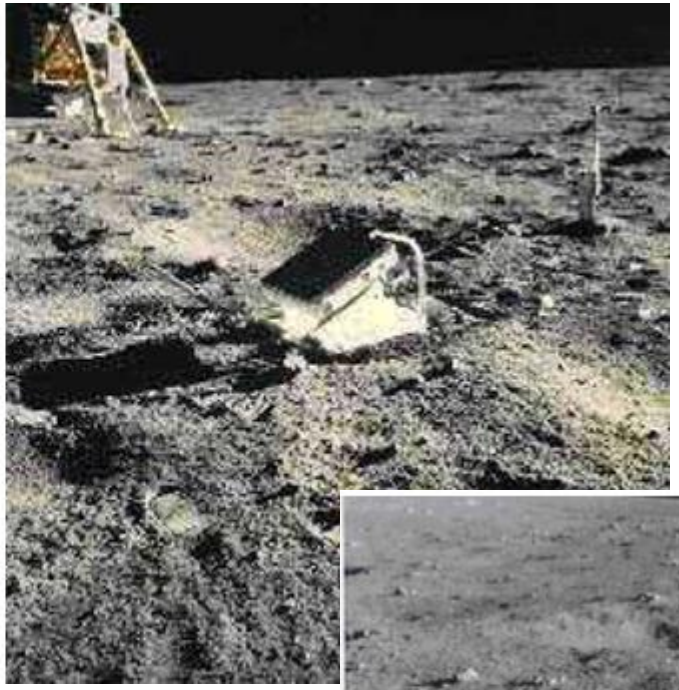
Tömeg-energia egyenrangúság (**$E=Mc^2$**)

Föld-Hold rendszer gravitációs kötési energiájához rendelt tömeg a teljes tömeg milliárdod része!

Együtt esik-e a Nap felé a Föld és a Hold anyagát alkotó nukleonokkal hordott
és a gravitációs energiával képviselt tömege?

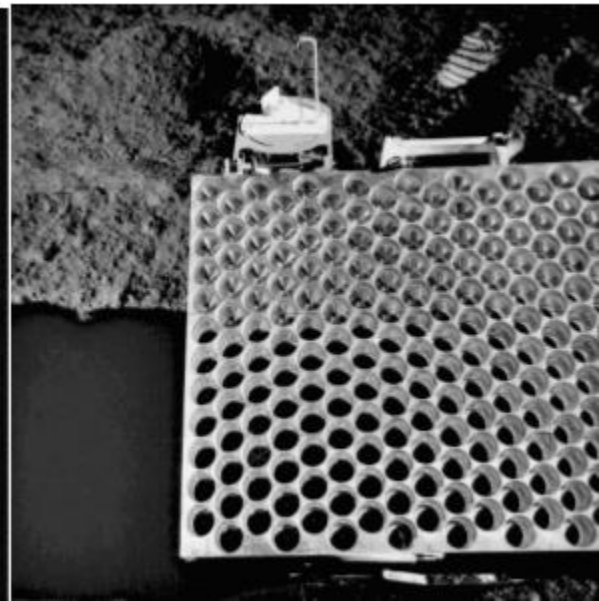
A Laser Lunar Range kísérlet





Apollo-11, 1969

Lézertükör telepítés a Holdra



Apollo-14 és Apollo-15, 1971

A Laser Lunar Range kísérlet

A Föld-Hold távolság 1cm-es pontosságú követése

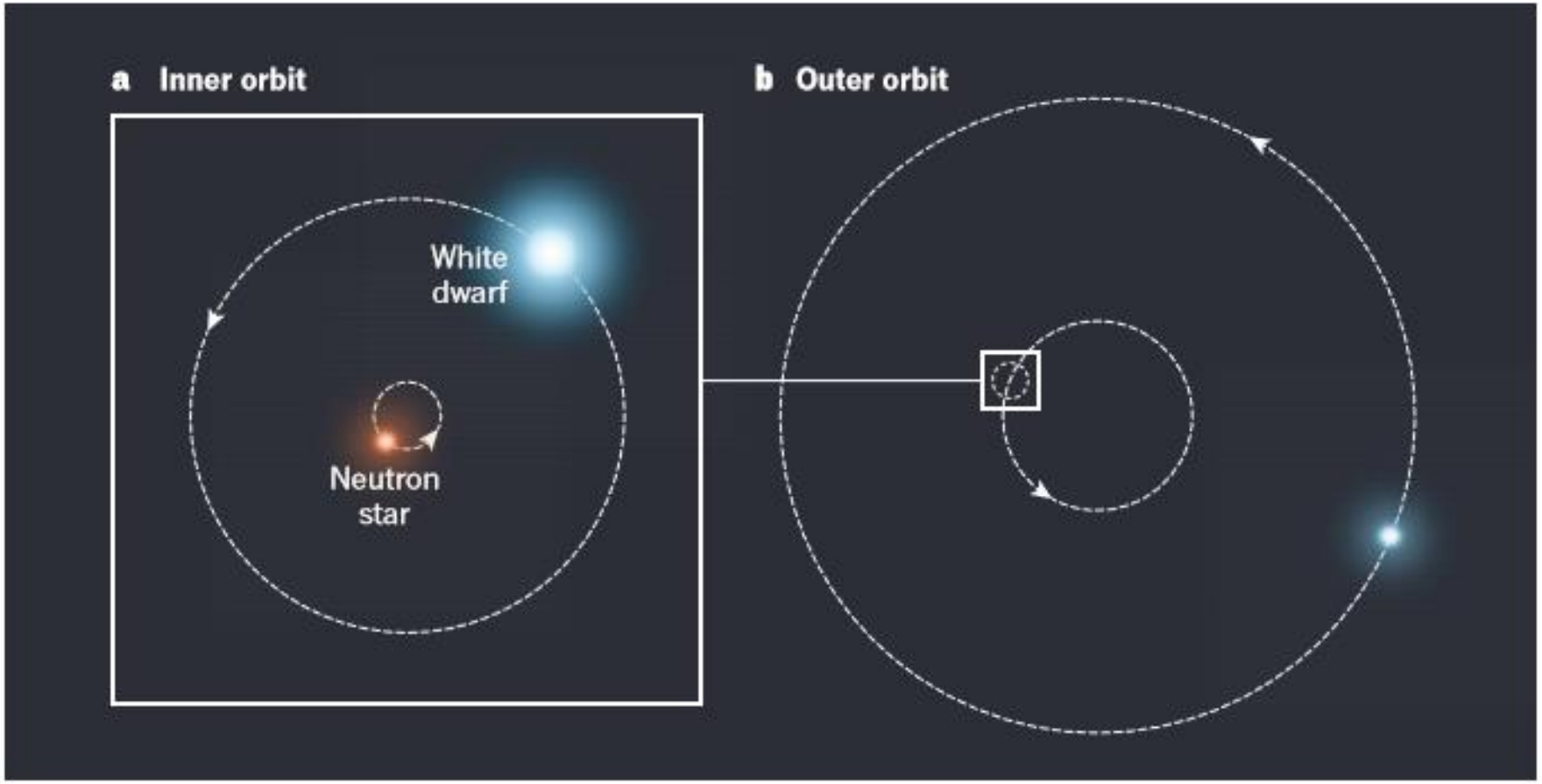
A távolság állandóságából relatív szabadesési sebességük eltérése nem nagyobb, mint 10^{-13}

A gravitációs erőtér együtt-esési pontossága: 1:10.000 (2012)

Lehet-e ennél pontosabb csillagászati mérés? **IGEN!**

Kompakt csillag-kettősök gravitációs energiája a teljes tömeg 0,2-e is lehet
(Neutroncsillagok tömege: 1,5 Naptömeg; Keringési periódusidő 2 nap
Mekkora a sugár? Mekkora a kötési energia?)

Hogyan esik a neutroncsillag-fehértörpe rendszer gravitációs kötési energiája egy harmadik csillag felé?



Hármas csillagrendszer 2014 (Ransom *et al.*)

A szoros kötésű rendszer pályájának 6 évig tartó megfigyelése
Archibald *et al.* (2018)

Nem torzul a körpálya, azaz gravitációs kötési energia együtt esik 10^{-5} relatív pontossággal

Eötvös Loránd tudománytörténeti jelentősége

A nagypontosságú gravitációs mérések úttörője,
Newton alapelve érvényességének kísérleti igazolója

Mérési elvét egy évszázadon át változatlanul,
ám egyre tökéletesebb technikával alkalmazták

Módszere az új alapvető kölcsönhatás keresésének egyik legfontosabb útja!