

A Gólem



Két kísérlet, amely
„bizonyította”
a relativitás elméletét

A elméletek igazolásának problémája

- Ha van olyan mérés, amely igazolja az elméleteinket, azaz az elmélet jóslatait mérési adatokkal tudjuk alátámasztani,
 - akkor az elméletünk helyes.

- Honnan tudjuk, hogy egy elmélet igaz?
 - Megmérjük?
 - Tudunk olyan kísérletről, ami igazolta?
 - Belátjuk, hogy szükségszerűen igaz?
 - Mindenki elhiszi?

- Milyen döntő kísérletekről tudunk, amelyek igazoltak kérdéses elméleteket?

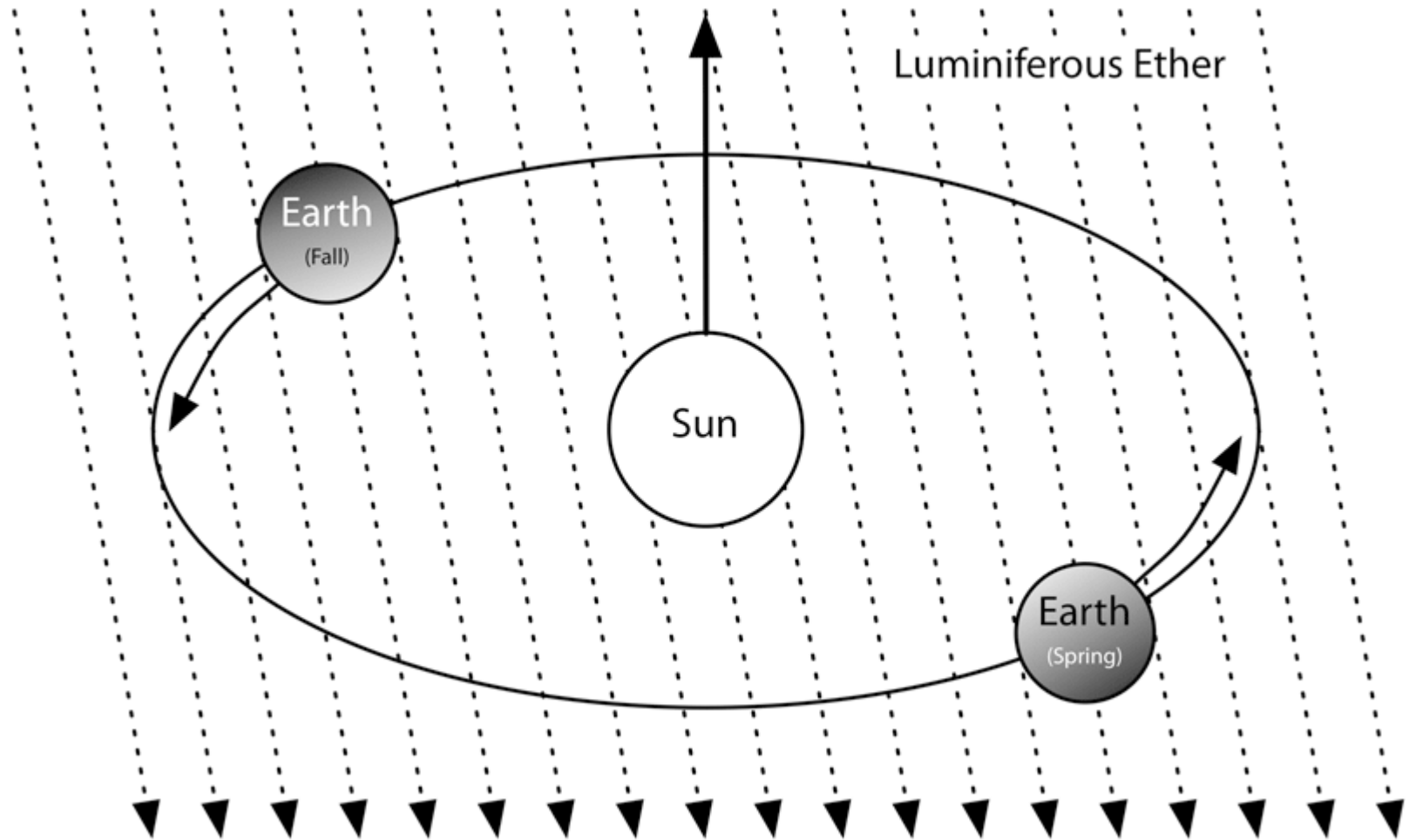
I. Éter tengerben úszik a föld?

- USA, 1887 – Albert A. Michelson és Edward Morley
- Kísérlet: megmérték a fény sebességét a Föld mozgásának irányában és arra merőleges irányokban is.
- Eredmény: az értékek megegyeztek.

A kísérlet – Elméleti háttér

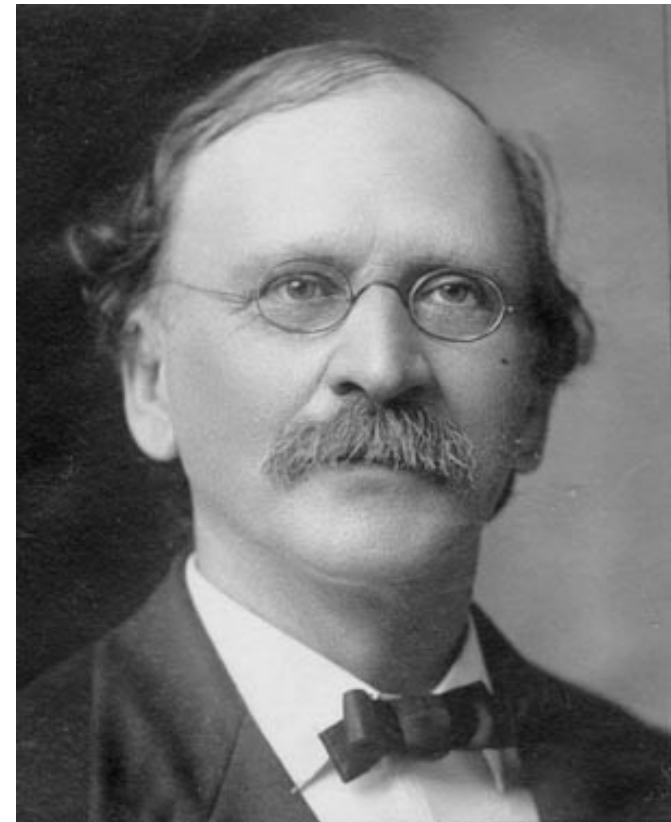
- Cél: A Föld éterbeli sebességének megmérése
 - A fénysebesség akkor becsült értéke: 185000 mérföld/másodperc
 - Az éter becsült legnagyobb sebessége földfelszínen (kb. = a Föld keringési sebességével): 18,5 mérföld/másodperc
 - A különbség tehát 10000-szeres.
- Módszer: interferometria
 - Egy fénysugarat kettébontanak, majd újraegyesítenek.
 - Az egyesített sugár esetén interferenciára lehet számítani, ha a külön megtett utakon eltérő volt a sebesség.
 - Ha a Föld mozgásával más-más szöget zár be a megtört fénysugár, akkor más lesz az interferencia is (hiszen az éter eltérő mértékben lassítja a különböző sugarakat).
- A kísérlet fő elemei:
 - A fénysugarakat megfelelő szögben kell vezetni és visszaverni
 - A megfigyeléseket több irányban el kell végezni
 - A megfigyeléseket a Föld forgása miatt különböző időpontokban is meg kell ismételni
 - A megfigyeléseket minden évszakban el kell végezni, tekintettel a Föld keringési pályájára
 - A kísérletet egy nyitott, könnyű épületben, lehetőleg minél magasabban kell végezni

Naprendszer az éterben



A kísérleti műszer

- Michelson két kísérletsorozata: 1881 és 1887 (Morley-val)
- A kísérletek szerkezete:
 - osztott fénysugár, tükrökkel a megfelelő szögben vezetve, majd a forrásnál újraegyesítve
 - egy teljes körben 16 különböző szög megfigyelése
 - éjszakai kísérletezés (csökkentett zajforrás)
 - nyugodt környezet
- Változók:
 - a berendezés anyaga
 - a fénysugarak hossza



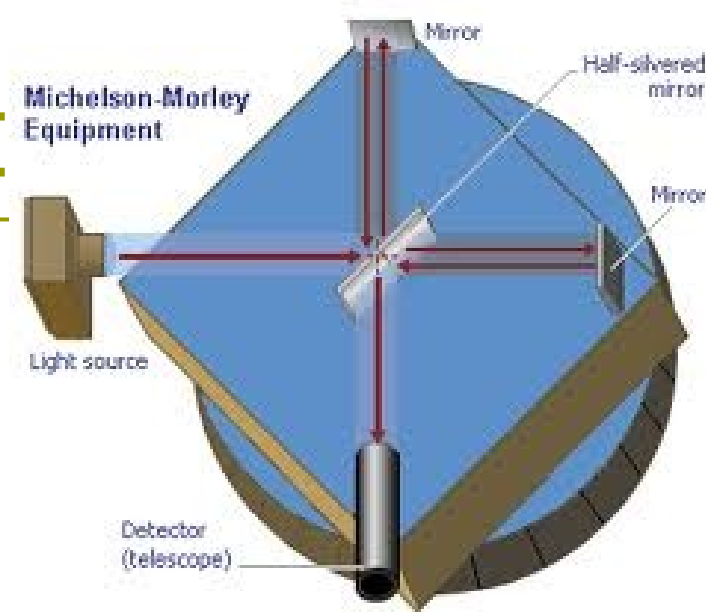
Az első két kísérlet

□ 1881: Michelson (Potsdam)

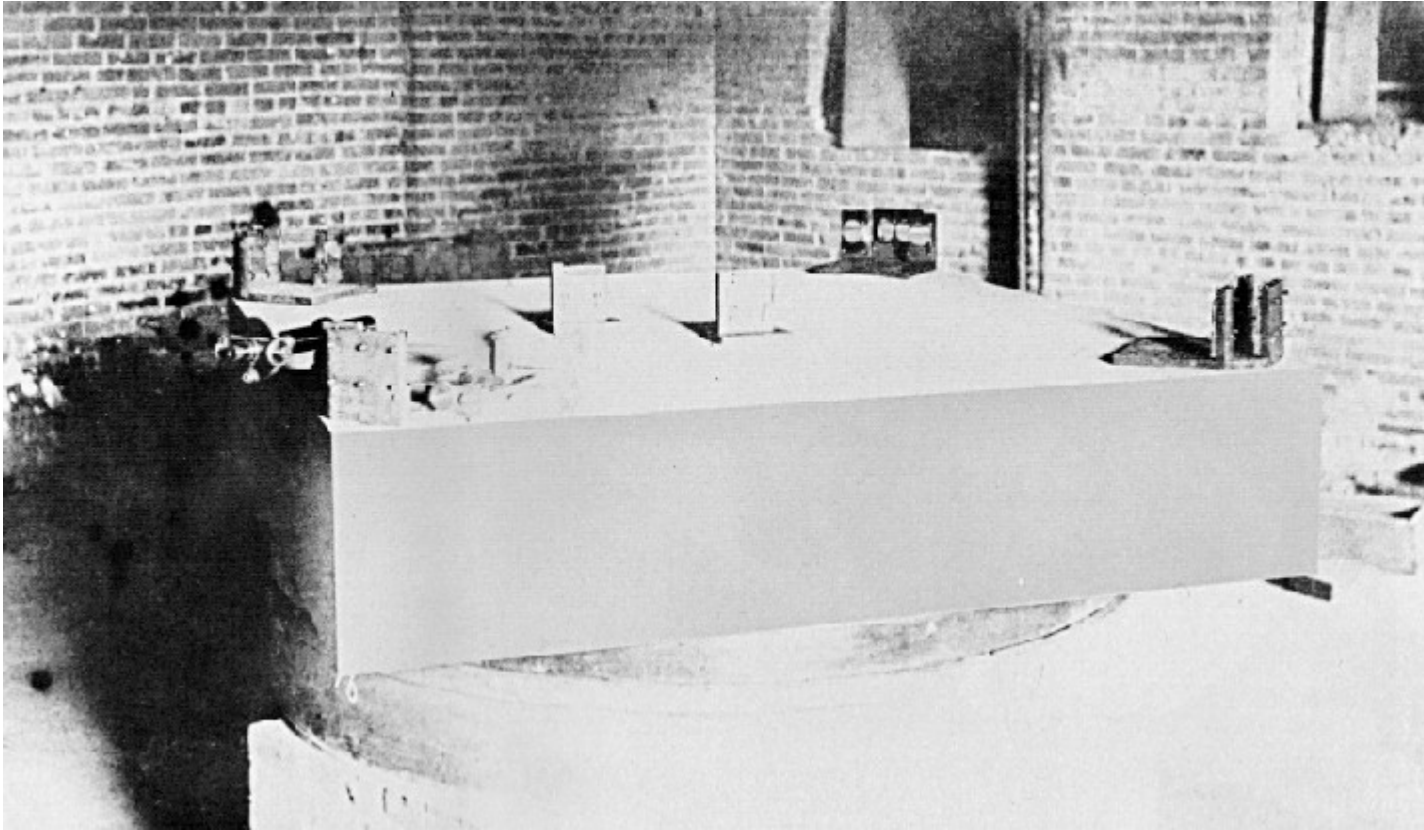
- Fénysugár hossza: 120 cm
- Elvárás: 1/10 elfordulás már változást okoz
- Zaj: vibráció és torzítás a berendezés állítgatása során
- Publikált eredmény: nem figyelhető meg a Föld éterben való mozgása
- Kritika: nem vette figyelembe azt, hogy nulla eredmény még nem jelenti azt, hogy nincs mozgás (H.A. Lorentz)

□ 1887: Michelson-Morley (Cleveland)

- Helyszín: pince
- Anyag: öntöttvas kád téglákon, higanyal töltve. Ezen úszott egy nagy darab homokkő, amit könnyű volt forgatni (akár hat órán keresztül is forgott a tengelye körül, ha meglökték).
- Ezen a kőlapon volt a prizma, a tükrök és a fényforrás.
- Fénysugár hossza: több mint tíz méter
- Elvárás: 4/10 elfordulás már változást okoz
- Eredmény: nincs változás



A Michelson-Morley higany-kád

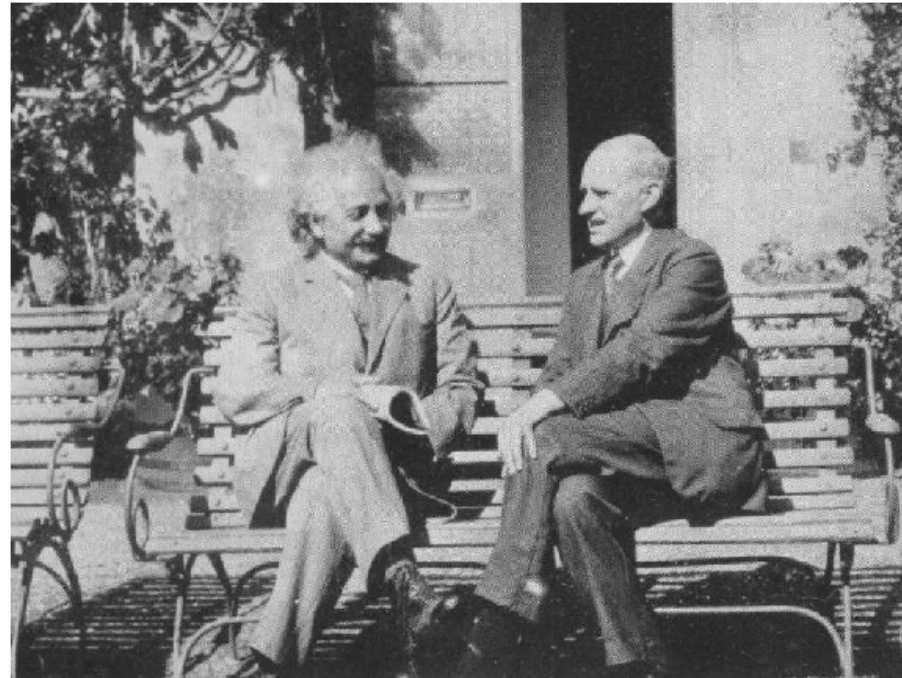


Továbblépés: a relativitáselmélet

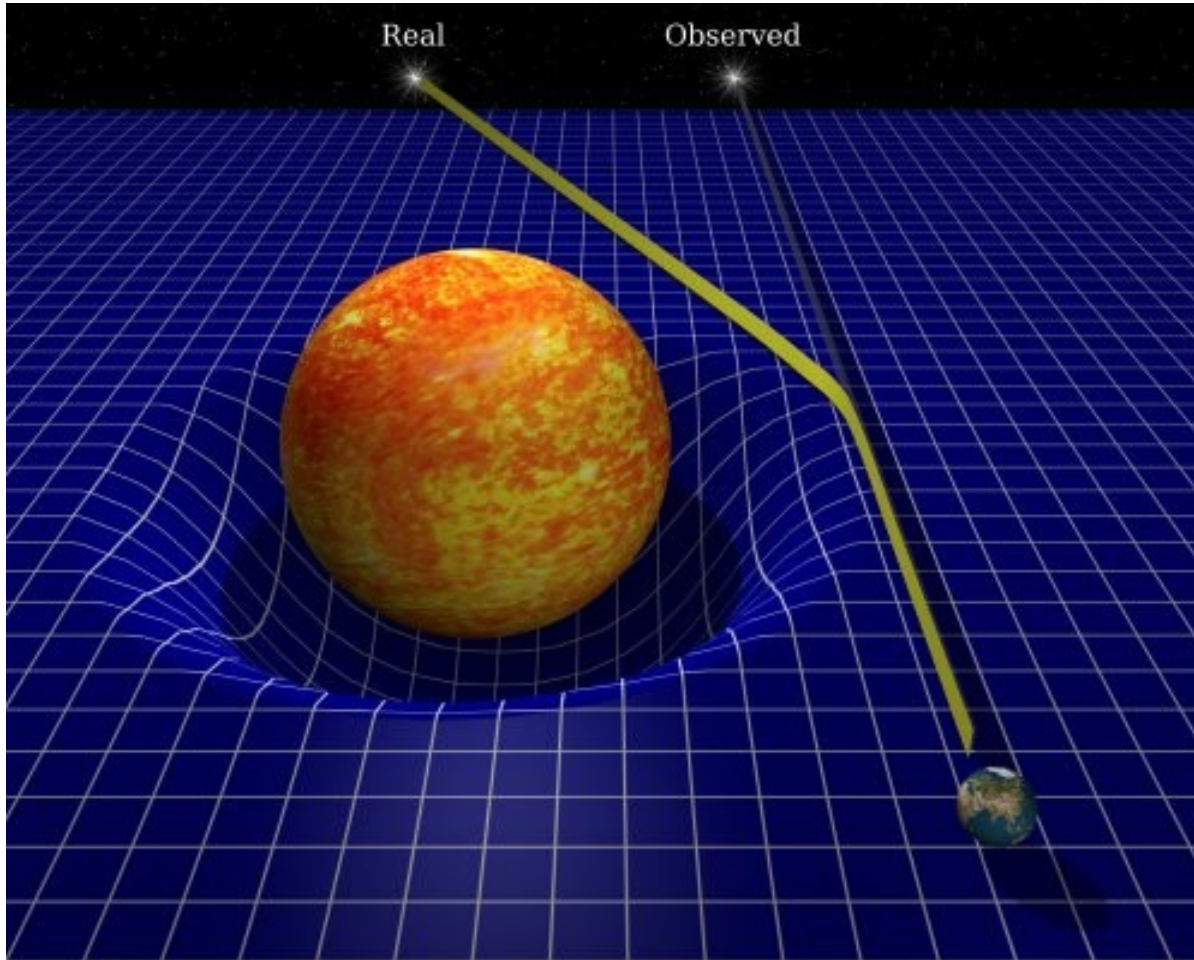
- A Michelson-Morley kísérlet nem tudta megmérni a Föld sebességét, de rámutatott, hogy a fény azonos sebességgel terjed a mozgó bolygón minden irányban (pedig a sebességének változnia kellett volna attól függően, hogy mekkora szöget zár be a Föld mozgásvektorával).
- Morley-Miller kísérletek a századfordulón
 - 1905: továbbfejlesztett kísérlet egy hegytetőn
 - az eredmény: ugyanaz
- Közben a relativitáselmélet egyre népszerűbbé válik.
- 1925: Miller (Mount Wilson, USA, 6000 méter magasan)
 - Mind a négy évszakban mér
 - Eredményes kísérlet: a Föld sebessége 10 km/órának adódik
 - Ezzel a relativitáselmélet megcáfolódni látszott
- Reakciók: a kísérlet minden más mérés esetében nulla eredménnyel zárul, ami szakmai ellentétekhez vezet, és kezdik figyelmen kívül hagyni Miller egyedi eredményeit

II. A mennyekben lévő csillagok

- Einstein és Newton „vitája”
 - Mindkét elméletben elhajlik a fény erős gravitáció esetén, de az általános relativitáselmélet szerint nagyobb mértékben.
 - Kérdés: kinek van igaza?
- Eddington „igazolta” Einstein elméletét – de olyan módon, hogy közben támaszkodott is az elméletre, hogy saját megfigyeléseit értelmezze.
- Így az elmélet és a kísérlet kapcsolatba került egymással (pedig a kísérletektől azt szokás elvárni, hogy függetlenek legyenek az elmélettől).



Fényelhajlás



Newton szerint
a fényelhajlás
mértéke: 0,87
szögmásodperc

Einstein szerint
a fényelhajlás
mértéke: 1,7
szögmásodperc

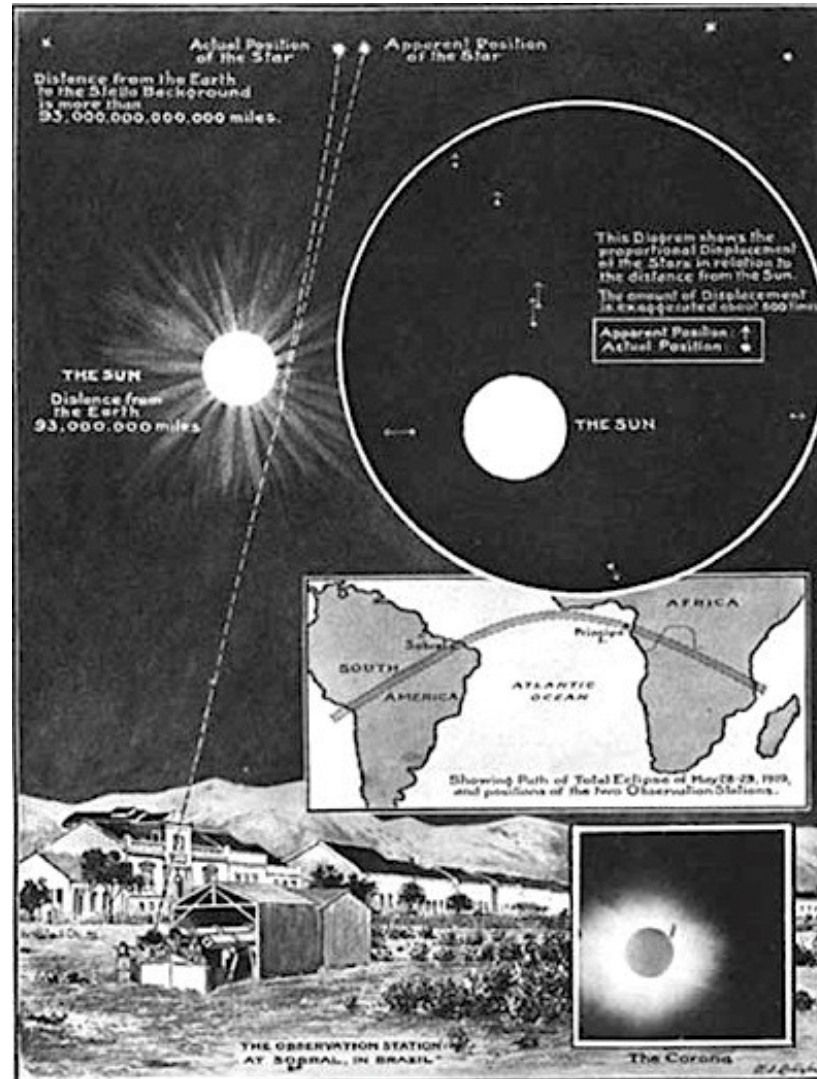
A kísérlet természetete

- Cél: összehasonlítani a csillagok helyzetét normál körülmények között, és akkor, amikor a Nap mellett látszanak
- Nehézségek:
 - A Nap mellett a csillagok csak teljes napfogyatkozás idején látszanak
 - Olyan kicsi az eltérés, hogy csak akkor lehet megfigyelni, ha ugyanazt az égbolterületet fotózzák le Nappal és Nap nélkül
 - Ez több hónapos várakozást jelent, hiszen az egyik esetben a Nap jelen van az égen, míg a másik esetben nincs, azaz a Föld a másik oldalát mutatja éppen az égboltnak.
 - A megfigyelések így más-más évszakra tevődnek, ami eltérő távcső-hőmérsékletet és így módosult fókusztávolságot is jelentenek.
 - Távoli, eldugott helyen esedékes napfogyatkozásokhoz csak kisebb távcsöveket lehet használni, amelyeknek hosszabb záridőre van szükségük az éles képhez. Ez újabb problémához vezet:
 - A távcsövet mozgatni kell, hogy kövesse a Föld forgását
 - Az időjárás minden előkészületet megghiúsíthat

Expedíció a Princípe és Sobral szigetekre

- Princípe szigete (Afrika) – (A. Eddington & E. Cottingham)
 - 16 fotó nagyobb teleszkóppal (csak 2 fotó használható, azokon 5 csillag)
- Sobral sziget (Brazília) – (A. Commelin & C. Davidson)
 - 19 fotó egy nagyobb és
 - 8 egy kisebb távcsővel (ebből 1 felhős)
- 1. eredmény (Crommelin & Davidson)
 - A nap melletti csillag-elmozdulás (fényhajlás) mértéke: 1,86 és 2,1 szögmásodperc között van a kisebb távcső adatai alapján (Einsteinnek volt igaza)
 - DE!! A nagyobb teleszkóp képei szerint csak 0,86 szögmásodperc (Newtonnak volt igaza)
- 2. eredmény (Eddington)
 - A két rossz minőségű fotóból számított szögelhajlás 1,31–1,91 szögmásodperc (inkább Newtonnak van igaza)

Eddington kísérlete



Az eredmények értelmezése

- 1919. november 6: az Astronomer Royal bejelenti, hogy a megfigyelések Einstein elméletét igazolták.
 - Eddingtonék a kisebb sobrali távcső adatait tekintették bizonyítéknak, és támogató adatként kezelték a két rossz minőségű princípe-i fotót, míg a 18 db, nagyobb távcsővel készült képet figyelmen kívül hagyták
 - A 2.0 körüli érték viszont Einsteint sem igazolja egyértelműen
 - Nagy szerepet játszott a retorika
- A publikált anyagból a sobrali nagy távcsővel készített képek már ki is maradtak, így a mérések közzétett eredményei Einsteint igazolták.

A két kísérlet tanulsága

- Van olyan eset, hogy egy-egy mérés eredménye alátámaszt egy elméletet, azonban nem igazolja azt sosem
- Ha egy mérés egy elmélet igazolásának látszik, akkor is még számos emberi tényezőt kell számításba vennünk, de semmiképpen nem érdemes véglegesnek tekintenünk az eredményeket.
- Fel kell adnunk a „döntő kísérlet” mítoszát, hiszen jól látszik, hogy az ilyen kísérletek nem mindig igazolják a kérdéses elméletet, és „döntővé” nyilvánításuk és népszerűségük pedig számos (tudomány)szociológiai tényezőtől is függ.

Kulcsfogalmak, kérdések

□ Fogalmak

- Döntő kísérlet
- Társas elfogadás viszonyai
- Elméleti elköteleződés, prekonceptciók
- Tudományos döntés
- A kísérleti elvek függetlensége az elmélettől

□ Kérdések

- Mikor igazol egy megfigyelés egy elméletet?
- Mi a különbség igazolás és a tudományos közösség elfogadása között?
- Mekkora szerepe van egy elmélet megítélésében a tudományos közösség konszenzusának?

A Gólem



A gravitációs hullámok
„fel nem fedezése”

Mi történt?

- 1969-ben Joseph Weber, a Marylandi Egyetem professzora bejelentette, hogy **bizonyítékot talált a világból érkező gravitációs hullámok létezésére**
- A sugárzást saját fejlesztésű detektorával mérte
- A sugárzás nagysága jóval felülmúlta a kozmológusok elméleti előrejelzéseit

Mi történt?

- Az elkövetkező években számos tudós próbálta ellenőrizni Weber állításait, de **senki sem tudta megerősíteni**
- 1975-re már legfeljebb csak néhányan gondolták úgy, hogy ez a sugárzás valóban létezik a Weber által jelzett mennyiségben
- Akárhogyan látszik is ez ma, a gravitációs hullámok létezésének kérdését nem pusztán elméleti meggondolások és kísérleti eredmények döntötték el
- Nézzük meg kicsit részletesebben!
 - (A diákon szereplő idézetek Harry Collinsnak a terület szakértőivel 1972 és 1975 között folytatott interjúiból származnak)

Mi a gravitációs hullám?

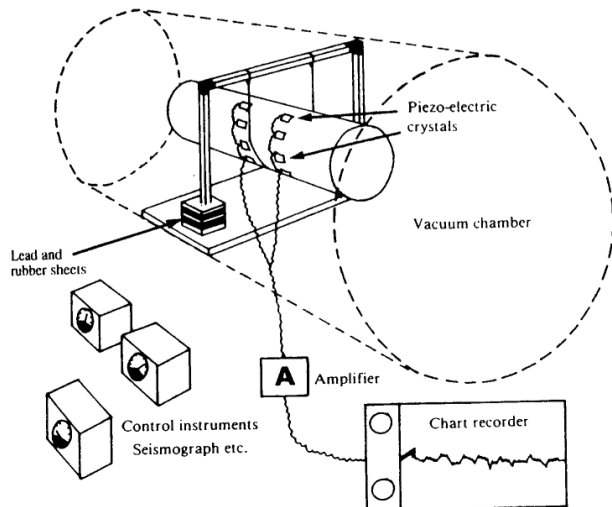
- A gravitációs erő Newtonnál **távolhatás**
- A 18-19. században ehhez hasonlóan képzelik el az elektromos és mágneses jelenségeket (lásd pl. Coulomb-törvény)
- Maxwell elektromágneses elmélete adott először számot **a hatás terjedéséről**
 - egy közeg (az éter, később az elektromágneses mező) rezgéseiként, állandó sebességgel
 - a fénytől a rádióhullámokig (és azokon is túl) egyesített számos jelenséget: valamennyi az elektromágneses mezőben terjedő hullámként írható le
- Ennek analógiájára képzelhető el a **gravitációs hullám**

Mi a gravitációs hullám?

- 1916-ban Einstein **általános relativitáselmélete** megjósolta a létezését
 - a mozgó testek gravitációs hullámokat keltenek
 - a hullám a téridő szerkezetének a rezgése
 - ezek a hullámok is fénysebességgel terjednek
- A probléma a **mérhetőség**gel van
 - „normális”, Naprendszer-közeli objektumok az elmélet szerint észlelhetetlenül gyenge rezgéseket keltenek
 - nagy tömegű, gyorsan mozgó testek megfigyelése hozhat esetleg eredményt: szupernóva-robbanások, fekete lyukak és kettőscsillagok lehetnek a forrásai a Földön is észlelhető hullámoknak
 - a jelenség a gravitációs állandó (G) értékének parányi ingadozásaiban mutatkozna meg

A mérés problémái

- Már magát a G -t sem túl könnyű kimérni földi körülmények között
 - 1798-ban Cavendish igen pontosan ki tudta mérni a gravitációs vonzóerőt két ólomgolyó között – az erő mindössze százmilliomod része a golyók súlyának
 - a G állandó mai pontos értéke: $6,67428 \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$
 - ennek a leheletfinom ingadozásait kellene észlelni



- Gravitációs antenna (detektor)
 - egy rezgéscsillapított tartály belsejében, vákuumban elhelyezett mázsányi fémtömb, amelynek a parányi hosszváltozásait kell detektálni és felerősíteni

A mérés problémái

- Érezhető, hogy a két kísérleti kulcskérdés a **szigetelés** és a **jelfeldolgozás**
 - az elrendezés nem képes megkülönböztetni a különböző hatások okozta vibrációkat
 - el kell szigetelni az elektromos, mágneses, hő-, akusztikus és szeizmikus jelenségek zajától
 - a termikus mozgás elméletileg is állandó, kiküszöbölhetetlen zajként jelentkezik
 - ha meg is bizonyosodtunk a szigetelés minőségéről, és többé-kevésbé önkényesen megvontunk egy jel/zaj küszöbértéket, még akkor is van arra esély, hogy csupán a termikus mozgások eredményezték a jelet (ezek száma természetesen statisztikailag becsülhető)

Joseph Weber eredményei

- Az antenna a róla elnevezett „Weber-bar”
 - Kb. 2 méter hosszú és 1 méter átmérőjű alumíniumhenger, acélhuzalokra felfüggesztve, 1660 hertz rezonanciafrekvenciával, és kb. 10^{-16} méter (!) hosszváltozást kimutatni képes piezoelektromos érzékelőkkel, rezgéscsillapított vákuumkamrában
- 1969-ben átlagosan napi hét, a termikus zaj számlájára nem írható csúcs megfigyeléséről számolt be
 - Ez sokkal nagyobb mennyiségű sugárzás jelenlétéről tanúskodott, mint amennyit az érvényben lévő kozmológiai elméletek jósoltak



Joseph Weber eredményei

- Az eredmény elsőre hihetetlennek tűnt, mivel ennyire **ellentmondott az elméletnek**
- **További méréseivel** Weber azonban kollégái jelentős részét **meggyőzte**
 - Egymástól több ezer km-re vitt berendezések ugyanakkor jeleztek (**koincidenciák**)
 - Detektorai körülbelül 24 óránként nagyobb jelsűrűséget mutattak, ami a Föld forgásával való kapcsolatra utalt
 - Ráadásul a kimért periódus a Földnek nem a Naphoz, hanem a galaxishoz viszonyított helyzetével volt kapcsolatban: pontosan egy **sziderikus nap**nak adódott
 - Minden arra utalt, hogy egy Naprendszeren kívüli **kozmikus esemény jeleit** látjuk kiemelkedni közvetlen környezetünk háttérzajából

Mivel sikerült meggyőzni másokat?

- Volt, akit a ko incidenciák győztek meg:

„...kifejezetten rákérdeztem a hármas és négyes ko incidenciákra, mert számomra ez a fő kritérium. Annak az esélye, hogy ennyi műszer egyszerre zajt jelezzon, elhanyagolhatóan csekély”

- Másrészt viszont voltak, akik szerint az efféle ko incidenciákat elektronikai vagy más egyéb véletlen okok is kiválthatják:

„...ha jobban megnézzük, kiderül, hogy a két fémtömbhöz egyáltalán nem tartozik külön elektronika. ... A két készülék jelzéseiben nem kevés közös elem volt. Állítom ... nem csoda, hogy ko incidenciát találunk. Így végső soron megint csak el kell vetnem az egészet.”

- Ezt a kritikát Weber időkésleltetési mérésekkel próbálta kivédeni. Sokak számára azonban a csillagidővel való korreláció volt az elsőrendű fontosságú magyarázandó tény:

„...nem igen izgat az időkésleltetési kísérlet. Számtalan egyéb okot lehet találni arra, hogy miért tűnnek el a ko incidenciák ... A sziderikus korreláció az egyetlen jelenség ebben az egész zavaros történetben, ami egyáltalán érdekel és foglalkoztat ... Ha ez az összefüggés eltűnne, az egész ... kísérlet mindenestül lényegtelenné válna.”

Mivel sikerült meggyőzni másokat?

- Két tudós az adatfeldolgozás módját emelte ki:
„Ami sokunkat végül is meggyőzött ... az volt, amikor beszámolt arról, hogy számítógéppel is feldolgozta az adatait, és ugyanarra az eredményre jutott. A számítógépes feldolgozás a legdöntőbb bizonyíték...”
- Megint másik pedig éppen ezt nem találta túl meggyőzőnek:
„Azt állította, hogy a szoftver írásába bele sem szólhatott. Nem igazán tudom, mit akar ezzel mondani ... Ami nekem és még sok embernek problémát okoz, az a mód, ahogy az adatokat elemezte, és ezen a számítógépes feldolgozás az égvilágon semmit nem változtat...”

A reprodukció késik

- Sok labor nekifogott az eredmények reprodukálásának – **sikertelenül**
- Több év után, 1972-re óvatosan bár, de elkezdtek nyilvánosságra hozni **negatív eredményeiket**
- Próbáljuk csak elképzelni egy tudós helyzetét, aki Weber eredményeit próbálja megismételni!
 - Épít egy kifinomult gépezetet, és néhány hónapig figyeli, amint az kilométer hosszan egyre csak rajzolja tele a papírtekercseket
 - A kérdés az, hogy van-e olyan csúcs a vonalak rengetegében, amelyik valóban gravitációs hullámot jelez, és nem csupán zaj?
 - És ha úgy tűnik, hogy nincs, akkor a következő kérdés: publikálja-e ezt az eredményt, és ezzel együtt azt, hogy Weber tévedett? De mi van, ha ő téved valahol, és ezzel saját kísérleti inkompetenciájáról ad tanúbizonyságot?

A reprodukció késik

- **Mitől lehettek volna bizonyosak** abban, hogy az ő negatív eredményeik a jók, miközben Weber továbbra is azt állította, hogy észleli a gravitációs hullámokat?
 - **Ő, aki kellően elkötelezett...**

„... [a nagy különbség Weber és mások között az, hogy ő] órákat áldoz rá naponta, hetente, havonta, szinte együtt él a gépével. Ha dolgozol valamin, és a legtöbbet próbálsz kihozni belőle, olyan gondokkal szembesülsz például, hogy az egyik elektroncső a százból csak egy hónapig, de ha nincs szerencséd, akkor csak egy hétig működik rendesen. Valami történik, valami kis szemcse leválik a katódról, és máris van egy zajforrásod, az ilyesmit megtalálni pedig nagyon hosszú és unalmas munka. Eközben az egész szerkentyű kívülről ugyanúgy néz ki.”
 - **...és kellően képzett is**

„Weber villamosmérnök és fizikus egyszerre, és ha kiderülne, hogy ő valóban gravitációs hullámokat látott, míg mindenki más egyszerűen hibázott, az volna rá a magyarázat, hogy csak ő volt az ennek a témának megfelelő kísérletező ... Ezt nagyon lényegesnek gondolom, együtt élni a műszerrel. Ez olyasmi, mint megismerni egy embert – idővel tán még akkor is meg tudod mondani, mit érez a feleséged, amikor még ő maga sem.”
- **Hogyan lehet ezzel szembeszállni?**

Baj lehet az eredetivel?

- A vita során fény derült bizonyos **hibákra**, amiket Weber követett el
 - Weber ezekre sorra válaszolt, és igyekezett azokat kiküszöbölni
- A hibák egyike sem volt **önmagában** megsemmisítő, mindegyik esetben sokan voltak, akik jelentéktelennek ítélték az adott esetet
 - feltűnő hibát találtak a számítógép programjában (amit később javítottak)
 - kritizálható volt a háttérzaj statisztikai elemzése
 - hosszas fejlesztések után sem sikerült javítani a jel és a zaj arányán
 - egy esetben volt egy szerencsétlen elnézés az időzónákkal kapcsolatban, ami hamis coincidenciákhoz vezetett

„A kísérletező regresszusa”

□ A kísérletező regresszusa:

- Nem tudjuk, hogy érkezik-e egyáltalán észlelhető mennyiségű gravitációs hullám a Földre. Ennek eldöntéséhez jó hullámdetektorra van szükségünk. De nem tudhatjuk, hogy jó detektort építettünk-e, amíg ki nem próbáltuk, és helyes eredményeket nem kaptunk. De nem tudjuk, mi a helyes eredmény, amíg ... és így tovább a *végtelenségig*.
- Egy kísérlet csak abban az esetben szolgálhat valaminek az *ellenőrzésére*, ha valamilyen módon sikerült kitörni ebből a körből (a tudomány legnagyobb részében ez már megtörtént, hiszen az eredmények elfogadható tartománya már ismert).
- Ennek hiányában az **ördögi kör** csak úgy kerülhető el, ha valami egyéb módot találunk a kísérlet minőségének meghatározására, ami **független annak kimenetelétől**.

Kilépés a regresszusból

- Ilyen esetekben **komoly véleménykülönbségeket** várhatunk: a *negatív* eredmény a módszerek vagy a detektor hibája? Vagy a szakértelem, a kitartás vagy a jószerencse hiányában kell keresni?

Megjegyzések a W kísérletről

(a): „...ezért a W megoldása, noha meglehetősen bonyolult, rendelkezik olyan vonásokkal, amiktől – ha ők láttak valamit – az valamivel hihetőbb... Ők valóban végiggondolták...”

(b): „Igen nagy érzékenységet várnak ettől, de én őszintén szólva nem hiszek bennük. Sokkal finomabb módjai is vannak ennek, mintsem nyers erővel kellene...”

(c): „Azt hiszem ... W csoportja ... egyszerűen nincs józan eszénél.”

Kilépés a regresszusból

- Ilyen esetekben **komoly véleménykülönbségeket** várhatunk: a *negatív* eredmény a módszerek vagy a detektor hibája? Vagy a szakértelem, a kitartás vagy a jószerencse hiányában kell keresni?

Megjegyzések az X kísérletről

(i): „...elég jelentéktelen helyen dolgozik... [de] ...megnéztem az adatait, és valóban vannak köztük érdekesek.”

(ii): „Nem vagyok teljesen meggyőződve a kísérleti képességeiről, szóval amit csinál, azt előbb kérdőjelezném meg bárki más eredményeinél.”

(iii): „Ez a kísérlet egy nagy rakás szar!”

Kilépés a regresszusból

- Ilyen esetekben **komoly véleménykülönbségeket** várhatunk: a *negatív* eredmény a módszerek vagy a detektor hibája? Vagy a szakértelem, a kitartás vagy a jószerencse hiányában kell keresni?

Megjegyzések az Y kísérletről

(1): „Y eredményei igen mély benyomást tettek rám. Nagyon szakszerűek, igen hitelesnek tűnnek...”

(2): „Maximálisan elismerem a pontosságát, meg jó barátok is vagyunk... de egyszerűen nincs esélye [a gravitációs hullámok észlelésére].”

(3): „Ha azt csinálod, amit Y, és odaadod az eredményeidet valakinek, hogy elemezze ki, hát, nem tudsz meg semmit. Sose tudhatod, hogy nem csak bátorítani akarnak.”

Kilépés a regresszusból

- Ilyen esetekben **komoly véleménykülönbségeket** várhatunk: a *negatív* eredmény a módszerek vagy a detektor hibája? Vagy a szakértelem, a kitartás vagy a jószerencse hiányában kell keresni?

Megjegyzések az Z kísérletről

(I): „Z kísérlete eléggé figyelemre méltó, és nem kéne csak azért elvetni, mert ... a csoport nem tudja megismételni.”

(II): „Nem nagyon hatott meg a Z esete.”

(III): „És akkor ott van Z. Na mármost az egy kifejezett szélhámosság!”

Kilépés a regresszusból

- Mások kísérleteinek megítélésénél **nem kizárólag technikai érvek** szerepelnek, hanem a tudomány világától általában teljesen idegennek gondolt szempontok is felmerülnek. A szakértőkkel folytatott beszélgetések alapján az alábbi, nem technikai jellegű tényezők is szerepeltek az eredmények helyességének értékelésekor:
 - n korábbi együttműködés során a másik képességeiről, tisztességességéről alkotott vélemény
 - n a kísérlet végzőjének személyisége, intelligenciája
 - n egy nagy laboratórium vezetése során szerzett hírnév
 - n van-e a kísérletezőnek vállalati vagy akadémiai állása
 - n a kutató korábbi kudarcainak történetei
 - n „belső információk”
 - n a kutató stílusa, eredményeinek tálalása
 - n a kutató „pszichológiai hozzáállása” a kísérlethez
 - n a kutató anyaegetemének súlya, presztízse
 - n különböző tudományos hálózatokban való részvétel mértéke
 - n a kutató nemzetisége

Kilépés a regresszusból

- Egy tudós így fogalmazott, hogy miért nem hisz Weber eredményeinek:
 - „Ennek igen kevés köze van a tudományhoz, de majd amikor a kísérletéről beszélgetünk, meglátja, hogy nem tudok olyan mértékben eltekinteni az efféle tényezőktől, mint ahogyan szeretnék.”
- Az érvek, amelyek arról ítélnek, hogy ki végez jó munkát, a gravitációs hullámok létezéséről folyó vita részeként jelennek meg.
 - Amint eldöntik, melyek a jó kísérletek, attól kezdve azok eredménye lesz a mérvadó: eldől, hogy kellene-e észlelni gravitációs hullámokat, vagy sem.
 - Másfelől meg amikor már bizonyosak vagyunk a hullámok létének kérdésében, mindjárt kiderül, hogy mely detektorokban lehet megbízni: ha létezik a jelenség, a jó műszer kimutatja, ha pedig nincsenek gravitációs hullámok, azok a legpontosabb kísérletek, amelyek ezt támasztják alá.
- Tehát a jó detektor és megfigyelési tárgyának létezése **párhuzamosan, egyazon folyamat során** határozódik meg, amelynek tudományos és társadalmi jellege kibogozhatatlan egységet alkot. Ez az út, amely kivezet a regresszusból.

A vita lezárása

- 1973 júliusában (két hét különbséggel) két különböző kutatócsoport számolt be **negatív eredményeiről** a *Physical Review Letters* című lapban, majd őket egy harmadik követte decemberben a *Nature*-ben. Ezek a csoportok (még másik hárommal egyetemben) további jelentésekben erősítették meg, hogy berendezéseik egyre nagyobb fokú pontossága mellett sem találnak semmit (azóta senki sem közölt olyan eredményt, amely Weber adatait erősítené meg).
- Természetesen Weber mind a hat kísérletet élesen bírálta, de ezek közül ötöt többen bíráltak Weber kritikusai közül is.
- A kísérlet, **ami végül „perdöntőnek”** (a legtöbb tudós számára meggyőzőnek) bizonyult, Weber eredeti elrendezésének a pontos másolata volt, és egy neves fizikus, Richard Garwin végezte el.

A vita lezárása

□ Richard Garwin bírálata

„...ami pedig általában a tudós közösséget illeti, minden bizonnyal Garwin publikációja döntötte el a közhangulatot. Bár valójában a kísérlet, amit csináltak, triviális volt, csak egy apróság ... De az volt a lényeges, ahogy leírták ... Mindenki más szörnyen körülményes volt ... az egész olyan határozatlan volt... És akkor Garwin előáll azzal a játékszerrel. Az számított igazán, ahogyan írt.”

■ Garwin az elejétől fogva úgy gondolta, hogy Weber tévedett.

■ Gondoskodott arról, hogy Weber néhány hibája nagy publicitást kapjon egy 1974-es konferencián. Írt például egy levelet az egyik népszerű fizikai folyóiratnak, az alábbi részlettel:

□ „[Láttuk,] hogy ... [bizonyos felvételeken] ... majdnem az összes úgynevezett ‚valódi‘ koincidencia ... egyszerűen ennek a programhibának az eredménye. Tehát ezen többletkoincidenciákról nemcsak annyit állíthatunk, hogy a gravitációs hullámoktól független jelenségek is *okozhatták*, hanem valójában azok *okozták* őket [ebben az adatsorban].”

■ Éles bírálatát részletes analízissel és támadó stílussal körítette

□ 1975-re majdnem mindenki egyetértett abban, hogy az eredeti kísérlet elhibázott volt

■ Ekkor már sokan, időt és energiát nem kímélve kardoskodtak Weber ellenében...

Összefoglalás

- A *kísérleti eredmények* történetét így foglalhatjuk össze:
 - A negatív jelentések sorozata lehetővé tette a Weberrel szemben határozottan fellépő vélemények nyílt közzétételét, de ez a bizonyosság csak a kísérleti beszámolók valamiféle „kritikus tömege” után következett el. Ezt a **kritikus tömeget** „robbantotta be” Garwin.
 - Minden ezt követő, pozitív eredményű kísérlet elhibázottnak minősült.
 - A gravitációs hullámok tudománya **teljesen megváltozott** a vita feloldódása során.
 - *Azelőtt valódi, alapvető bizonytalanság* övezte a témát. Akkor még bárki nyugodtan gondolhatta, hogy két, nyitott lehetőség van, és természetes volt, ha valaki vonakodott a kérdésben határozott állást foglalni.
 - A feloldás *után minden világos*; nagy erősségű gravitációs hullámok nem léteznek, és csak egy hozzá nem értő tudósban merülhet fel, hogy ilyesmit megfigyelhet.

Irodalom

- ❑ A new window on the universe: the non-detection of gravitational radiation. *The Golem*, Chapter 5.
- ❑ Bartusiak, Marcia (2000). *Einstein's Unfinished Symphony: Listening to the Sounds of Space-Time*. Washington: Joseph Henry Press.
- ❑ Collins, Harry (2004). *Gravity's Shadow: The Search for Gravitational Waves*. Chicago: University of Chicago Press.

Kulcsfogalmak, kérdések

□ Kulcsfogalmak:

- a kísérletező regresszusa

□ Kérdések:

- Hogyan oldódott fel a 70-es években a gravitációs hullámok körül kirobbant vita?
- Mitől fordult meg a gravitációs hullámok észlelését elfogadó közhangulat? Milyen főbb tényezők játszottak ebben szerepet?
- Joseph Weber még a 70-es évek végén is állította, hogy gravitációs hullámokat észlel. Miért nem hittek neki?
- Miben különleges egy negatív eredményű kísérlet?

A Gólem



A hidegfúzió története:
„Csináljunk napot lombikban!”

Mi történt?

1989. március 23-án a University of Utah két vegyésze, **Martin Fleischmann** és **Stanley Pons** bejelenti a sajtónak, hogy felfedezte a hidegfúziót.

- ez megfelel a napban vagy hidrogénbombában lezajló folyamat laboratóriumi szintű, kontrollált megvalósításának



A kísérlet

Némi áram bevezetése a cellába hosszú időn át állításuk szerint fúziót eredményezett! Azaz a nehézhidrogén-atomok héliummá egyesültek, s ezáltal **energia szabadult fel**, mint a Nap belsejében.

A fúzió jelei: felszabaduló hő, valamint nukleáris melléktermékek (neutron és trícium) keletkezése

A bejelentés felkavarta a tudományos közösséget, sokan (pl. egy csapat az MIT-n) azonnal nekifogtak a kísérlet megisméltésének (amely bár egyszerű, de a pontos részletek, mennyiségek ismerete nélkül nem nagyon volt várható siker).

Fúzióláz

Mindkét csapat adott le cikket a *Nature*-nek.

Megerősítő kísérletek sora következett:

- a Texas A&M University hőtermelést észlelt
- a Georgia Tech neutronkibocsátást
- pozitív eredmények érkeztek Magyarországról(!), Kelet-Európából, és széleskörűen a nemzetközi tudományos világból

Az **elsőbbiségi harc** szellemében P.-F. felfedezése előbb került a sajtóba, mint a szakfolyóiratokba. Az Utah Egyetem szabadalmaztatta a felfedezést, Utah állam pedig 5 millió dollárral támogatta a kutatást, kilátásba helyezve további 25 szövetségi milliót. Még Bush elnököt is folyamatosan tudósították az aktuális helyzetről.

Előzmények

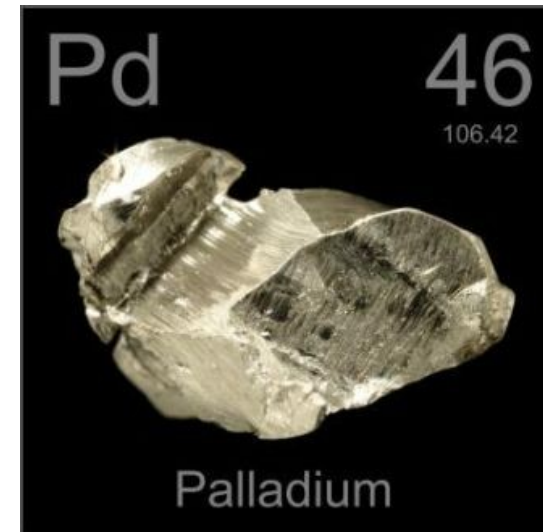
Miért pont a palládium?

Közismerten nagy a hidrogénfelszívó képessége. Ha telítve van, kristályszerkezetében olyan nagyra nő a feszültség, amely esetleg leküzdheti a fúziót megakadályozó, magok közti Coulomb-taszítást. Pons és Fleischmann előtt már próbálkoztak ezzel mások is.

Korai kísérletek

A 20-as években **Paneth** és **Peters** berlini vegyészek próbálkoztak hasonló eljárással héliumot előállítani, a siker azonban elmaradt.

A következő években a svéd **John Tandberg** (Electrolux) vitte tovább az ötletet, először közönséges vízzel, majd az 1931-es felfedezése után deutériummal próbálkozott (ez már lényegében azonos volt a 89-es kísérlettel), de a héliumelőállítás szempontjából ez is kudarc maradt.



A konkurens: Steven Jones

Az 1989. március 23-i bejelentés megértéséhez ismerni kell a másik Utah-beli, Steven Jones vezette csapat tevékenységét is.

1982-ben végzett részecskegyorsító kísérletei a lehetséges **fúzió irányába mutattak**, és felkeltették a tudóstársadalom figyelmét. Általában figyelemmel kísérték munkáját, míg Pons és Fleischmann (vegyészként) ismeretlenek voltak a területen.

Jones a magas nyomás fúziókeltő hatását vizsgálta hidrogénizotópok esetében. A fordulópont 1985-ban következett be, amikor egy geofizikus felhívta figyelmét a vulkánok melletti magas nehézhélium-koncentrációra (He-3). Hipotézisük szerint ez a földben, deutériumot tartalmazó vízben lefolyó természetes hidegfúzió mellékterméke. Ezt próbálták laboratóriumi körülmények között megismételni. Kerestek egy katalizátornak alkalmas fémet; különböző elektrolitcellák építése után a palládiumot választották, hidrogénfelszívó képessége miatt. 1986-ban kezdtek a háttérsugárzásnál picit magasabb neutronszinteket mérni. 1988-ra már magabiztosan állították a neutron keletkezését.

Rivalizálás

Jones 1988 szeptemberében szerzett csak tudomást a közeli csapat hasonló irányú munkájáról, amikor a páros egy pályázatának elbírálására kérték fel.

Az anyagi, szabadalmi és presztízsbeli tét miatt **elkerülhetetlen volt a rivalizálás** és a gyanakvás a két csoport között. Felmerült az eredmények közös publikációjának lehetősége, az azonban megállapodások és szószegések sorozata után megghiúsult (a pontos részletek máig nem ismertek):

- 1989. elején P.-F. haladékot kért Jonestól (aki addig nem jön ki az eredményeivel), hogy megismételhessék a mérést
- Jones visszalépett egy márciusi konferenciától, de május 1-jén szándékozott előadni az eredményeit az American Physical Society-nek
- közös megegyezésként március 24-én terveztek beadni külön-külön egy cikket a *Nature*-nek, de márciusban a két csoport kapcsolata megszakadt. P.-F. attól tartott, hogy Jones fel tudja használni, vagy akár el is lophatja a pályázatuk anyagát.

Vita

A hidegfúzió körüli vitákhoz P.-F. eredményei vezettek.

Jones amúgy szerényebb, más körülmények közt bizonyára elfogadható eredményei is a heves vita áldozatául estek.

P.-F.-nak vegyészként nem volt reputációjuk a területen, ráadásul olyasmit állítottak, amit a legtöbb fizikus lehetetlennek tartott. A fúzióval foglalkozó kutatók meglehetősen szkeptikusan fogadták a bejelentést:

„Képzeld el, hogy sugárhajtású repülőket tervezel, amikor egyszer csak azt hallod a hírekben, hogy feltalálták az antigravitációs hajtóművet” (Mallove, 1991)

Az efféle nagyszabású bejelentések gyakran igen gyors összeomlását is jól ismerik már a tudósok, ez is a szkepszist táplálja. Vegyészkörökben persze egész más az olvasat. S végül a kísérlet egyszerűsége miatt úgyis hamar fény derül mindenre...

A kísérlet

A hő és a nukleáris termékek keletkezését kell ellenőrizni.

A **hő**felszabadulás mérése egyszerű. A cella be- és kimeneti feszültségét kell feljegyezni, valamint az összes olyan ismert kémiai reakciót, amely hőt termel. A deutérium hidrogénnel való teljes feltöltődése több hónapig is tarthat, ezért a kísérlet is eltart egy ideig. Szeszélyesen változó mérések mellett átlag 10-25% többlethő keletkezett, amit semmilyen ismert kémiai reakciónak nem tudtak tulajdonítani.

A fúzió legközvetlenebb bizonyítéka a hő és **neutron** közös kibocsátása lenne. P.-F. első neutronmérése elég nyers és kevésbé meggyőző volt (a cellától 50 m-re háromszoros háttérsugárzást kaptak). Másik módszer a kísérő gammasugárzás mérése, az így mért neutronmennyiség azonban sokkal kevesebb volt a fúzió esetében várhatónál. További nyom lehetne a trícium jelenléte, ám az származhat közvetlenül a deutériumból is.

A kísérlet megismétlése

Sok próbálkozás követte a bejelentést

A nehézség egy része a részletek hiányából származik. A visszatartott információ bevett szokás és indokolt lehet ilyen gazdasági és tudományos tét esetében. Másfelől biztonsági okokból (bomba gyártás, saját biztonság) sem akarták közreadni a részleteket. Végül elindult az információ áradat és a replikáció.

A legtöbb esetben semmi, pár esetben pozitív eredmény adódott. Az esettel felszínre került a klasszikus **megismételhetőség problémája**. Az pozitív eredmény hiányát hívők eljárási hibával magyarázzák míg a szkeptikusok azt állítják, hogy nincs is mit találni.

P.-F. Maguk sem lepődtek meg a negatív eredménytől

Egyik lényeges ismétlés Robert Huggins-é, aki ellenőrző kísérletet végzett sima vízzel is, és csak a deutérium esetében észlelt hő termelést, ezzel választ adva egy visszatérő kritikájára a P.-F. kísérletnek .

A kísérlet megismétlése

P.-F. eljárásának egy másik kritikája a nyitott cella alkalmazása, amelyből gáz (deutérium és oxigén) tudott kiszökni. Egy Texas A&M csapat zárt cellákkal is megerősítette a hőtermelést.

A kísérletet további kritikák is érték (elektrolit felkeverésének hiánya, újság fénykép alapú reprodukció), ezek hol választ kaptak, hol részeshetnének hasonlóan vehemens fogadtatásban mint az alapkísérlet. Egészen a csalással és nem tudományos viselkedéssel való vádolásig eljutott a történet.

Továbbra is a **megismételhetőség** problematikus kérdésével állunk szembe.

A magfizika egy lehetséges válasza az **elméleti lehetőség** újravizsgálása.

A kísérlet megismétlése

Sok próbálkozás követte a bejelentést

A nehézség egy része a részletek hiányából származik. A visszatartott információ bevett szokás és indokolt lehet ilyen gazdasági és tudományos tét esetében. Másfelől biztonsági okokból (bomba gyártás, saját biztonság) sem akarták közreadni a részleteket. Végül elindult az információ áradat és a replikáció.

A legtöbb esetben semmi, pár esetben pozitív eredmény adódott. Az esettel felszínre került a klasszikus **megismételhetőség problémája**. Az pozitív eredmény hiányát hívők eljárási hibával magyarázzák míg a szkeptikusok azt állítják, hogy nincs is mit találni.

P.-F. Maguk sem lepődtek meg a negatív eredménytől

Egyik lényeges ismétlés Robert Huggins-é, aki ellenőrző kísérletet végzett sima vízzel is, és csak a deutérium esetében észlelt hő termelést, ezzel választ adva egy visszatérő kritikájára a P.-F. kísérletnek .