

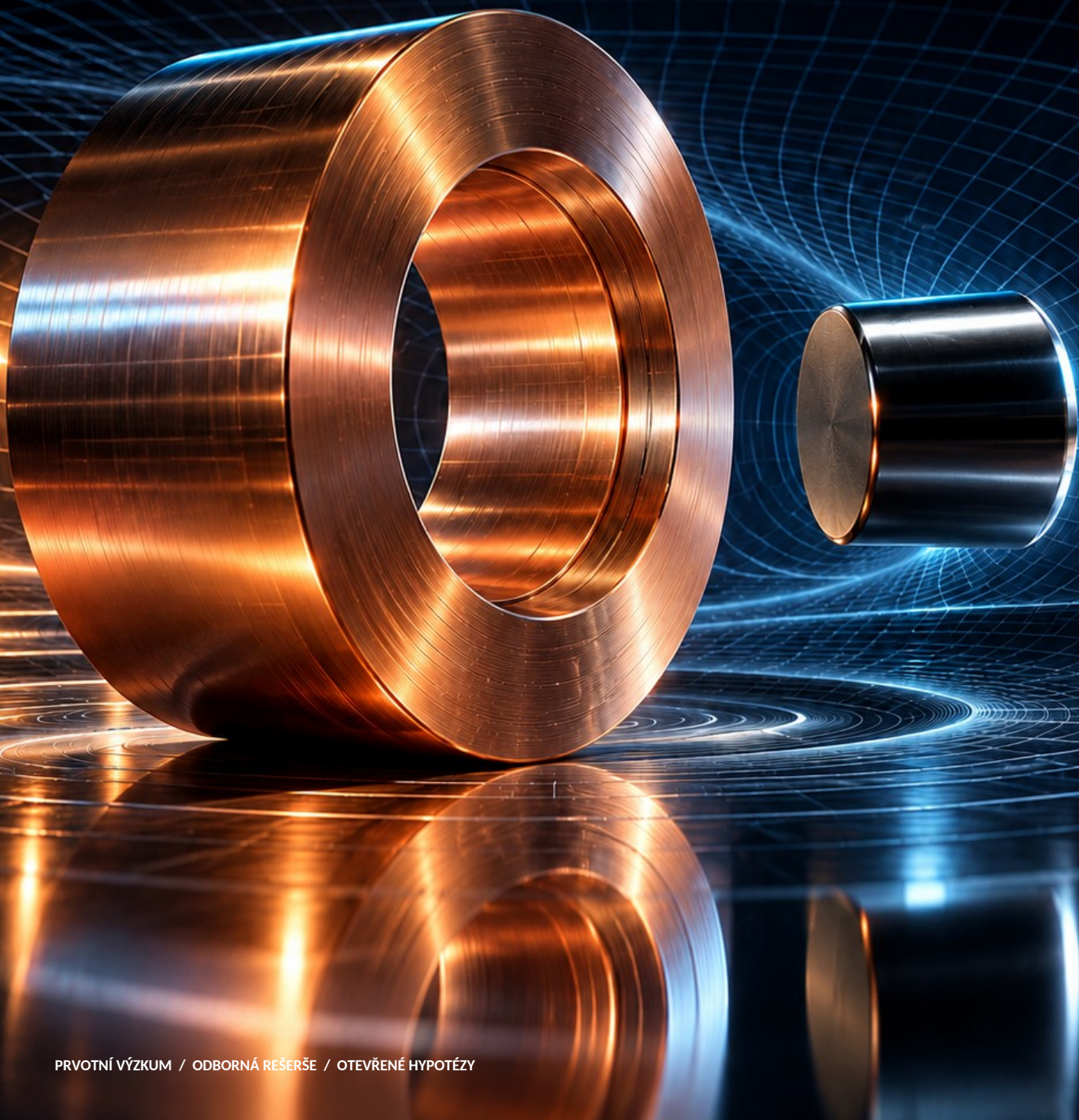
EVERYTHINK JOURNEY / 02

PAVEL KUBÁT

MAGNITACE

Magnetismus
a gravitace

Dvě největší záhady



PRVOTNÍ VÝZKUM / ODBORNÁ REŠERŠE / OTEVŘENÉ HYPOTÉZY

VÝZKUM / SOUVISLOSTI / HYPOTÉZY

Mapa MAGNITACE

Od dnešních poznatků k novým výzkumným otázkám

MAGNITACE otevírá výzkum hlubší souvislosti magnetismu a gravitace. Spojuje odbornou rešerši s autorskými otázkami, několika otevřenými směry vysvětlení a matematickými prototypy. Současné modely slouží jako srovnávací základ. Tato fáze hledá možnosti a připravuje pozdější měření.

36 KAPITOL **54 PRAMENŮ** **17 ROVNIC**

01–05 Magnet a měď

Otázka změny gravitačního působení

06–11 Dvě interakce

Kvantový magnetismus a měření gravitace

12–19 Znamé i hledané spojnice

Energie pole, kosmické jevy a sjednocení

20–23 První matematický prototyp

Skalární vazba a předpověď signálu

24–32 Cesta k experimentu

Měření, vyhodnocení a důsledky

33–36 Nové výzkumné větve

Paměť, stavová vazba, hranice a společný původ

Jak číst studii

Číslované odkazy vedou k původním pracím a přehledům v bibliografii. Pozorování, výpočty a otevřené domněnky jsou rozlišeny průběžně. Kapitoly 33–36 rozvíjejí několik výzkumných větví. Autorské hypotézy zůstávají podněty k další práci.

Rešeršní uzávěrka 22. října 2026. Text nebyl nezávisle odborně recenzován. Hyperrealistické ilustrace jsou generativní vizualizace; grafy vznikly z uvedených modelů nebo publikovaných hodnot. Obálka používá konceptuální motiv, obrazové stránky nezachycují provedená měření.

Kapitoly MAGNITACE

01	Výzkumný záměr MAGNITACE	5
02	Co znamená propojit dvě interakce	6
03	Magnet v měděné trubici	7
04	Jak z trubice udělat rozlišovací experiment	8
05	Otevřená otázka změny gravitačního působení	9
06	Pole mezi magnetem a světlem	11
07	Proč železo drží magnetizaci	12
08	Nové magnetické světy	13
09	Gravitace jako geometrie měřitelných vztahů	14
10	Co už bylo skutečně změřeno	15
11	Malé hmotnosti a kvantový volný pád	16
12	Společný popis už existuje	17
13	Kolik gravitace vytvoří magnetické pole	18
14	Převod světla a gravitačních vln	19
15	Vakuum má kvantovou strukturu	20
16	Vesmír jako laboratoř silných polí	21
17	Jak se lidé pokoušejí o sjednocení	22
18	Kde se setkávají kvanta a geometrie	23

Kapitoly MAGNITACE

19	Co by dokazovalo gravitační provázání	24
20	Jedna matematická větev EveryThink	25
21	Matematická podoba hypotézy	26
22	Rozdíl který se neskrývá v pouhé energii	27
23	Od rovnice k měřitelnému signálu	28
24	Jak by vypadal rozhodující laboratorní test	29
25	Jak oddělit jednotlivé fyzikální příspěvky	30
26	Jak připravit budoucí vyhodnocení experimentu	31
27	Jak později rozlišovat výzkumné možnosti	32
28	Jak spojit různé meze bez falešného srovnání	33
29	Co by objev znamenal pro fyziku	34
30	Pět technických kontrol před každým závěrem	35
31	Analytický most mezi invariantem a silou	36
32	Výzkumná cesta od této studie dál	37
33	Otázky které mění směr hledání	38
34	Paměť prostředí jako první výpočetní cesta	39
35	Gravitační vazba závislá na stavu soustavy	41
36	Společný původ jako samostatný výzkumný úkol	43

01 Výzkumný záměr MAGNITACE

Otevřít možnosti a postupně jim dát přesný tvar



Koncepční ilustrace magnetu a měděné trubice. Generativní ilustrace.

Touto studií chci otevřít prostor otázkám, které mohou zůstat skryté, pokud přijímáme zavedený výklad jako poslední možné vysvětlení. Magnetismus a gravitace jsou východiskem mého hledání hlubšího vztahu mezi hmotou, pohybem, polem a prostorem. Název MAGNITACE označuje autorský výzkumný program EveryThink JOURNEY. Jeho smyslem je objevovat možné spojnice, formulovat alternativy a připravit cestu k jejich pozdějšímu prozkoumání.

Jsme ve fázi prvotního výzkumu. Nová možnost může nejprve vzniknout jako otázka, obraz nebo nečekané propojení známých jevů. Teprve postupně může dostat matematický tvar a experimentální program. Proto zde vedle odborné rešerše rozvíjím otevřené domněnky. Jejich význam v této fázi spočívá také v tom, jaké nové otázky dokážou položit a které dosud oddělené oblasti pomohou zkoumat společně.

Ústředním příkladem je pomalý pád magnetu měděnou trubicí. Pozorovaný pohyb lze velmi dobře popisovat elektromagnetickou indukci. Současně se ptám, zda tento děj může inspirovat hlubší pohled na vztah gravitace a elektromagnetického prostředí. Přijmout známý výpočet jako srovnávací základ a zkoumat další vrstvu vysvětlení jsou slučitelné výzkumné kroky. Případná hlubší teorie může vysvětlit, proč současné rovnice tak dobře fungují, a zároveň ukázat jejich širší souvislost.

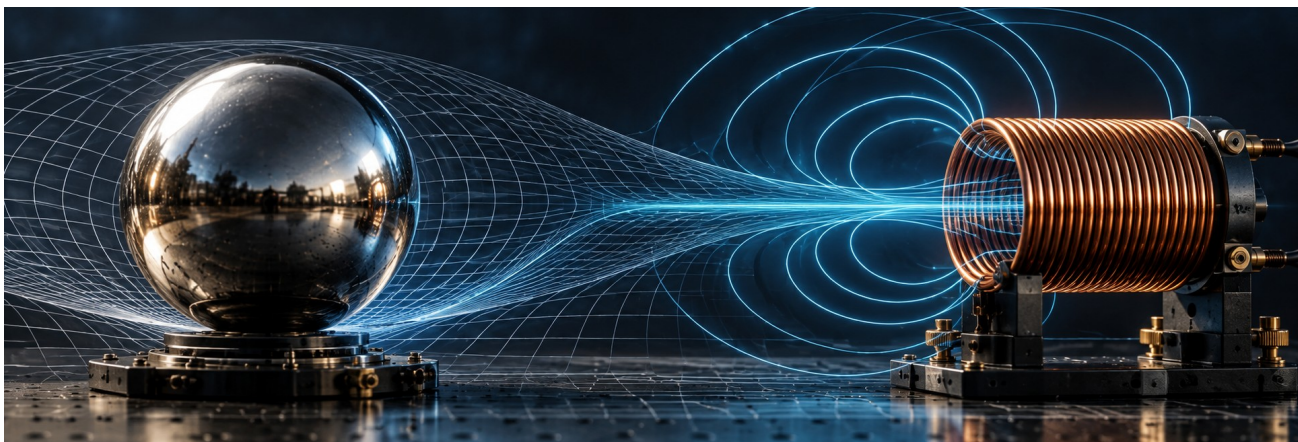
V textu rozlišuji pozorování, výpočet a autorskou domněnku. Pozorování popisuje, co bylo naměřeno. Výpočet ukazuje, co plyne ze stanovených předpokladů. Domněnka otevírá možnost, pro kterou teprve hledáme správný jazyk, mechanismus nebo měření. Toto rozlišení umožňuje odvážné myšlenky rozvíjet srozumitelně a pravdivě, aniž bychom z otázky předčasně udělali prokázaný výsledek.

Rešerše k 22. říjnu 2026 zahrnuje klasické základy, původní experimenty a vybrané současné práce včetně odborných sporů. Není vyčerpávajícím soupisem veškeré literatury. Současné modely v ní vystupují jako podrobně propracovaná měřítko pro další hledání. Jejich úspěchy i pracovní předpoklady nás zajímají proto, že pomáhají určit, kde může nová myšlenka přinést další rozlišení.

EveryThink zde postupuje dvěma cestami. První uchovává širší otázku, zda elektromagnetické a materiálové prostředí souvisí s gravitačním působením hlouběji, než dnes zachycuje běžný výklad. Druhá zkouší jeden konkrétní skalární model jako výpočetní prototyp. Tento prototyp neuzavírá ostatní možnosti. Poskytuje příklad, jak lze od obecné intuice dojít ke vztahům mezi měřitelnými veličinami. Důkazní etapa bude následovat, až bude některá možnost dostatečně rozpracována.

02 Co znamená propojit dvě interakce

Od společného jazyka ke společnému původu



Společný jazyk polí a geometrie jako výzkumná otázka. Generativní ilustrace.

Slovo propojení může znamenat nejméně tři odlišné věci. První je vzájemné působení: elektromagnetické pole nese energii, ovlivňuje gravitační pole a současně se šíří v zakřiveném časoprostoru. Druhou je společný matematický popis: obě interakce lze vložit do jedné akce a odvodit rovnice jejich společného vývoje. Třetí je hlubší sjednocení, v němž zdánlivě odlišná pole vznikají z jedné základnější struktury. První dvě úrovně mají propracovaný fyzikální popis; třetí otevírá prostor dalšímu hledání.

Historie elektromagnetismu ukazuje, jak vypadá skutečné sjednocení. Elektrické a magnetické jevy nebyly spojeny jen tím, že se navzájem podobají. Společné rovnice vysvětlily indukci, zavedly vazbu časově proměnných polí a vedly k elektromagnetickým vlnám. Později relativita ukázala, proč různí pozorovatelé rozdělují totéž elektromagnetické pole na elektrickou a magnetickou složku různým způsobem. Magnetismus proto nelze sjednocovat s gravitací tak, že elektrinu od celé otázky odřízneme. [1, 2]

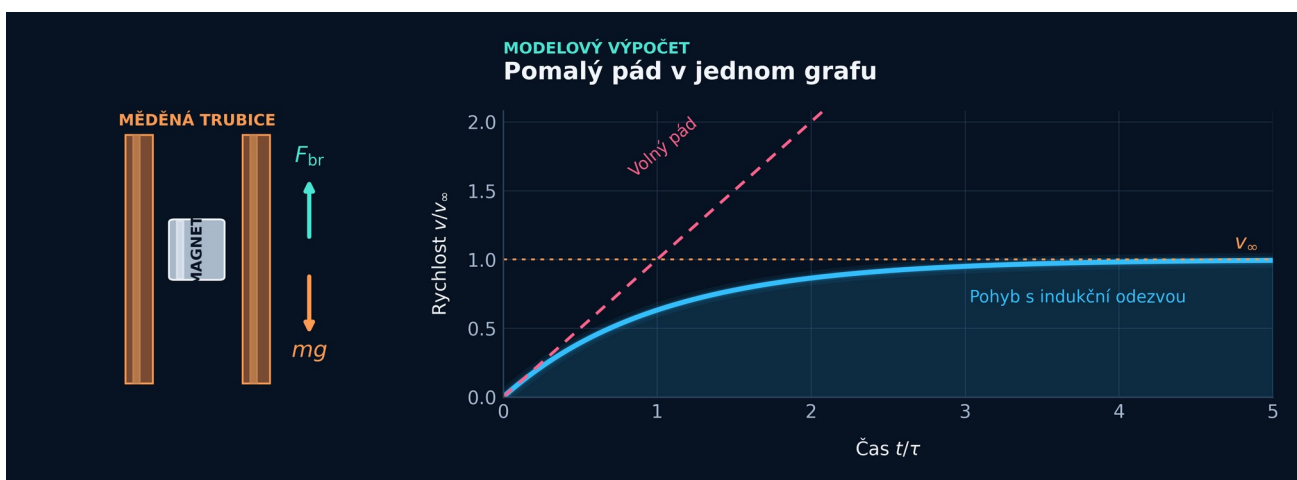
Mezi známými poli však existují podstatné rozdíly. Elektrický náboj může mít dvě znaménka a makroskopická tělesa mohou být téměř elektricky neutrální. Gravitačním zdrojem v obecné relativitě je energie a hybnost včetně tlaku a napětí. Běžná hmota se gravitačně přitahuje bez ohledu na to, zda má měřitelnou magnetizaci. Kvantový popis fotonu odpovídá bezhmotnému poli se spinem jedna; slabé gravitační vlny mají v obvyklém kvantovém popisu spin dva. Toto rozlišení nelze odstranit podobností obrázků siločar.

Také slovo pole není odpovědí na všechno. Označuje fyzikální veličiny přiřazené událostem v prostoru a čase a pravidla jejich měření a vývoje. Neříká samo o sobě, zda pod těmito veličinami existuje ještě jiná mikroskopická struktura. Obdobně geometrie neznamena, že časoprostor musí být látková síť. Je přesným způsobem, jak popisovat intervaly, hodiny, světelné dráhy a vzájemný pohyb těles.

Pro EveryThink se tím otevírají různé výzkumné cíle. Můžeme hledat nový mechanismus, odvodit známé vztahy z hlubšího základu nebo objevit souvislost mezi dosud oddělenými popisy. Pokud nová představa zatím sdílí všechny známé předpovědi, má v této fázi povahu možné interpretace. Dalším krokem může být nalezení situace, v níž se její důsledky odliší. V dalších kapitolách budeme rozlišovat společnou řeč rovnic, fyzikální vazbu a otázku společného původu.

03 Magnet v měděné trubici

Přímý přenos mezi pohybem, polem a teplem



Obr. 1 Pád v měděné trubici: tíhová síla zůstává a proti ní působí elektromagnetické brzdění. Model $v/v_\infty = 1 - \exp(-t/\tau)$, konstantní k a nulová počáteční rychlost. Schéma ani křivka nejsou naměřenými daty. Souvislosti [47–49].

Silný magnet se nechá spadnout svislou měděnou trubicí. Při souosém průchodu se nedotýká stěn, měď není feromagnetická, a přesto magnet klesá mnohem pomaleji než stejným prostorem bez trubice. Je to názorné setkání gravitace s elektromagnetismem v jednom ději. Přímou pozorujeme změnu pohybu magnetu. Otevíráme otázku, co všechno z ní lze zjistit o elektromagnetické odezvě, gravitačním působení a jejich hlubší souvislosti. Rozlišení těchto rovin je výzkumným úkolem pokusu.

V dosavadním elektrodynamickém popisu se při pohybu magnetu mění magnetický tok vodivými oblastmi trubice. Faradayův zákon určuje indukované napětí a Lenzovo pravidlo směr vznikajících proudů: jejich pole odporuje změně, která proudy vyvolala. Vířivé proudy tak působí na padající magnet brzdou elektromagnetickou silou. V oblasti nad a pod magnetem mají proudové a silové příspěvky rozdílné prostorové uspořádání; součet při sestupném pohybu brzdí pád. Kvantitativní modely tohoto jevu existují a lze je porovnávat s měřeními. [47, 48]

$$m \frac{dv}{dt} = mg - F_{br}, \quad F_{br} \simeq kv, \quad v_\infty = \frac{mg}{k}$$

Ve zjednodušeném pomalém režimu je brzdná síla přibližně $k v$, kde k má jednotku kg/s . V dostatečně dlouhé trubici se ustaví mezní rychlost mg/k . Nulové výsledné zrychlení v tomto modelu odpovídá rovnováze tíhové a elektromagnetické síly. Kdyby v běžné odporové mědi magnet zůstal nehybný a změna toku skončila, tyto pohybem buzené proudy by postupně zanikly. Obyčejná měděná trubice proto není trvalým statickým závěsem magnetu.

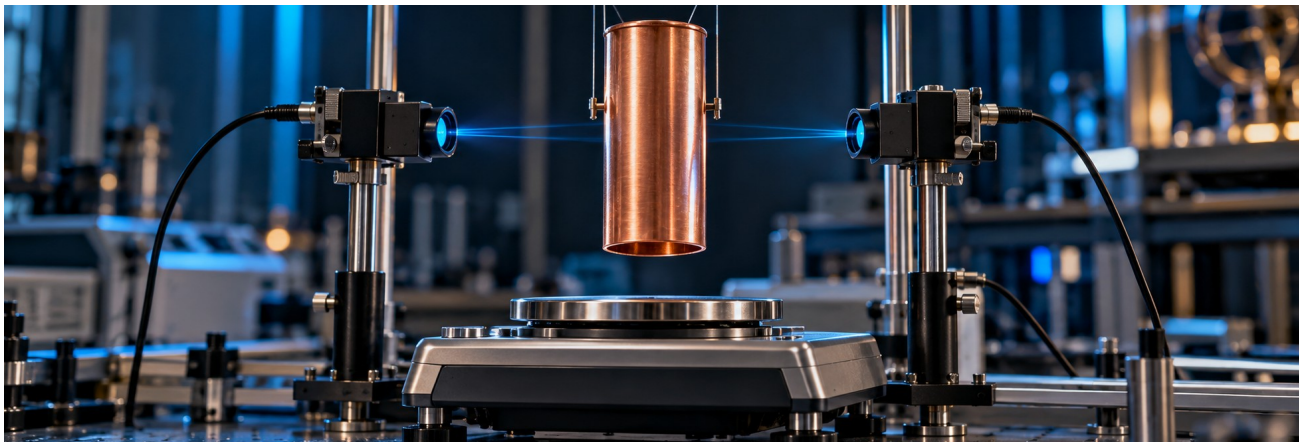
Pro nulovou počáteční rychlost dává lineární model $v(t) = v_\infty[1 - \exp(-t/\tau)]$, kde $\tau = m/k$. Nejde o univerzálně přesný vzorec pro vstup a výstup z krátké trubice: na jejích koncích se mění geometrie a síla. Přesnější výpočty řeší prostorová pole, konečnou velikost magnetu, tloušťku stěny i rychlost. Partovi a Morris výslovně rozšiřují aproximaci bodového dipólu a tenké stěny na obecnější souosou úlohu. [48]

Energetická bilance ukazuje skutečné propojení zvláště zřetelně. Při přibližně ustálené rychlosti se výkon dodávaný tíhovou silou mgv mění převážně v Jouleovo teplo v trubici, po zahrnutí přechodných změn energie pole a dalších malých ztrát. Proto není třeba přímý mechanický kontakt, aby se energie pádu předala okolí. Magnetické pole a indukované proudy zprostředkují přenos; jejich brzdná síla současně působí na podpěry trubice.

Tento pokus má v MAGNITACI ústřední místo jako startovní fyzikální otázka. V jednom pozorovatelném ději propojuje gravitační energii, pohyb, elektromagnetickou odezvu a teplo. Může nás vést k hledání hlubšího společného popisu. Samotný pomalý průchod zatím nerozlišuje všechny možné výklady; další výzkum může zkoumat nové konfigurace, přesnější měření i teoretické souvislosti.

04 Jak z trubice udělat rozlišovací experiment

Změřit také reakci a nezávislé tíhové zrychlení



Měření průchodu a reakce podpěry jako dvě součásti pokusu. Generativní ilustrace.

První varianta porovná tentýž magnet v trubicích se stejnou vnitřní geometrií: měděné, jiné dobře vodivé a elektricky nevodivé. Pohyb zaznamenají světelné brány nebo kamera s ověřenou časovou stupnicí. Magnet se nesmí otírat o stěny, dotýkat snímačů ani vytvářet nekontrolovaný pneumatický píst. Měří se teplota, hmotnost, rozměry a magnetický moment. Jeden jediný čas průchodu nestačí k určení celého mechanismu.

Podélná štěrбина je další užitečná kontrola, protože mění možné proudové dráhy. Je však chybou bez dalšího slíbit úplné odstranění brzdění: v reálné rozříznuté trubici mohou zůstat jiné lokální proudové smyčky a magnet může měnit orientaci. Srovnání potřebuje prostorový model a ověření pohybu. Pro EveryThink je zásadní právě tento přístup: každý jednoduchý kontrolní nápad má také své meze. [50]

Druhý experiment se zaměří na reakční sílu. Trubicí zavěsíme na vhodný siloměr nezávisle na místě, které magnet nakonec zachytí. V oblasti ustáleného pohybu má brzdná síla na magnet velikost přibližně mg a vzhůru; na trubici působí opačná síla dolů. Její opora tak může během průchodu nést přídavnou sílu odpovídající tíze magnetu, přestože se jej nedotýká. Přechodné změny hybnosti pole a odezva siloměru se musí vyhodnotit zvlášť. Přímé způsoby měření této brzdě síly byly publikovány například Behroozim. [49]

$$F_{\text{br}} = mg - m\dot{v}, \quad P_{\text{Joule}} \simeq F_{\text{br}}v \longrightarrow mgv \quad (v = v_{\infty})$$

Třetí kontrola oddělí zrychlení magnetu od místního tíhového zrychlení. Nezávislý slabě magnetický testovací objekt se změří v porovnatelných podmínkách vedle aparatury nebo v odděleném kontrolním kanálu. Je nutné omezit i jeho elektrickou polarizaci a magnetickou susceptibilitu. Pokud se mění pouze pohyb silného magnetu a naměřená reakce trubice odpovídá indukčnímu modelu, nejde o důkaz změny g . Skutečná gravitační odchylka by musela mít další nezávislý podpis a projít kontrolou běžných sil.

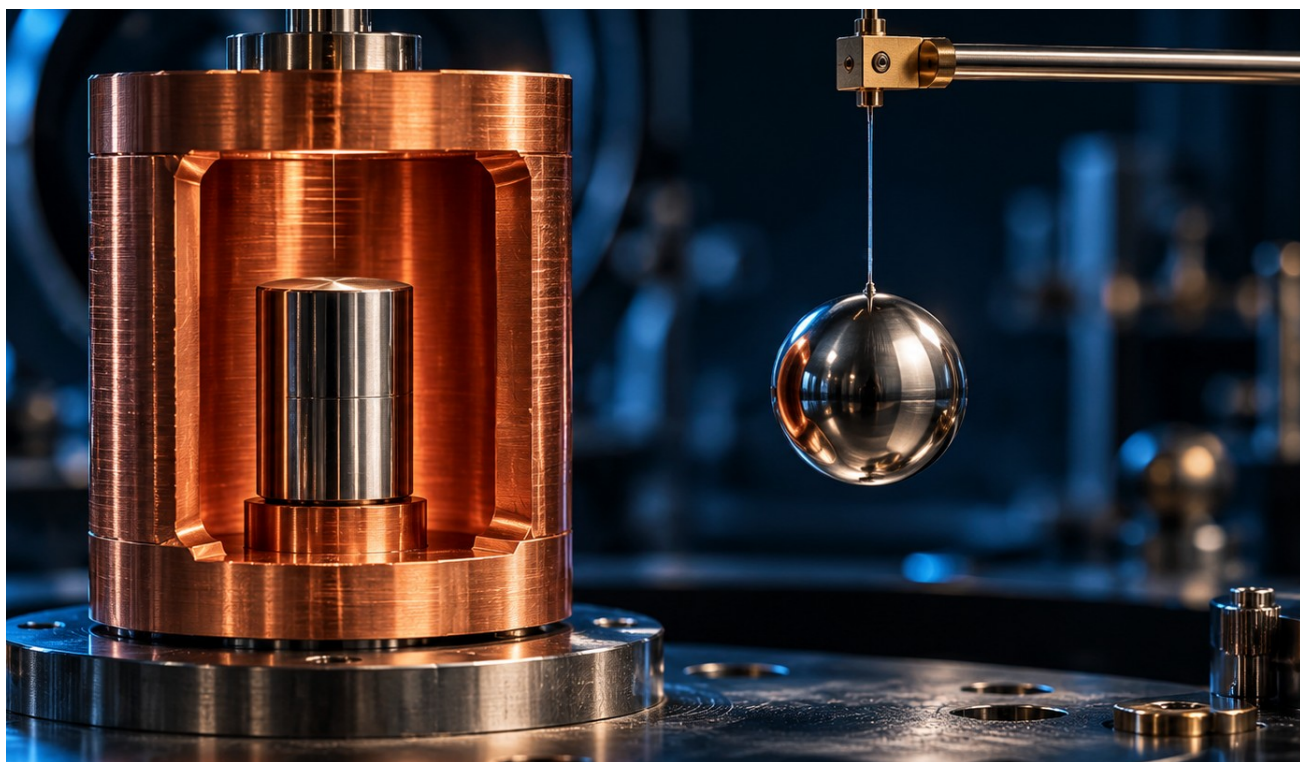
V idealizovaném limitu bodového dipólu s momentem μ , dlouhé tenké trubice s poloměrem a , tloušťkou stěny d a vodivostí σ lze odvodit koeficient brzdění níže. Platí pro pomalý souosý pohyb a zanedbatelný zpětný vliv indukovaných proudů na zdrojový tok; není to obecný vzorec pro libovolně silně vodivou, tlustou nebo supravodivou trubici. [47, 48; odvození v tomto limitu]

$$k = \frac{45\mu_0^2\mu^2\sigma d}{1024a^4}, \quad v_{\infty} = \frac{mg}{k}$$

Změna vodivosti a geometrie vytváří v indukčním modelu předpovězenou změnu pohybu. Pro MAGNITACI může být dalším krokem detailní porovnání dat právě s těmito závislostmi. Současně můžeme rozvíjet hlubší mechanismy a ptát se, jak by se jejich důsledky projevíly při změně konečné geometrie, teploty, natočení a kontaktů. Opakovatelná odchylka od úplné známé bilance by byla zvlášť významným vodítkem. Domněnka, že právě zde může být stopa hlubšího vztahu, tak dostává konkrétní cestu k pozdějšímu ověření.

05 Otevřená otázka změny gravitačního působení

Jaký rozdíl by musela nová interpretace předpovědět



Otázka dodatečné gravitační odezvy vyžaduje samostatný test. Generativní ilustrace.

Prozkoumejme výslovně alternativní domněnku HCu: vzájemné působení magnetu a mědi mění jeho gravitační působení. Stejný pozorovaný pohyb předpovídá indukční model, takže před námi stojí úloha najít další rozlišující otázky. Upřesněme postupně, co má slovo gravitace v HCu označovat. Mění se místní gravitační pole pro všechna tělesa, gravitační vazba pouze konkrétního magnetu, nebo jde o přepsání výsledného zrychlení?

Pro sestupný pohyb lze rovnici $m \dot{v} = mg - kv$ formálně přepsat jako $\dot{v} = g_{\text{úč}}$, kde $g_{\text{úč}} = g - kv/m$. Takto definované $g_{\text{úč}}$ je výsledné zrychlení magnetu, nikoli nezávisle změřená intenzita gravitačního pole. Závisí na rychlosti a na vlastnostech tohoto magnetu a trubice. Pro další rozvoj HCu je zajímavé hledat fyzikální obsah za tímto přepsáním: společný zdroj, změnu vazby k hmotě nebo nový vztah mezi polem a pohybem. Dokud takový obsah neurčíme, obě formulace popisují stejnou trajektorii a otázka jejich hlubší interpretace zůstává otevřená.

Jedna další výzkumná varianta obrátí pohyb. Při pomalém tažení magnetu vzhůru vodivou trubicí indukční síla míří dolů, protože opět odporuje pohybu. Prosté zeslabení přitažlivosti Země by naproti tomu zmenšovalo tíhovou sílu dolů bez ohledu na směr rychlosti. Pro jednoduchou verzi gravitačního vysvětlení tak vzniká odlišná předpověď. Jiná varianta HCu může uvažovat rychlostně závislou vazbu; pak je zajímavé rozpracovat její energetický zdroj, reakci na trubicí a vztah k indukovaným proudům.

Druhý test natočí aparaturu vodorovně a magnetem pohybuje vnějším pohonem. Elektrodynamický výpočet předpovídá brzdění i tehdy, kdy tíhová síla nemá složku podél trubice. Svislá gravitace může ovlivnit vedení a doteky, ale není zdrojem podélného indukčního mechanismu. Tyto dvě varianty ukazují, proč je užitečné měřit sílu při předepsaném pohybu, nikoli pouze sledovat samovolný pád. [48]

Jestliže HCu tvrdí změnu skutečného místního gravitačního pole, musí navíc předpovědět odezvu nezávislých testovacích objektů a hodin po odečtení známých elektromagnetických účinků a velmi malého standardního gravitačního příspěvku energie proudů. Jestliže se změna týká pouze magnetu, potřebujeme přesný zákon jeho materiálové a rychlostní závislosti. Takový model pak podléhá testům univerzality gravitace a zachování energie. Dosavadní pomalý pád tyto podmínky sám nestanovuje.

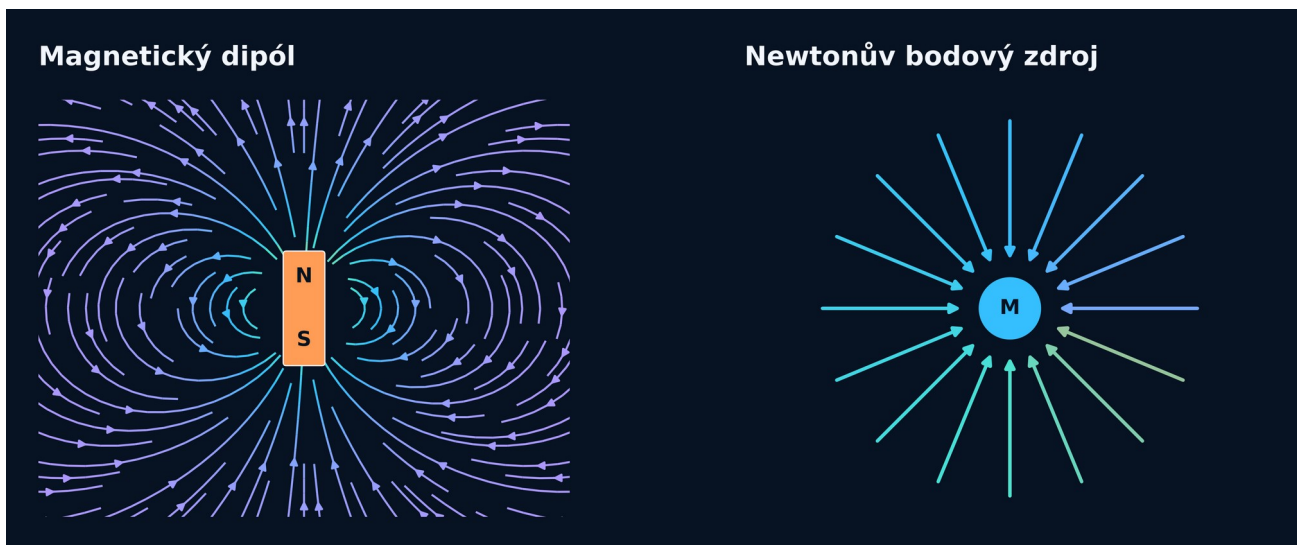
Otázka společného hlubšího původu zůstává otevřená i v případě, že indukční výpočet pokus dokonale vysvětluje. HCu proto rozvíjíme jako autorskou výzkumnou větev: ptáme se, zda je elektromagnetické prostředí pouze zdrojem dodatečné síly, nebo zda může souviset s obecnějším pravidlem pro pohyb a gravitační vazbu. Pozdější skalární H1 je jeden matematický prototyp; z pomalého pádu v mědi zatím nebyl odvozen ani potvrzen.

Další výzkumná větev může sledovat vztah mezi vodivostí, zpožděnou odezvou materiálu a přenosem hybnosti. Zde hledáme, zda hlubší mikroskopický popis přinese nové souvislosti mezi známými veličinami. Jiná větev může zkoumat, zda se geometrický popis mění s elektromagnetickými invarianty nebo s uspořádáním hranic. Třetí může vycházet z emergentního společného základu, v němž magnetické i gravitační vlastnosti vznikají jako různé projevy kolektivního stavu. V této fázi jde o směry otázek; jejich konkrétní dynamiku teprve hledáme.

Vodivost sama není univerzální relativistický skalár nezávislý na materiálu a prostředí. Právě tato skutečnost může nasměrovat další práci k přiměřenému popisu látky, její klidové soustavy a paměti odezvy. Podobně topologie trubice nabízí otázku, jak se mění přípustné proudové dráhy a přenos energie při změně hranic. Známa elektrodynamika zde poskytuje výpočetní základ a případný hlubší model může ukázat nový vztah mezi jeho jednotlivými prvky.

06 Pole mezi magnetem a světlem

Co popisují Maxwellovy rovnice



Obr. 2 Dvě různé struktury pole. Vlevo řez ideálním magnetickým dipólem, vpravo směry Newtonova zrychlení. Autorské modelové schéma; hustota čar není měření a barvy jsou ilustrativní a nevyjadřují společnou měřicí stupnici.

Klasický elektromagnetismus pracuje s elektrickým polem E a magnetickou indukcí B . Náboje a proudy vytvářejí pole, proměnné pole může vyvolat druhou složku a elektromagnetické poruchy se ve vakuu šíří rychlostí světla. Maxwellova teorie umožňuje vypočítat chování cívek, antén, elektrických obvodů i světelných vln. Její obsah není omezen na přitažlivost dvou magnetů. Zahrnuje také uchování energie a hybnosti v prostoru mezi tělesy. [1]

Na bodový náboj působí Lorentzova síla. Elektrická část může měnit velikost jeho rychlosti; magnetická část je v daném inerciálním rámci kolmá na okamžitou rychlost. Samotná magnetická složka proto na bodovém náboji nekoná práci. Z toho ale neplyne, že magnetické zařízení nemůže předat mechanickou energii: energii dodává zdroj, měnící se pole nebo předem uložená energie celé soustavy. Přitažení železa není výrobou energie bez nákladů.

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

Pozorovatelé v relativním pohybu mohou naměřit jiný poměr elektrické a magnetické složky. To, co v jedné soustavě vypadá jako čistě elektrické uspořádání, může v jiné vykazovat také magnetickou indukci. Neznamená to, že každé pole lze změnou rychlosti proměnit v čistě elektrické nebo čistě magnetické. O možnostech rozhodují invarianty, které zůstávají při Lorentzových transformacích stejné. Toto omezení bude zásadní při formulaci hypotézy. [2]

Magnetické siločáry jsou užitečný náskok, nikoli vlákna materiálu. Jejich hustota v obrázku závisí na zvolené vizualizaci. Železné piliny navíc nejsou pasivní fotoaparát pole: samy se magnetují a vzájemně ovlivňují. Ve vakuu v klasické teorii bez magnetických nábojů platí nulová divergence B . Přerušení tyčového magnetu proto poskytne další dipóly, nikoli izolovaný severní a jižní pól.

Pro prostorovou podobu síly záleží na typu zdroje. Elektrostatické pole bodového náboje klesá jako převrácená druhá mocnina vzdálenosti. Pole vzdáleného magnetického dipólu klesá typicky jako převrácená třetí mocnina. Síla mezi dipóly může klesat ještě jinak a závisí na orientaci. Podobnost jednoho grafu s Newtonovým zákonem proto není argumentem totožnosti magnetismu a gravitace. Nejdříve musíme porovnávat stejné veličiny a stejné zdrojové geometrie.

07 Proč železo drží magnetizaci

Spin a výměnná interakce



Vlastnosti materiálu propojují mikroskopický a makroskopický popis. Generativní ilustrace.

Proud v měděné cívice vytváří magnetické pole snadno pochopitelným makroskopickým způsobem. Trvalý magnet však vyžaduje kvantový popis. Elektrony nesou vlastní moment hybnosti zvaný spin a s ním spojený magnetický moment; přispívá také jejich orbitální pohyb. Spin není doslovná rotace malé nabitě koule. Jde o vnitřní kvantovou vlastnost, jejíž chování lze měřit například spektroskopicky.

Kdyby šlo jen o slabé dipólové působení miniaturních magnetů, nebylo by možné jednoduše vysvětlit silné a teplotně stabilní uspořádání v železe. Důležitá je výměnná interakce: elektrostatická energie a kvantové podmínky na mnohaelektronový stav společně zvyhodňují určitá spinová uspořádání. Heisenbergův model zachycuje část této fyziky pomocí vazeb mezi spiny. Znaménko a velikost vazeb závisí na materiálu; neexistuje pravidlo, že všechny sousední spiny musí vždy mířit stejně. [3]

$$H = - \sum_{\langle i,j \rangle} J_{ij} \mathbf{S}_i \cdot \mathbf{S}_j$$

Zde je J parametr výměny a součet probíhá přes zvolené dvojice míst. V použité konvenci kladné J zvyhodňuje souběžné uspořádání. Skutečný kov může vyžadovat pásovou teorii a pohyblivé elektrony; jednoduchý model lokalizovaných spinů není univerzální mikroskopickou fotografií všech magnetů. Užitečnost modelu spočívá v tom, co předpoví o energii, korelacích a teplotním chování.

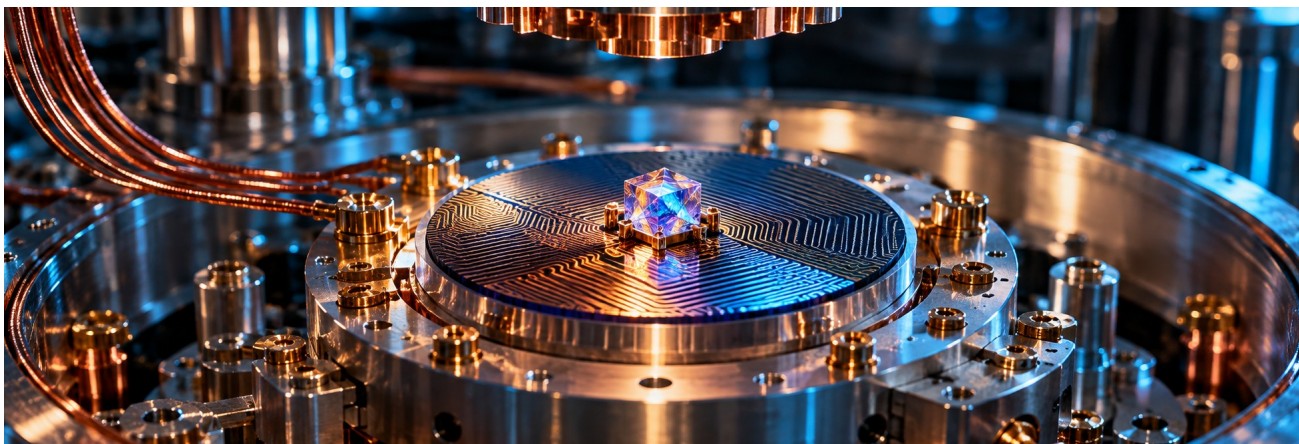
Makroskopická magnetizace je navíc výsledkem domén. Uvnitř oblastí mohou být momenty uspořádány, zatímco sousední doména směřuje jinak. Nulový celkový magnetický moment tedy nemusí znamenat nepřítomnost mikroskopického magnetického řádu. Zahřátí, mechanické napětí a historie vnějšího pole mohou domény měnit. Část energie je spojena s orientací, část s deformací a část s vyzářeným nebo odvedeným teplem. To vše se později promítne do interpretace přesného gravitačního pokusu.

Sílu dnešního poznání ukazuje měření magnetického momentu jediného elektronu. Fan a kolegové publikovali v roce 2023 hodnotu $g/2 = 1,00115965218059(13)$, s relativní nejistotou přibližně 0,13 části na bilion. Jde o mimořádně přesný test kvantové elektrodynamiky, jehož srovnání s teorií závisí také na nezávislém určení konstanty jemné struktury. [4]

Tato přesnost neznamená, že rozumíme každému kolektivnímu magnetickému materiálu. Poskytuje pevný bod pro zkoumání další vrstvy vysvětlení. Základní mechanismy magnetismu známe velmi dobře; složité mnohačásticové stavy, neobvyklé symetrie a otázka hlubšího společného základu s gravitací přitom otevírají nové směry výzkumu.

08 Nové magnetické světy

Altermagnetismus a dva významy monopolů



Nové magnetické materiály otevírají další režimy výzkumu. Generativní ilustrace.

Rozdělení magnetů na materiály, které se navenek silně magnetují, a na ostatní je příliš hrubé. Feromagnety mohou mít souběžně uspořádané momenty; v antiferomagnetech se příspěvky různých podsítí mohou kompenzovat. Existují i ferrimagnety s nestejně velkými opačnými příspěvky, frustrované magnety a kvantové fáze bez obvyklého dlouhodosahového řádu. Nové uspořádání hmoty však samo o sobě není novou základní silou.

Příkladem současného vývoje je altermagnetismus. Krempaský a kolegové spojili fotoemisní spektroskopii a výpočty elektronové struktury a v MnTe doložili neobvyklé rozštěpení elektronových pásů spojené s magnetickým uspořádáním při kompenzované celkové magnetizaci. Důležité jsou symetrie krystalu a vztah mezi spinem a pohybem elektronu. Pro EveryThink je to podnět k opatrnosti: malý vnější dipólový moment nemusí znamenat, že jsou vnitřní elektromagnetické a spinové vlastnosti dvou vzorků totožné. [5]

Jinou otevřenou otázkou jsou fundamentální magnetické monopóly, tedy částice s izolovaným magnetickým nábojem. Jejich existence by změnila zdrojovou strukturu Maxwellových rovnic a souvisela by s hlubokými otázkami kvantování elektrického náboje. Přehled Mitsouové aktualizovaný v říjnu 2026 shrnuje rozsáhlé hledání, ale neuvádí potvrzený objev takové částice. [7]

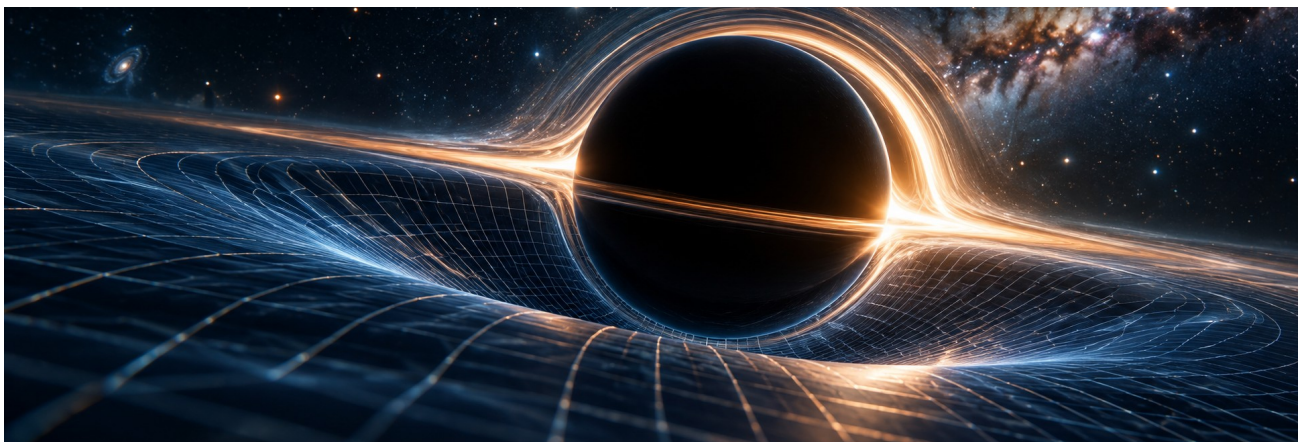
Konkrétní analýza ATLAS hledala monopóly v ultraperiferních srážkách olověných jader. Výsledek bez statisticky významného přebytku omezuje produkci pro definovaný model a rozsah hmotností. Nelze z něj vyvodit neexistenci všech možných monopolů při libovolné hmotnosti či vazbě. Zvláště u magneticky silně vázaných objektů závisí převod počtu událostí na hmotnostní mez na teoretických předpokladech. [8]

Slovo monopol se však používá i pro emergentní excitace ve spinovém ledu. Castelnovo, Moessner a Sondhi ukázali, jak se poruchy kolektivního uspořádání mohou na vhodné škále chovat jako efektivní magnetické náboje. Jde o vlastnost materiálového systému, nikoli o izolovanou elementární částici ve vakuu. Záměna těchto významů vytváří falešný dojem, že hledání fundamentálních monopolů už skončilo. [6]

Nové magnetické fáze mohou rozšířit náš výzkumný prostor. Při hledání možné vazby mezi magnetickým řádem a gravitací lze porovnávat mikroskopické uspořádání, uloženou energii i odezvu na vnější pole. Taková charakterizace může odhalit rozdíly, které běžný pokus s přitažlivostí magnetu neukáže.

09 Gravitace jako geometrie měřitelných vztahů

Co znamená zakřivení časoprostoru



Zakřivení časoprostoru jako geometrický popis gravitace. Generativní ilustrace.

Newtonův zákon velmi dobře popisuje slabé pole a pomalý pohyb v mnoha praktických situacích. Obecná relativita vysvětluje gravitaci pomocí geometrie časoprostoru. Geometrie zde určuje vlastní čas hodin, světelné kužely a přirozené dráhy volně padajících těles. Těleso na oběžné dráze může být lokálně ve volném pádu, přestože jeho vzdálenost od středu Země zůstává téměř stálá. Povrch pod nohama nás naopak od volného pádu odchyluje.

Oblíbená představa koule v prohnuté gumové síti zachytí pouze část myšlenky. Používá vnější gravitaci, aby vysvětlila gravitaci, a vynechává časovou složku. Přesnějším pozorovatelným znakem zakřivení je relativní zrychlení sousedních volných trajektorií, tedy slapový účinek. V malém okolí lze vhodnou volbou soustavy odstranit lokální zdánlivou gravitační sílu; skutečné slapové rozdíly na konečné oblasti takto obecně nezmizí. [9]

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

Levá strana rovnice popisuje geometrii, pravá energie, hybnosti, tlaky a napětí. Konstantu G nelze jednoduše zaměnit za intenzitu magnetického pole a rychlost c neurčuje pouze šíření světla: je součástí kauzální struktury teorie. Gravitace působí i na světlo, které nemá klidovou hmotnost, protože elektromagnetické záření nese energii a hybnost. Stejně tak se gravitačně projevuje energie vazeb a vnitřního pohybu.

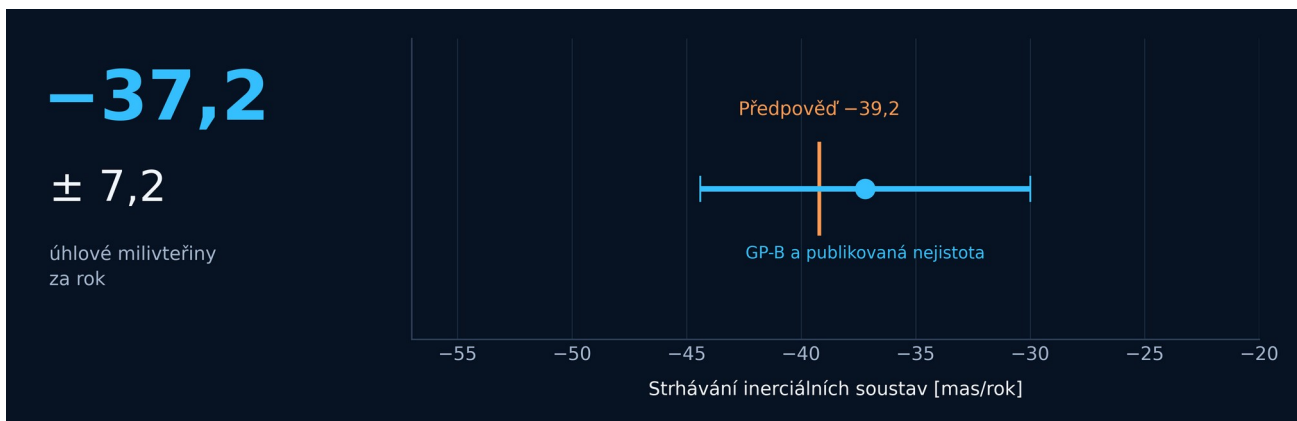
Zvláštní postavení gravitace souvisí s principem ekvivalence. V dostatečně malém volně padajícím experimentu mají negravitační zákony podobu známou ze speciální relativity. Elektromagnetickou sílu však nelze odstranit stejnou volbou soustavy současně pro částice s různými poměry náboje a hmotnosti. Gravitační a elektromagnetické působení proto nemají totožnou strukturu ani tehdy, když se konkrétní trajektorie náhodou podobají.

Otázka co gravitace doopravdy je může mít několik přesných podob: je metrika základním polem, vzniká z kvantových stupňů volnosti, nebo jde o efektivní makroskopický popis? Každá možnost vyžaduje vlastní matematiku a test. Dosavadní úspěch geometrického popisu není důkazem konečné ontologie. Stejně však nelze úspěšný popis odmítnout pouze proto, že neodpovídá na všechny filozofické otázky. Nový návrh musí předpovědět známé výsledky alespoň stejně přesně.

Pro hledání společného základu je důležitý také původ hmotnosti běžné látky. Velká část hmotnosti protonů a neutronů souvisí s kvantovou chromodynamikou, tedy s dynamikou kvarků a gluonů. Výpočty hadronových hmotností na mřížce představují konkrétní kvantitativní úspěch tohoto vysvětlení. Širší výzkum MAGNITACE tak může vedle vnějšího elektromagnetického pole sledovat i vnitřní energii částic, vazebné mechanismy a jejich vztah ke gravitačnímu působení. [18]

10 Co už bylo skutečně změřeno

Pevné body pro každou novou hypotézu



Obr. 3 Gravity Probe B: $-37,2 \pm 7,2$ proti předpovědi $-39,2$ úhlové milivteřiny za rok. Překreslení publikovaných hodnot, nikoli nová analýza časových řad. Zdroj [13].

Detekce GW150914 ukázala časově proměnný gravitační signál odpovídající splynutí dvojice černých děr. Důkaz nestál na jediné čáře v jednom přístroji, ale na shodě detektorů, statistické analýze pozadí a porovnání s předpověďmi relativistické dynamiky. Tím byla otevřena gravitační astronomie. Záznam klasické gravitační vlny ovšem není přímým pozorováním jednotlivého gravitonu ani hotovým důkazem kvantování pole. [10]

Při události GW170817 dorazil gama záblesk přibližně 1,74 sekundy po gravitačním signálu. Za předpokladů použitých v původní analýze to omezilo poměr rozdílu rychlostí vůči c na interval přibližně od -3×10^{-15} do $+7 \times 10^{-16}$. Meze zahrnují předpoklady o době vzniku obou signálů ve zdroji. Stejná rychlost šíření však neznamená totožnou povahu elektromagnetické a gravitační vlny. [11]

Sonda MICROSCOPE porovnávala zrychlení těles z různých slitin. Výsledek pro titanovou a platinovou testovací hmotu byl $\eta = [-1,5 \pm 2,3 \text{ statisticky} \pm 1,5 \text{ systematicky}] \times 10^{-15}$. Nebylo prokázáno porušení slabého principu ekvivalence. Nejde o tvrzení, že všechna myslitelná nová pole jsou zakázána; každé musí být přeloženo do konkrétní předpovědi pro složení, dosah a prostředí tohoto měření. [12]

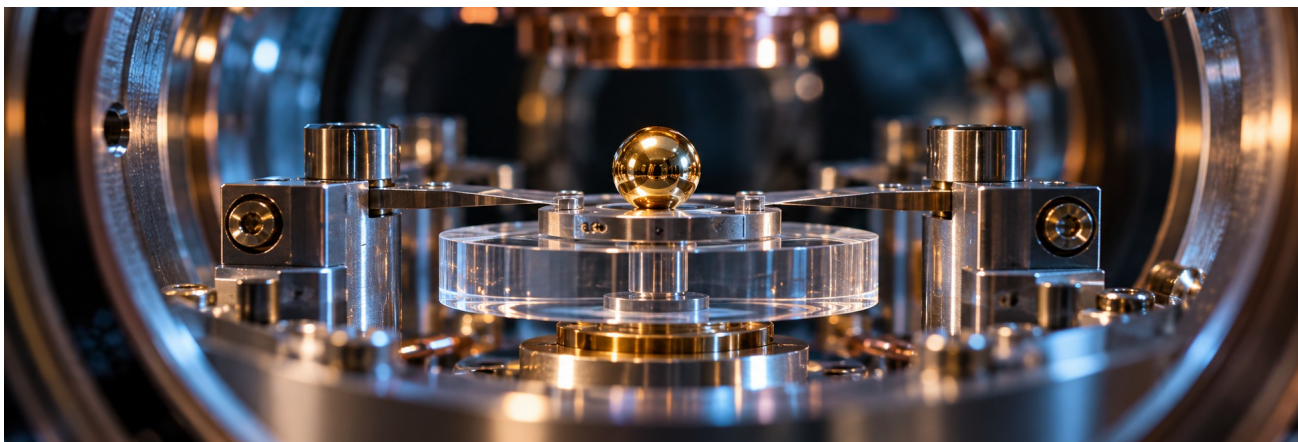
Gravity Probe B měřila také strhávání místních inerciálních soustav rotující Zemí. Naměřený drift spojený s frame dragging byl $-37,2 \pm 7,2$ úhlové milivteřiny za rok, proti relativistické předpovědi $-39,2$. Slovo gravitomagnetismus označuje určitou analogii v popisu slabého gravitačního pole pohybující se hmoty. Není důkazem, že Země táhne časoprostor díky svému běžnému magnetickému poli. [13]

Tyto výsledky omezují různé vlastnosti teorie: šíření poruch, univerzalitu volného pádu i účinek rotace. Nová hypotéza je nemůže nahradit jedním názorným modelem. Musí určit, v jakém limitu se vrací k ověřeným rovnicím a kde se má objevit odchylka. Kvalita návrhu roste s počtem nezávislých situací, které přežije se stejnými parametry. Dodatečné nastavování jiné vazby pro každý neúspěšný test by jeho vysvětlovací hodnotu zmenšovalo.

Širší souvislosti testů metrických teorií a jejich parametrizace shrnuje Willův odborný přehled. Používáme jej jako metodický základ; aktuální číselné výsledky zde vždy vztahujeme ke konkrétním pozdějším měřením. [43]

11 Malé hmotnosti a kvantový volný pád

Blíže k laboratoři neznamená automaticky kvantovou gravitaci



Miniaturizace gravitačního experimentu kladé nové nároky na měření. Generativní ilustrace.

Vedle kosmických pozorování se gravitace testuje mezi malými tělesy. Lee a kolegové zkoumali vzdálenosti od 52 mikrometrů do 3 milimetrů a našli dobrou shodu s Newtonovým zákonem. Pro zvolenou Yukawovu odchylku gravitační síly velikosti odpovídající běžné gravitaci omezili dosah na méně než 38,6 mikrometru při 95% spolehlivosti. Toto číslo nelze přenášet na všechny nové interakce bez znalosti jejich vazby a složení testovacích těles. [14]

Westphal a kolegové měřili přitažlivost zlatých kuliček o hmotnosti přibližně 90 miligramů. Změnou polohy zdroje oddělili periodický gravitační příspěvek od velkého pozadí. Výsledek rozšířil oblast měření malých zdrojových hmotností, ale kuličky nebyly připraveny v prostorové kvantové superpozici. Jde o důležitou experimentální gravitaci v malém měřítku, nikoli o přímý průkaz kvantového gravitačního pole. [15]

Fuchs a kolegové v roce 2024 využili magneticky levitující mechanický systém. Magnetismus zde slouží k zavěšení a odečtu; gravitační účinek se hledá pomocí samostatně modulované hmoty. Přítomnost magnetů tedy sama o sobě nevypovídá o přeměně magnetismu na gravitaci. Naopak ukazuje, proč je třeba odlišit měřicí technologii od hledané interakce. [16]

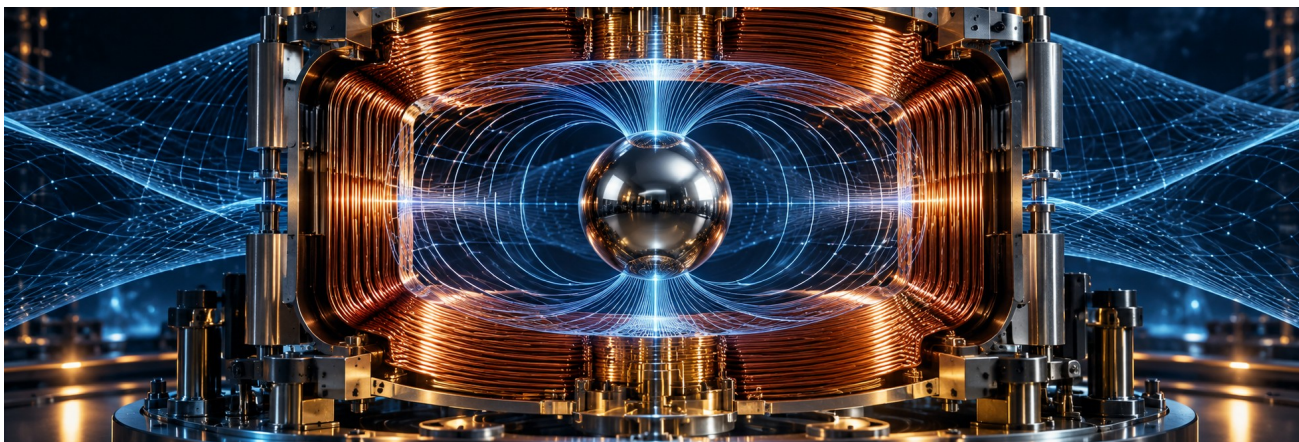
Dalším krokem jsou interferometry s atomy. V práci publikované roku 2026 tým Dobkowského a Folmana porovnal kvantovou fázi větve atomové vlny ve volném pádu s větví udržovanou ve stanovené laboratorní trajektorii. Výsledek je konzistentní s předpovědí kvantové mechaniky v gravitačním potenciálu a s příslušnou podobou principu ekvivalence. Neproazuje, že zdrojové gravitační pole samo bylo v superpozici. [40]

Také antihmota se již stala přímým gravitačním testovacím tělesem. ALPHA-g v roce 2023 pozorovala chování antihydrogenu konzistentní s přitažlivostí k Zemi. Přesnost tohoto měření je jiná než přesnost běžných testů principu ekvivalence. Nelze ji popsat tvrzením, že byla rovnost gravitace hmoty a antihmoty prověřena na úrovni MICROSCOPE. [17]

Společným poučením je nutnost číst přesný předmět experimentu. Kvantový objekt v klasickém gravitačním poli, malé klasické zdrojové těleso a kvantová superpozice gravitačního zdroje jsou tři odlišné situace. Každá odpovídá na jinou otázku. Větší citlivost může postupně propojit jejich výzkum, ale nelze je sloučit pouhou změnou titulku článku.

12 Společný popis už existuje

Einsteinovy a Maxwellovy rovnice jako výchozí stav



Energie elektromagnetického pole vstupuje do gravitačního popisu. Generativní ilustrace.

Nejpřímější známá spojnice je jednoduchá: elektromagnetické pole přispívá do tenzoru energie a hybnosti.

Nemusíme předpokládat nový druh hmoty, aby světlo či magnetické pole gravitačně působilo. Metrika zároveň vstupuje do rovnic elektromagnetismu. Dráha světla, jeho frekvence porovnaná mezi různými hodinami a vývoj pole proto závisejí na geometrii. To je standardní Einsteinova–Maxwellova teorie. [9]

$$T_{\mu\nu}^{\text{EM}} = F_{\mu\alpha}F_{\nu}^{\alpha} - \frac{1}{4}g_{\mu\nu}F_{\alpha\beta}F^{\alpha\beta}$$

Vzorec je zapsán v racionalizovaných přirozených jednotkách se signaturou metriky $-+++$. F je elektromagnetický tenzor a g metrika; řecké indexy probíhají přes čas a tři prostorové směry. V soustavě SI se objeví odpovídající faktory permitivity a permeability. Nejde pouze o hustotu energie. Jednotlivé složky zahrnují tok energie, hybnost i směrové napětí, které pole přenáší.

Klasický elektromagnetický tenzor je ve čtyřech rozměrech bez stopy. Z toho neplyne nulová gravitace pole. Einsteinovy rovnice jsou tenzorové a nulová stopa neznamená nulové jednotlivé složky. Ve vakuu s elektromagnetickým polem může být Ricciho skalár při nulové kosmologické konstantě nulový, zatímco Ricciho tenzor i úplné zakřivení nulové nejsou. Tento rozdíl později zabrání chybnému odvozování skalárního zdroje z pouhého R .

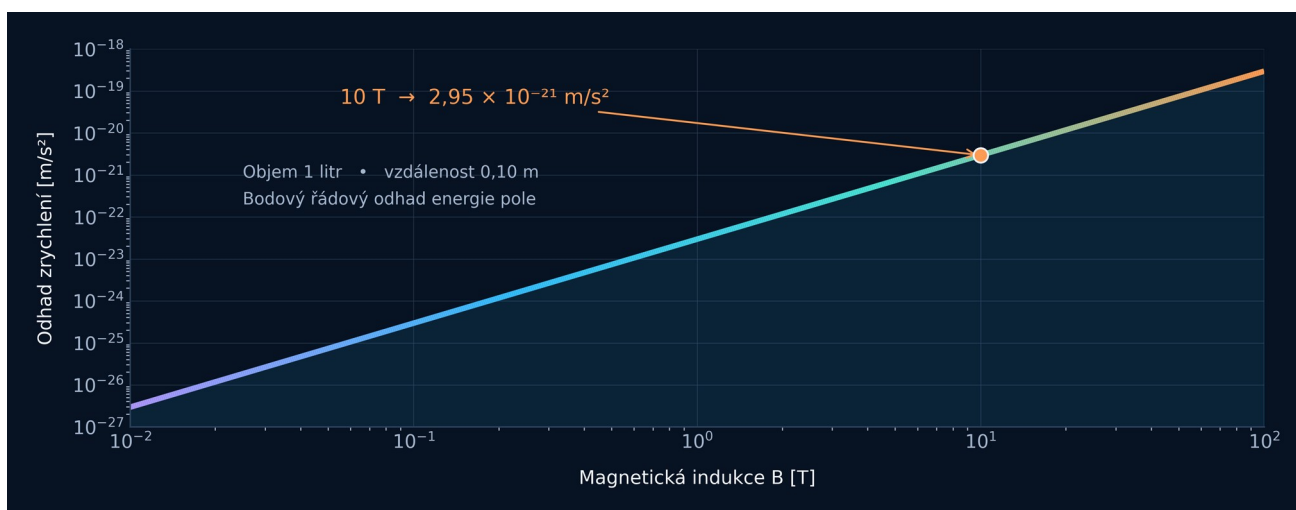
Známe přesné modely zahrnují například ideální magnetické konfigurace Melvinova typu. Ukazují, že pole a geometrie lze řešit společně i mimo slabou aproximaci. Nekonečná či jinak idealizovaná konfigurace ovšem není laboratorní zařízení. Její okrajové podmínky a globální geometrie se nemohou bez úpravy přenést na konečnou cívku v místnosti. [19]

Ještě důležitější je úplnost energetické bilance. Zdroj magnetického pole musí snášet mechanické síly. Když do výpočtu zahrneme pouze energii pole a opomeneme podpěry, napětí vinutí či zdroj elektrické energie, můžeme získat zdánlivý rozpor v gravitační hmotnosti. U izolované stacionární soustavy se musí uplatnit celý zachovaný tenzor včetně materiálu a vazeb. Lokální role tlaku nesmí být zaměněna za libovolné násobení celkové hmotnosti.

Výchozí hypotéza H_0 tedy zní: pozorované pohyby a frekvence vysvětluje známá fyzika úplné soustavy. Pokud ji chceme překročit, musíme nejprve dostatečně přesně spočítat právě tuto variantu. Jinak by každý zanedbaný tepelný, elastický nebo elektromagnetický účinek mohl být omylem označen za novou gravitaci.

13 Kolik gravitace vytvoří magnetické pole

Číselný odhad který určuje obtížnost pokusu



Obr. 4 Vlastní výpočet $a \approx GUB/(c^2 r^2)$, objem 1 litr a $r = 0,10$ m. Jde o bodový řádový odhad příspěvku energie pole; neobsahuje konečnou geometrii a konstrukci. Konstanty [44].

Představme si ideální oblast vakua o objemu jeden litr s přibližně homogenní magnetickou indukcí 10 tesla.

Energie pole je dána objemovým integrálem hustoty $B^2/(2\mu_0)$. Pro tento zjednodušený příklad vychází přibližně 39,8 kilojoulu. Hmotnostní ekvivalent U/c^2 je přibližně $4,43 \times 10^{-13}$ kilogramu. Nejde o hmotnost cívky ani o množství kovu: jde pouze o ekvivalent uložené elektromagnetické energie. [44; vlastní výpočet]

$$U_B = \int \frac{B^2}{2\mu_0} dV, \quad m_{\text{eq}} = \frac{U_B}{c^2}, \quad a \sim \frac{GU_B}{c^2 r^2}$$

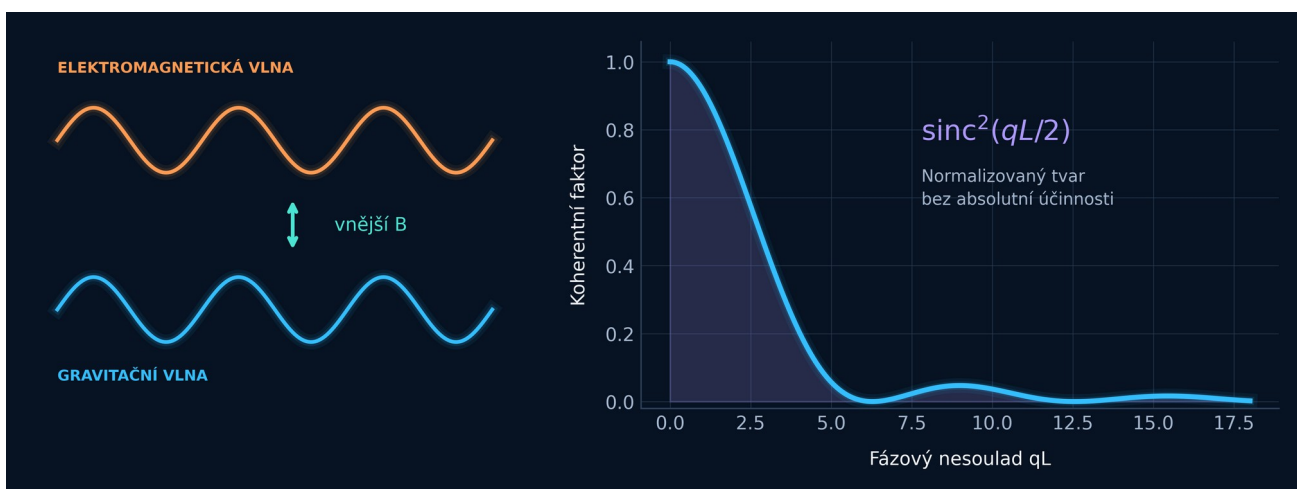
Pokud tento příspěvek použijeme jako bodový řádový odhad ve vzdálenosti 0,10 metru, dostaneme zrychlení asi $2,95 \times 10^{-21} \text{ m/s}^2$. Skutečný rozměr zdroje, napětí a okolní hmota vyžadují přesný prostorový výpočet, takže výsledek není návrhem kalibrovaného signálu. Přesto spolehlivě ukazuje mimořádnou malost běžného gravitačního účinku energie laboratorního pole. Stokrát menší B při stejném objemu sníží tento odhad desetitisíckrát.

Pro srovnání: gravitační zrychlení od 1 kilogramu v bodovém odhadu ve vzdálenosti 0,10 metru je asi $6,67 \times 10^{-9} \text{ m/s}^2$. Nechtěný přesun části konstrukce tedy může účinek energie pole překrýt o mnoho řádů. Samotné označení přístroje jako citlivého gravimetru nic neříká o tom, zda dokáže oddělit právě tyto dvě příčiny.

Při stejné hustotě energie musí čisté elektrické pole splňovat $E = cB$. Ekvivalent 10 tesla by tak vyžadoval přibližně $3 \times 10^9 \text{ V/m}$. Taková hodnota v litrovém objemu není realistickým protějškem běžné laboratorní cívky. Návrh elektrického a magnetického porovnání je proto nejprve konceptuální test; jeho proveditelnost nelze odvodit pouze z rovnosti vzorců. Emise z povrchů, průrazy a mechanická napětí zásadně omezují realizaci.

14 Převod světla a gravitačních vln

Gercenštejnův mechanismus jako skutečný most



Obr. 5 Konceptní převod vln ve vnějším poli a modelový faktor $\text{sinc}^2(qL/2)$ pro homogenní slabě vázanou oblast. Normalizovaná křivka není absolutní účinnost převodu ani experimentální data. Souvislosti [20–22].

Jednou z nejzajímavějších známých vazeb je Gercenštejnův jev, v anglické literatuře Gertsenshtein effect.

Elektromagnetická vlna procházející vnějším magnetickým polem může v rámci obecné relativity vytvářet gravitační vlnu a obráceně. Jde o předpověď známých rovnic. Není nutné tvrdit, že foton je totéž co graviton nebo že magnetické pole odhalilo novou základní sílu. Moderní odvození rozebírají také důležitost hranic oblasti a soudržného šíření vln. [20]

Účinnost není určena pouze velikostí magnetu. Rozhoduje délka interakce, příčná složka pole, frekvence, polarizace a rozdíl fází obou vln. V ideálním koherentním slabém režimu roste pravděpodobnost převodu přibližně jako druhá mocnina součinu B a délky oblasti, násobená velmi malou gravitační vazbou. Plazma nebo kvantové opravy indexu lomu mohou soudržnost narušit. Bez jejich zahrnutí by jednoduché prodlužování magnetu přeceňovalo dosažitelný signál.

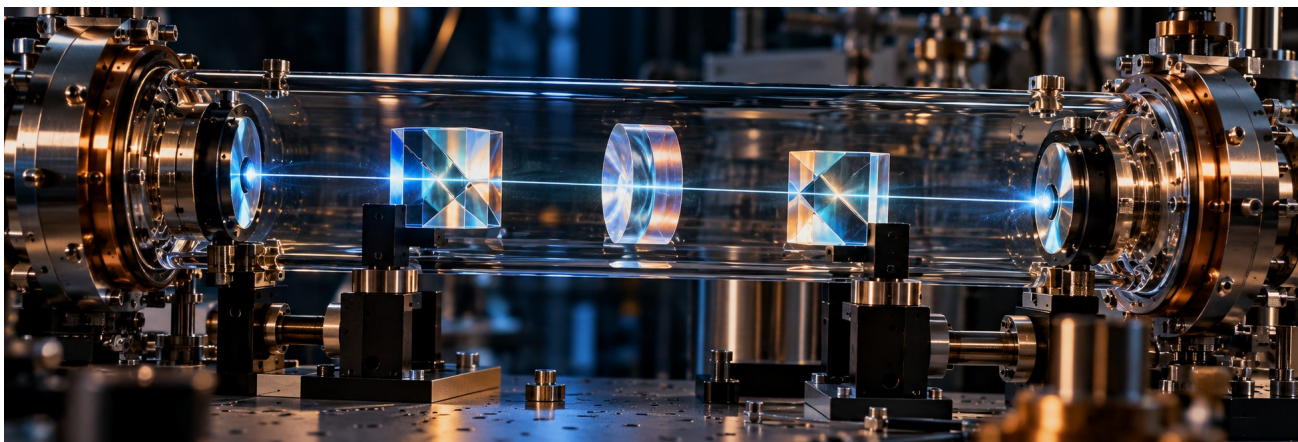
Domckeová a Garcia-Cely ukázali, jak lze konverzi využít při omezování vysokofrekvenčních gravitačních vln pomocí rádiových pozorování. Výsledky jsou podmíněny modelem kosmických magnetických polí a prostředí. Nález dodatečného rádiového záření by sám o sobě neznamenal detekci gravitonu; nejprve by bylo nutné vyloučit běžné zdroje záření a prokázat odpovídající souvislosti. [21]

Hwang a Noh upozornili, že převod mezi potenciálem, fyzikálně měřenými elektrickými a magnetickými poli a poruchou metriky musí být v zakřiveném prostoru proveden důsledně. Rovnice správná pro rovinnou vlnu v homogenním prostředí nemusí být bez úpravy správná pro skutečný detektor. To je přesně typ technického omezení, který populární zkratka o přeměně světla na gravitaci často vynechá. [22]

Pro MAGNITACI je tento mechanismus důležitý dvojím způsobem. Ukazuje, že určitý převod elektromagnetických a gravitačních poruch fyzika již předpovídá, a současně určuje část nulového modelu H0. Objevit účinek, který přesně odpovídá tomuto mechanismu, by byl významný experimentální úspěch. Nebyl by však sám o sobě důkazem dodatečného pole navrženého v hypotéze EveryThink.

15 Vakuum má kvantovou strukturu

Nelineární elektrodynamika a hledání dalších polí



Přesná optika umožňuje zkoumat nelineární vlastnosti vakua. Generativní ilustrace.

Klasické vakuum Maxwellovy teorie je lineární: pole lze skládat a světelné vlny se v této aproximaci přímo nerozptylují navzájem. Kvantová elektrodynamika přidává účinky virtuálních nabitých částic. Při vhodných energiích nebo dostatečně silném pozadí vznikají malé nelineární korekce. Slovo virtuální označuje prvky výpočtu, nikoli libovolně dostupnou zásobárnu skutečných částic a energie.

Drummond a Hathrell odvodili kvantové korekce šíření fotonů v zakřiveném pozadí. Efektivní popis obsahuje členy kombinující elektromagnetické pole a křivost, například součiny R a kvadratických výrazů v F . Jejich existence je teoretickým důsledkem kvantové elektrodynamiky za konkrétních podmínek. Neznamená to, že libovolné zakřivení dává nový laboratorně velký účinek nebo že z efektivní nízkoeenergetické fázové rychlosti lze bez dalšího vyvodit porušení kauzality. [23]

Magnetický dvojlom vakua je jiné přesné testovací téma. Experiment PVLAS ve svém souhrnu z roku 2020 uvedl, že citlivost nedosáhla předpovězeného signálu QED. Pro 2,5 tesla vyšla $\Delta n = (12 \pm 17) \times 10^{-23}$, zatímco uváděná předpověď byla přibližně $2,5 \times 10^{-23}$. Toto je výsledek konkrétního experimentu, ne tvrzení, že všechny projevy nelineární QED byly nepozorovány nebo že teorie byla vyvrácena. [24]

Vedle známých oprav se hledají hypotetická lehká pole. Pseudoskalární axionová vazba souvisí s výrazem F krát jeho duál, v klasickém jazyce s $E \cdot B$. Skalární vazba, kterou později použijeme, souvisí s F^2 , tedy s rozdílem magnetického a elektrického příspěvku. Obě možnosti se liší chováním při změně parity a polarizace. Omezení jednoho typu vazby nelze bez výpočtu zkopírovat na druhý.

První vědecká kampaň ALPS II nenašla důkaz nových lehkých částic. Ve zveřejněné verzi z května 2026 uvádí pro lehké pseudoskaláry pod přibližně 0,1 meV mez vazby dvou fotonů $1,5 \times 10^{-9} \text{ GeV}^{-1}$ při 95% spolehlivosti; práce zkoumá také další typy bosonů. Jde o experiment s průchodem světla přes neprůhlednou bariéru pomocí hypotetického prostředníka. [25]

Pro naši hypotézu je závěr střízlivý. Doplnující vazba mezi polem a geometrií je matematicky představitelná, ale známá kvantová fyzika již některé takové struktury obsahuje. Nový návrh musí odlišit svůj příspěvek od těchto korekcí a respektovat limity získané v jiných měřeních.

16 Vesmír jako laboratoř silných polí

Magnetary a kosmická magnetická pole



Umělecká představa magnetaru; barvy a struktury jsou ilustrativní. Generativní ilustrace.

V laboratoři bývá gravitace energie magnetického pole velmi slabá. U neutronových hvězd se na jednom místě setkává vysoká hustota, relativistická gravitace, silná magnetizace a plazma. Magnetary proto nabízejí přírodní prostředí pro zkoumání vzájemného působení elektromagnetismu a geometrie. Typické odhady jejich silných polí se pohybují kolem 10^{10} až 10^{11} tesla; nejde o přímé zasunutí pozemské sondy, ale o odvozování z různých pozorování a modelů. [46]

Záření magnetaru závisí na magnetosféře, geometrii pole, povrchu hvězdy i na procesech v kůře. Přehled Kaspiové a Beloborodova vysvětluje, proč vývoj a uvolňování magnetické energie mohou řídit výraznou rentgenovou aktivitu. Z toho nelze vyvodit, že silné gravitační pole vzniká pouze z magnetismu. Hvězda má také obrovskou klidovou a vnitřní energii hmoty a gravitaci by měla i bez stejné magnetické konfigurace. [46]

Obdobně je třeba zacházet s kosmickými magnetickými poli. Mohou vznikat nebo se zesilovat v plazmatu, při pohybu vodivé hmoty a dynamových procesech. Otázka původních zárodečných polí v raném vesmíru je otevřená a má několik kandidátních mechanismů. Znalost pozdního pole sama neurčuje jeho nejranější původ.

Analýza Plancku zaměřená na primordiální magnetická pole ukázala, že taková pole mohou měnit reliktní záření prostřednictvím několika odlišných kanálů. Číselné meze závisí na spektru, vyhlazovací délce a předpokladech modelu. Nelze proto uvést jediné číslo síly pole bez jeho kosmologického významu a označit je za univerzální mez pro všechny magnety. Historický výsledek Planck 2015 zde slouží jako konkrétní příklad metodiky, nikoli jako záruka nejnovějšího omezení každého modelu. [45]

Silná pole navíc sama nezaručují lepší test. Čím složitější prostředí, tím více parametrů může napodobit hledanou odchylku. Laboratoř má slabší signály, ale někdy lépe známou geometrii a kontrolované změny. Astrofyzika nabízí extrémní podmínky, ovšem za cenu obtížnějšího oddělování mechanismů. Nejsilnější závěr by vznikl teprve tehdy, kdyby jeden model se stejnými vazbami vysvětlil obě oblasti a byl konzistentní i s přesnými testy ve Sluneční soustavě.

17 Jak se lidé pokoušejí o sjednocení

Další rozměr a matematická dvojité kopie



Hledání společné matematické struktury interakcí. Generativní ilustrace.

Kaluzaova-Kleinova myšlenka ukazuje, že geometrie prostoru s dalším rozměrem může v určitém rozkladu obsahovat čtyřrozměrnou metriku, elektromagnetický potenciál a další skalární stupeň volnosti. Nejde tedy jen o slovní podobnost polí. Společná vyšší geometrie může vytvářet konkrétní vazby v nižším počtu rozměrů. Rozhodující však jsou předpoklady o závislosti polí na další souřadnici, tvaru prostoru a tom, co by bylo pozorovatelné. [29]

Tento historický směr sám o sobě neposkytuje potvrzenou úplnou teorii skutečného vesmíru. Musí se vypořádat s částicemi hmoty, dalšími známými interakcemi, stabilitou případného skrytého rozměru a jeho experimentálními důsledky. Citujeme-li přehled z roku 1997, nemůžeme jeho tehdejší hodnocení experimentálních možností vydávat za stav omezení v roce 2026. Zde jej používáme pro strukturu myšlenky, nikoli jako aktuální důkaz existence další dimenze.

Jinou překvapivou vazbou je double copy, dvojité kopie rozptylových amplitud. Bern, Carrasco a Johansson ukázali, že při vhodném uspořádání příspěvků kalibrační teorie lze získat gravitační amplitudy z dvojice odpovídajících matematických struktur. Jejich práce obsahuje konkrétní netriviální kontroly a zároveň přesně formulovanou hypotézu širší platnosti. [30]

Double copy nabízí nečekaný způsob, jak hledat společnou strukturu interakcí. Vztahy se týkají určitých teorií a rozptylových amplitud a mohou zahrnovat také další pole. Při jejich fyzikální interpretaci rozlišujeme elektrickou kalibrační symetrii, neabelovskou strukturu a geometrickou symetrii gravitace. Výzkumnou otázkou je, které části tohoto matematického propojení lze přenést do dalších situací a jaký hlubší princip může jejich podobnost vysvětlovat.

Obě cesty mají pro EveryThink hodnotu, protože ukazují, jak vypadá matematicky konkrétní spojení. V každé je určeno, co se převádí na co, které předpoklady jsou nutné a kde se objeví dodatečné stupně volnosti. Zůstává však rozdíl mezi elegantním vztahem a empiricky potvrzeným sjednocením přírodních interakcí. Experiment nemusí oceňovat matematickou krásu; rozhoduje shoda předpovědi s měřením.

Pro EveryThink je užitečné ponechat několik výzkumných měřítek vedle sebe. Hlubší sjednocení může vyžadovat nový geometrický nebo kvantový jazyk. Současně lze zkoušet dílčí nízkoenergetické prototypy a hledat jejich pozorovatelné důsledky. Takový prototyp poskytuje první výpočetní krok, zatímco širší otázka zůstává otevřená.

18 Kde se setkávají kvanta a geometrie

Efektivní teorie smyčky a informační souvislosti



Kvantová geometrie jako otevřený výzkumný směr. Generativní ilustrace.

Často se říká, že gravitaci nelze kvantovat. Přesnější je rozlišit nízkoenergetický efektivní popis a úplnou teorii platnou při libovolně vysokých energiích. Donoghue ukázal, jak lze obecnou relativitu používat jako kvantovou efektivní teorii a oddělit určité dlouhodobé kvantové příspěvky od neznámé fyziky velmi vysokých energií. Neřeší to všechny otázky černých děr a počátku vesmíru, ale vyvrací to dojem, že nemáme žádný konzistentní výpočet kvantové gravitace v omezeném oboru. [27, 28]

Efektivní teorie obsahuje všechny relevantní členy povolené zvolenými symetriemi, seřazené podle významu při dané energii. Některé koeficienty jsou předpovězeny známou nízkoenergetickou fyzikou, jiné se musí změřit nebo určit z hlubší teorie. Přidání nového operátoru proto není automaticky objev. Vědeckou hodnotu má určení jeho fyzikálního původu, konzistence a nezávislého měřitelného důsledku.

Smyčková kvantová gravitace klade důraz na kvantovou povahu geometrických veličin a na zacházení s nezávislostí na předem daném pozadí. Přehled Ashtekara a Bianchiho vysvětluje její hlavní stavební prvky i motivaci studovat extrémní režimy. Pro MAGNITACE je inspirativní otázka, jak by se elektromagnetická pole popisovala v kvantové geometrii a zda by takový společný popis mohl přinést nové pozorovatelné vztahy. Ověření této možnosti zůstává samostatným výzkumným úkolem. [31]

Další cestou jsou termodynamické a holografické vztahy. Jacobson odvodil Einsteinovu rovnici z určitých předpokladů o entropii horizontů a lokální tepelné bilanci. Tím nabídl hlubokou interpretaci gravitačních rovnic; neurčil experimentálně jedinečný mikroskopický materiál časoprostoru. [32]

Maldacenova korespondence propojuje specifické gravitační a negravitační kvantové popisy. Její síla spočívá v přesném vymezení obou stran vztahu. Otevírá otázku, za jakých podmínek mohou geometrické vlastnosti odpovídat vlastnostem kvantového systému a jakou úlohu v takovém vztahu hraje provázání. Přenos těchto myšlenek do našeho kosmologického prostředí je další otevřenou oblastí výzkumu. [33]

V návaznosti na první díl EveryThink můžeme tyto směry chápat jako inspiraci pro otázku, zda geometrie a fyzikální informace nejsou různé popisy hlubšího systému. V této studii však takové tvrzení nepoužijeme jako výpočetní zkratku. Nízkoenergetická hypotéza dostane vlastní rovnice a oddělené testy. Případná budoucí mikroskopická interpretace by je musela odvodit a vysvětlit, proč mají právě nalezené koeficienty.

19 Co by dokazovalo gravitační provázání

Odborný spor který musíme zachovat v plné síle



Obr. 6 Důkazní struktura gravitačně vyvolaného provázání. Schéma rozlišuje data, rozdělení systému a předpoklady o prostředníkovi. Neznázorňuje uskutečnění detekci kvantového gravitačního pole. Zdroje [34–39].

Bose a kolegové a nezávisle Marletto s Vedralem v roce 2017 navrhli testy, v nichž by dvě hmotná kvantová tělesa získala provázání prostřednictvím gravitační interakce. Záměrem je zkoumat vlastnosti prostředníka bez přímého zachycení jednotlivého gravitonu. Důkazní argument však obsahuje předpoklady o tom, jak jsou subsystémy odděleny a jakou informaci mezi nimi může klasický prostředník přenášet. [34, 35]

Aziz a Howl v roce 2025 předložili výpočet, podle něhož určité popisy s klasickým gravitačním polem dovolují vznik provázání v kvantové teorii hmoty. Není to oznámení laboratorního měření. Gundhi, Infantino a Bassi ve své práci z roku 2026 namítají, že diskutovaný efekt souvisí s difúzí kvantových částic a volbou rozdělení systému, a nemusí být provázáním zprostředkovaným klasickou gravitací v požadovaném smyslu. [37, 38]

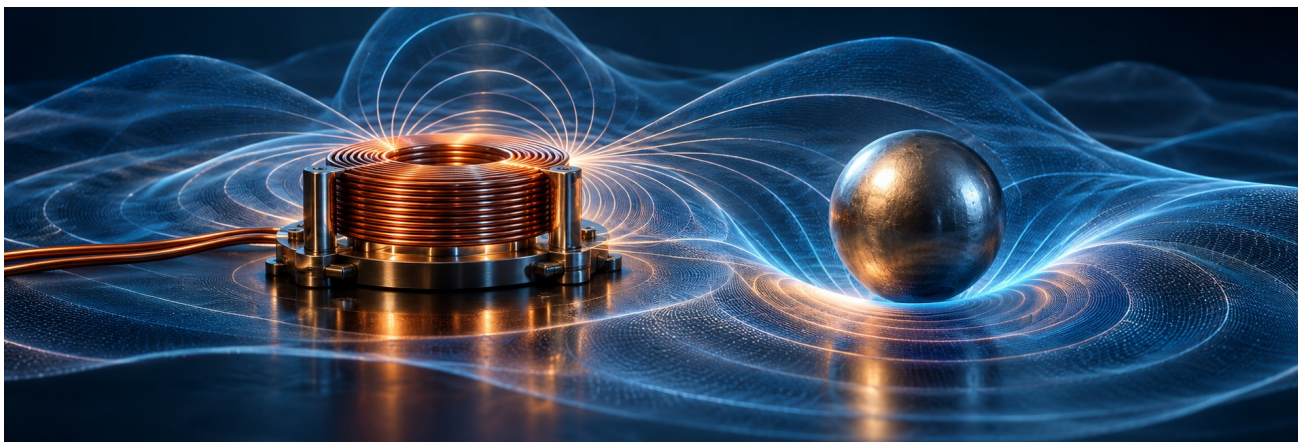
Di Biagio v článku publikovaném 19. října 2026 rozebírá rozdíl mezi informační a prostoročasovou lokalitou a znovu vymezuje, za jakých předpokladů je důkazní argument platný. Pro tuto publikaci je podstatné, že nelze vypustit podmínky a přesto ponechat původní sílu závěru. Případná data musí být interpretována v přesně specifikovaném modelu měření a subsystémů. [39]

Podobnou opatrnost vyžaduje detekce gravitonu. Carney, Domckeová a Rodd ukazují, že citlivost na energii odpovídající jednotlivým gravitonům není totožná s průkazem neklasického gravitačního pole. Kvantový detektor může vytvářet diskrétní záznamy i při některých klasických vstupech. Rozhodovaly by vhodné statistické a korelační vlastnosti signálu. [36]

Pro EveryThink z toho plyne obecná zásada: před experimentem musíme napsat nejen co se má stát, ale také co by daný výsledek opravňoval tvrdit. Dodatečná síla od magnetické aparatury by ještě nebyla důkazem kvantového původu gravitace. I kdyby se ukázala jako skutečně nová interakce, její kvantovou povahu a případné sjednocení by bylo nutné ověřovat zvlášť.

20 Jedna matematická větev EveryThink

Skalární prototyp pro hledání dalšího kanálu mezi poli



Hypotetický další kanál mezi polem, hmotou a geometrií. Generativní ilustrace.

Jako jeden z výpočetních prototypů formulujeme hypotézu H1: vedle známého Einsteinova-Maxwellova působení existuje lehký skalární stupeň volnosti, který je slabě vázán k elektromagnetickému invariantu a ke gravitačnímu sektoru. Změna elektromagnetického uspořádání pak může vytvořit dodatečný signál, který nelze vysvětlit pouze změnou úplné energie, hybnosti a napětí známých polí a materiálů. Tato varianta umožňuje hledat další souvislost mezi poli a formulovat její konkrétní možné projevy.

H0 je známá fyzika: obecná relativita, elektromagnetismus, potřebné kvantové opravy, tepelná a mechanická odezva aparatury. H1 obsahuje H0 jako limit nulových nových vazeb nebo nedostupného dosahu. Při dalším rozpracování bude zajímavé určit oblasti parametrů slučitelné s dosavadními měřeními a porovnat je s možnostmi nových přístrojů. Výsledek může vést ke změně aparatury, citlivější konfiguraci nebo jiné výzkumné větvi.

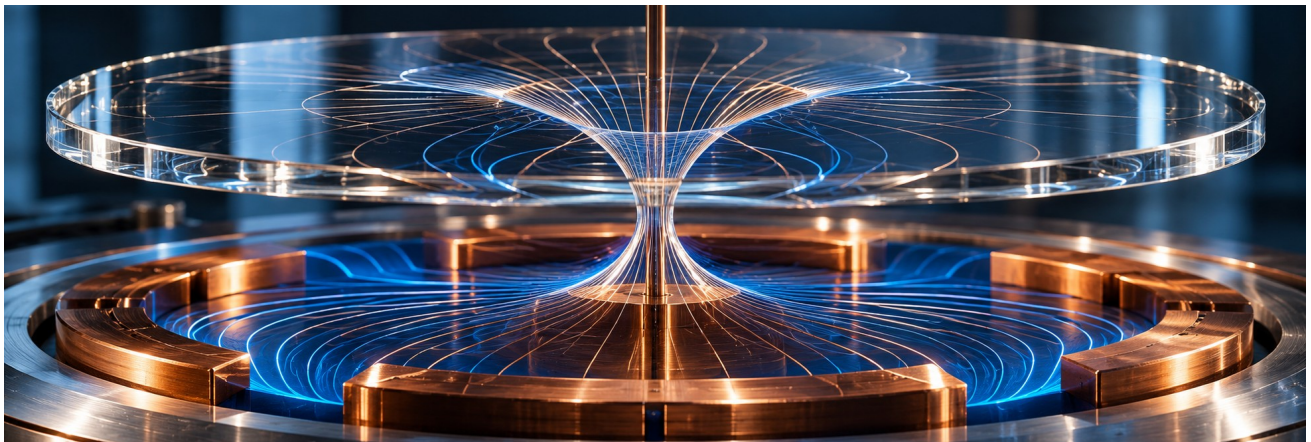
Skalární pole není vymyšleno mimo známou vědeckou tradici. Modely dilatonového typu a skalárně tenzorové teorie jsou dlouhodobě zkoumány. Damour a Donoghue podrobně ukazují, jak se vazby lehkého pole promítají do složení atomů a porušení principu ekvivalence. Náš příspěvek spočívá ve spojení těchto principů s konkrétní strategií porovnání elektromagnetických konfigurací. Nenárokujeme novost samotných operátorů ani prioritu dosud neověřeného mechanismu. [26]

Skalár volíme jako jednoduchý první prototyp, protože jeho hodnota v dané události nenesení směr. Zároveň poskytuje fyzikálně odlišnou možnost vedle fotonu a gravitační poruchy se spinem dva. Jinou hypotézu by mohlo tvořit pseudoskalární pole, nový vektor nebo vyšší derivace metriky. Každá taková větev má vlastní symetrie, stabilitu a experimentální podpis. Jejich samostatné formulování umožní později porovnávat konkrétní možnosti a podle výsledků rozvíjet další směr.

H1 se soustředí na konkrétní otázku: chybí nám slabý, nezávisle testovatelný kanál mezi elektromagnetickým polem, hmotou a geometrií? Takto vymezený prototyp poskytuje prostor prvnímu výpočtu a hledání jeho důsledků. Širší otázku společného původu gravitace a magnetismu přitom ponechává otevřenou. Případná kladná odpověď by nabídla další výzkumný směr a podnět k hledání hlubší struktury, z níž by taková vazba mohla vznikat.

21 Matematická podoba hypotézy

Efektivní akce a její meze



Od intuice ke konkrétnímu matematickému prototypu. Generativní ilustrace.

Použijme přirozené jednotky $\hbar = c = 1$, signaturu $+++$ a redukovanou Planckovu hmotnost M_P . Jednoduchá demonstrativní akce je součtem Einsteinova členu, Maxwellova členu, dynamiky reálného skaláru ϕ a dvou přidáných vazeb. Běžná hmota je zahrnuta v členu $\mathcal{L}_m$. Pro lokální laboratorní výklad zanedbáváme kosmologickou konstantu, nikoli její existenci v kosmologii.

$$S = \int d^4x \sqrt{-g} \left[\frac{M_P^2}{2} R - \frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} - \frac{1}{2} \partial_\mu \phi \partial^\mu \phi - \frac{1}{2} m_\phi^2 \phi^2 + \beta M_P \phi R - \frac{d_\gamma}{4 M_P} \phi F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + \mathcal{L}_m \right]$$

Parametr m_ϕ určuje klidovou hmotnost skalárního kvanta a související dosah. Koeficienty β a d_γ jsou v této normalizaci bezrozměrné. ϕ má hmotnostní rozměr jedna, R rozměr dva a F^2 rozměr čtyři; všechny členy v hranaté závorce proto mají rozměr čtyři. Člen ϕF^2 určuje změnu účinného elektromagnetického koeficientu, člen ϕR mísení skaláru s geometrickým sektorem. Jde o příklad efektivního modelu, nikoli o úplnou akci všech operátorů povolených symetriemi. [26–28; autorská volba parametrizace]

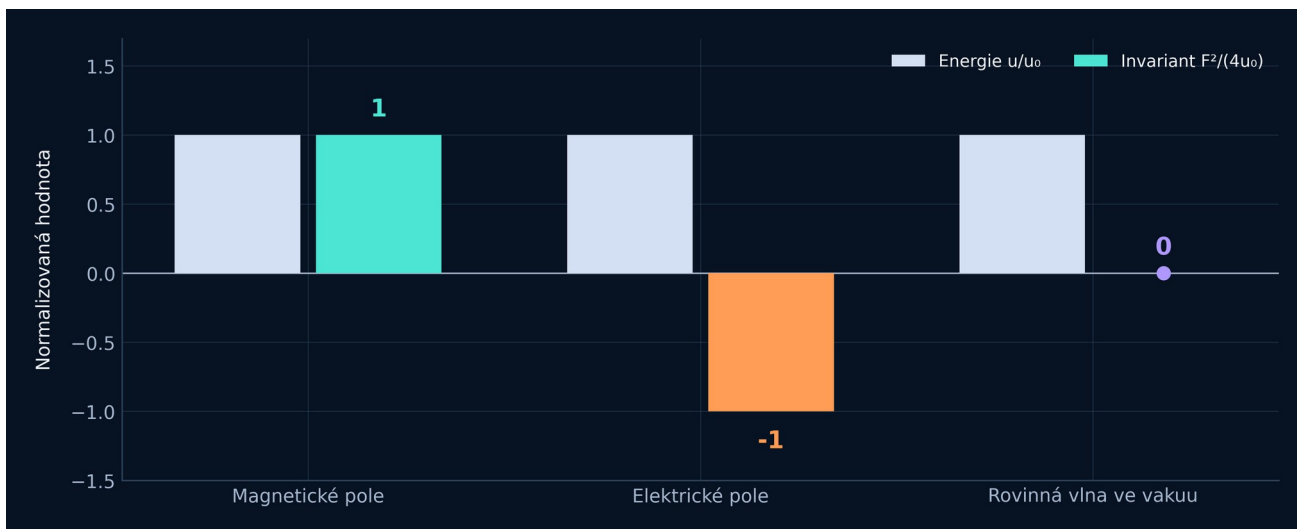
Tato volba zachovává elektromagnetickou kalibrační invarianci a obecnou kovarianci. Ani to samo nezaručuje fyzikální přijatelnost. V pracovním okolí musí být kladný účinný koeficient Einsteinova členu, tedy $M_P^2 + 2\beta M_P \phi > 0$, a kladný fotonový kinetický koeficient $1 + d_\gamma \phi / M_P$. Model také potřebuje stabilní kinetiku skaláru a konzistentní obor energií. Překročení těchto podmínek by nebylo předpovědí funkčního zařízení, ale selháním zvolené aproximace.

Po převodu do Einsteinova rámce se mísení ϕR projeví mimo jiné vazbou skaláru k hmotovým parametrům a změnou jeho kinetické normalizace. Pro malé poruchy kolem $\phi = 0$ je příslušný lokální faktor kinetiky $1 + 6\beta^2$. Proto nelze prostě číst β jako přímo naměřenou sílu mezi dvěma tělesy. Nejdříve musíme pole kanonicky normalizovat a určit skalární náboje konkrétních materiálů.

Také kvantové korekce mohou vytvářet další členy. Pokud bychom je potřebovali při přesnosti plánovaného experimentu, musely by být zahrnuty do chybového rozpočtu nebo explicitně doplněny. Dva napsané nové koeficienty nejsou zárukou, že je teorie uzavřena vůči renormalizaci. Vědecky poctivý význam této akce je omezený: poskytuje konzistentní výchozí jazyk pro první výpočet a pro otázku, které kombinace vazeb lze experimentálně omezit.

22 Rozdíl který se neskrývá v pouhé energii

Elektromagnetické invarianty jako rozlišovací nástroj



Obr. 7 Stejná lokální energie u_0 a různé invarianty. Racionalizované jednotky $c = 1$, $F^2 = 2(B^2 - E^2)$. Ideální rovinná vlna má nulový invariant, přesto nese energii. Vlastní analytická vizualizace; bez experimentálních dat.

Variací demonstrativní akce podle ϕ dostaneme v použité konvenci rovnici pole. Její pravá strana obsahuje elektromagnetický invariant i příspěvek křivosti. Rovnice vyjadřuje, jak může být skalár excitován známými poli. Ještě neurčuje velikost měřeného signálu, protože ta závisí také na okrajových podmínkách, šíření pole a odezvě konkrétního detektoru.

$$(\square - m_\phi^2)\phi = \frac{d_\gamma}{4M_P} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} - \beta M_P R$$

$$F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} = 2(B^2 - E^2), \quad u = \frac{1}{2}(E^2 + B^2)$$

První rovnice je v přirozených jednotkách; v druhé dvojici jsou E a B rovněž v konzistentní racionalizované soustavě s $c = 1$. V SI odpovídá znaménkovému rozlišení výraz $B^2 - E^2/c^2$. Hustota elektromagnetické energie naproti tomu obsahuje součet elektrického a magnetického příspěvku. Tyto dvě informace o poli tedy nejsou totožné.

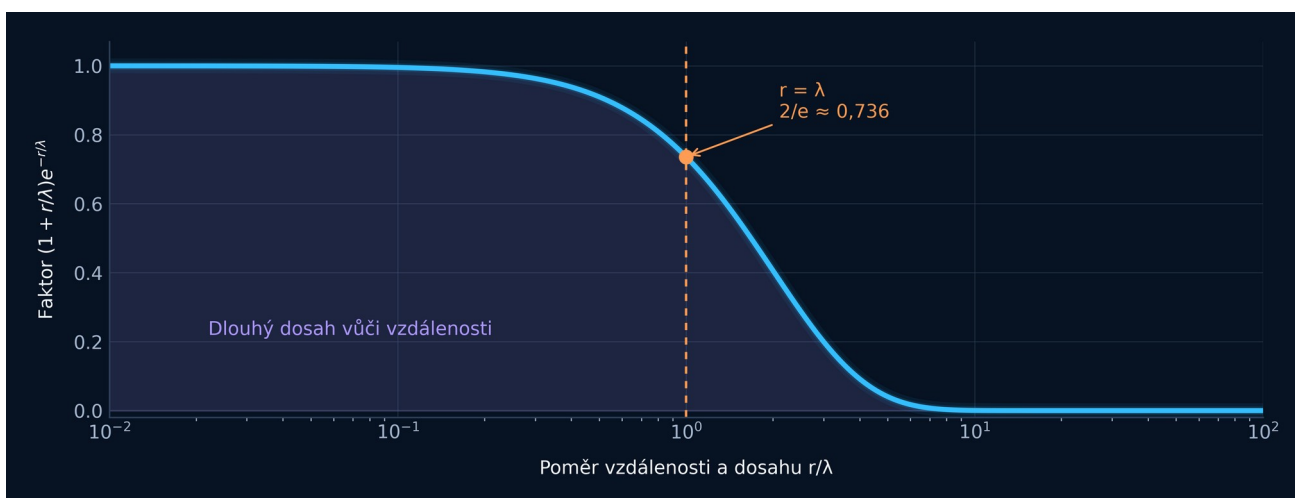
Čistě magnetická a čistě elektrická konfigurace mohou mít stejnou energii, ale opačné znaménko invariantu F^2 . Jedna ideální rovinná elektromagnetická vlna ve vakuu má $F^2 = 0$ a $E \cdot B = 0$, a přesto nese energii a gravitačně působí. V modelu H1 by tato ideální vlna sama neposkytovala stejný přímý skalární zdroj ϕF^2 jako statické pole. Přítomnost dalších pozadí, hranic nebo interferujících vln však situaci mění.

To je konkrétní důvod pro porovnávání uspořádání, nikoli jen velikosti magnetu. Dvě konfigurace se shodnou úplnou gravitační předpovědí H0 mohou mít odlišný přímý skalární zdroj. Slovo úplnou je zásadní: shodná energie samotného pole nezaručuje shodná napětí, multipóly a energii celé aparatury. Teprve po jejich výpočtu a měření lze zbytek interpretovat jako kandidáta nového signálu.

Stejně zásadní je předchozí poznámka o stopě tenzoru. V klasické elektrovakuové oblasti s nulovou kosmologickou konstantou je R nulové, i když pole gravituje. Samotná vazba ϕR by proto nebyla zamýšleným přímým skalárním zdrojem volného magnetického pole. Právě explicitní člen ϕF^2 tuto možnost zavádí. Jeho potřebu nelze nahradit slovním tvrzením, že energie pole nějak zakřivuje prostor.

23 Od rovnice k měřitelnému signálu

Dosah skalární náboj a velikost odchyšky



Obr. 8 Útlum radiální síly Yukawova typu vůči jejímu krátkodosahovému limitu. Jde o modelový tvar v bodové statické aproximaci, nikoli o vylučovací mez z měření.

Pro slabé statické pole je užitečné přepsat rovnici jako stíněnou Poissonovu úlohu. Pokud označíme kanonicky normalizované pole χ a zvolenou zdrojovou hustotu J_χ , řešení obsahuje Yukawovo jádro $\exp(-mr)/(4\pi r)$. Znaménko před integrálem závisí na definici J_χ ; fyzikální přitažlivost či odpudivost určí až součin zdrojové a detektorové vazby. V následujícím potenciálu je tato konvence určena explicitně.

$$V(r) = -\frac{Gm_A m_B}{r} \left[1 + 2q_A q_B e^{-r/\lambda} \right]$$

Zde $q_A = M_P \partial \ln(m_A)/\partial \chi$ a obdobně q_B , vyhodnoceno v pracovním pozadí. Ve vzorci je G Einsteinova gravitační konstanta v použité normalizaci a r vzdálenost bodových nehybných zdrojů; při fitování laboratorně naměřené konstanty je nutné zohlednit i případný skalární příspěvek. Pro konečné aparatury se provádí objemová integrace. Dosah v SI je $\lambda = \hbar/(m_\chi c)$. Parametr m_χ je hmotnost kanonicky normalizované poruchy, nikoli automaticky nezměněný parametr m_ϕ z původní akce.

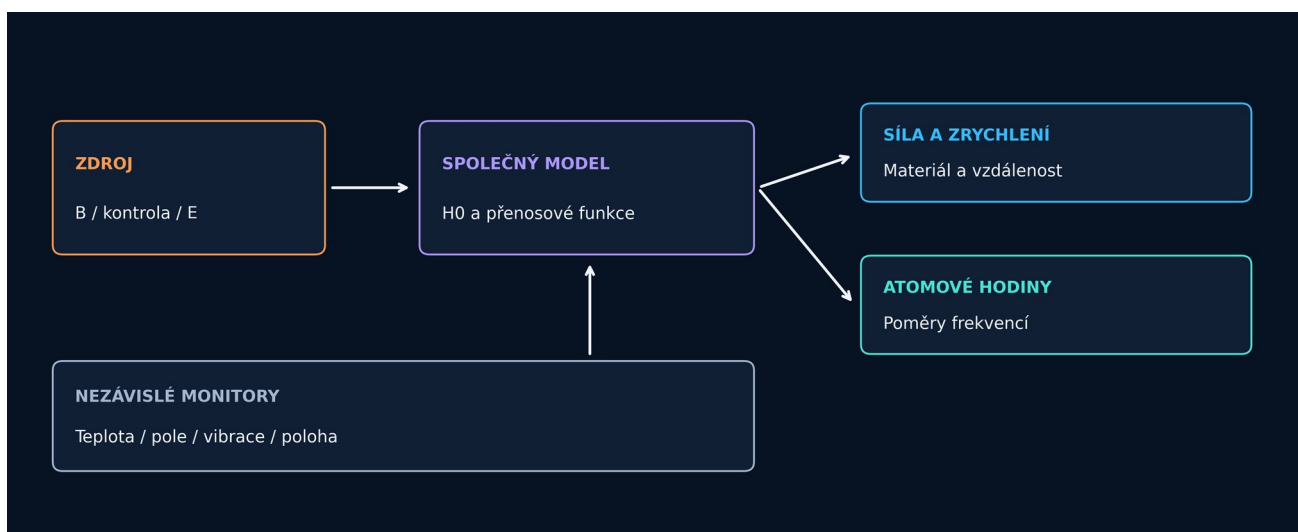
Při stejné hodnotě λ může jeden experiment měřit pouze kombinaci náboje zdroje a náboje detektoru. Nulový výsledek tedy obvykle neurčí samostatně β a d_γ . Pro jejich oddělení potřebujeme více materiálů, různé zdrojové konfigurace nebo doplňkové měření hodin. Také velmi krátký dosah může skrýt silnější vazbu před vzdáleným detektorem. Naopak dlouhodosahová vazba naráží na přesné testy složení a Sluneční soustavy.

Pro názornost lze zavést fenomenologický poměr κ mezi dodatečným zrychlením a řádovým gravitačním odhadem energie pole z kapitoly 13, v režimu r mnohem menším než λ . Při hypotetickém prahu 10^{-15} m/s^2 by tento konkrétní zdroj vyžadoval přibližně $|\kappa| \geq 3,4 \times 10^5$. Jde pouze o poměr dvou zvolených čísel; neprokazuje, že taková vazba je povolena jinými experimenty ani že lze uvedený práh dosáhnout v blízkosti magnetu.

Dalším krokem této matematické větve bude společný výpočet parametrů a realistické citlivosti. Globální numerický fit zde ještě neprovádíme. Máme definovaný prototyp, který lze dále rozšiřovat, porovnávat s jinými mechanismy a spojit s návrhem přístroje.

24 Jak by vypadal rozhodující laboratorní test

Zdrojové stavy které lze nezávisle charakterizovat



Obr. 9 Návrh měřicího programu EveryThink. Elektrický zdrojový stav E je podmíněn proveditelností; shoda energie pole nenahrazuje model celé aparatury. Jde o koncept experimentu, nikoli o hotové a otestované zařízení.

Základem navrženého experimentálního programu je měření rozdílu mezi několika předem definovanými stavy zdroje. Stav A obsahuje uloženou magnetickou energii. Stav B obsahuje srovnatelnou dodatečnou energii v kontrolním systému, například v tepelném nebo jiném elektromagnetickém zásobníku. Stav C je elektrický protějšek tam, kde je proveditelný. Žádná dvojice není automaticky dokonale ekvivalentní: její známý gravitační rozdíl se musí vypočítat z úplné konstrukce a ověřit měřeními poloh, teplot a energií.

Zdroj by měl být prostorově oddělen od detektoru; vodiče, chladicí vedení a mechanické podpěry nesmějí přenášet necharakterizovanou modulaci. Užitečný může být toroidální nebo jinak kompenzovaný magnet, který omezuje únik běžného pole do oblasti detektoru. Ani ideální toroid však neodstraní všechny vazby materiálu, gradienty, vibrace či změnu hmotnostních multipólů. Výsledný tvar pole musí být změřen a modelován, nikoli pouze převzat z názvu cívky.

Jeden detektor může sledovat sílu nebo zrychlení neutrální testovací hmoty, další porovnávat poměry atomových frekvencí. U silového kanálu se testují různé vzdálenosti a alespoň dva materiály. U hodin musí být oddělen běžný gravitační posuv, Zeemanův posuv, Starkův posuv a teplotní vlivy. Dvojice různých přechodů může reagovat odlišně na změnu elektromagnetické vazby, zatímco společné rušení někdy zachytí referenční rezonátor. [41; návrh rozšíření testu]

Před sběrem hlavních dat musí být ověřena lineární odezva a přenosová funkce každého detektoru. Výkonná modulace pole při frekvenci, kde je senzor nejcitlivější, nemusí být optimální, pokud současně budí konstrukční rezonanci. Pomalé přepínání zmenší některé dynamické účinky, ale zvýší citlivost na drift. Konkrétní kompromis musí vzejít z naměřeného spektra šumu.

Navržené schéma je konceptem pro další odborné rozpracování. Podrobný návrh aparatury teprve určí dosažitelnou citlivost, vhodné zdroje a způsob jejich provozu. Zde formulujeme hlavní měřicí úkoly: nezávislou charakterizaci zdroje, dostatek kontrolních stavů a detektory s odlišnou odezvou na jednotlivé fyzikální příspěvky. První dílčí realizace může ověřit některý z těchto kroků a zpřesnit další návrh. Pozdější signál pak bude možné porovnat s konkrétní předpovědí.

25 Jak oddělit jednotlivé fyzikální příspěvky

Rušení má vlastní fyzikální zákony



Koncepční představa přesného laboratorního uspořádání. Generativní ilustrace.

Při plánování přesného měření je hlavním praktickým úkolem rozlišit jednotlivé elektromagnetické a mechanické příspěvky. Testovací těleso může mít zbytkový náboj, magnetický moment nebo nenulovou susceptibilitu. I elektricky neutrální materiál může reagovat na gradienty pole indukovanou polarizací. Pro mnohé slabě magnetické vzorky obsahuje síla příspěvek úměrný gradientu B^2 . Takový signál je sudý při obrácení polarit a může napodobit právě skalární účinek, který také závisí na kvadratickém invariantu.

Samotné obrácení proudu proto není rozhodujícím testem. Oddělí některé liché vazby, ale ne všechny sudé. Potřebujeme změnu prostorové geometrie, měření zbytkových polí u detektoru, vhodné materiálové kontroly a nezávislé kalibrace. Stínění rovněž není magické: může se samo magnetovat, zahřívat nebo deformovat a jeho odpověď může záviset na frekvenci. Změna druhu stínění má být kontrolním měřením, nikoli důvodem ignorovat jeho vlastní gravitační hmotnost.

Ohřev přidává další kanály. Teplotní roztažnost mění polohu hmoty a tím skutečný známý gravitační signál. Sálání vytváří tlak a teplotní gradienty mohou v nedokonalém vakuu budit síly působením plynu. U feromagnetu může magnetostricke měnit rozměry vzorku synchronně s magnetizací. Připojený vodič může přenášet Lorentzovu sílu do nosné konstrukce. Tyto mechanismy nejsou statistickou náhodou a delší průměrování je nemusí odstranit.

Možný původ	Co může napodobit	Nutná kontrola
Zbytkový náboj	Sílu od úniku E	Neutralizace a nezávislá sonda
Susceptibilita	Sudý signál v B	Gradient B^2 a materiálová výměna
Magnetostricke	Změnu polohy hmoty	Optické měření deformace
Ohřev a plyn	Drift nebo periodickou sílu	Teplota, tlak a kontrolní ohřev
Vibrace podpěr	Složku ve frekvenci zdroje	Akcelerometry a mechanická záměna

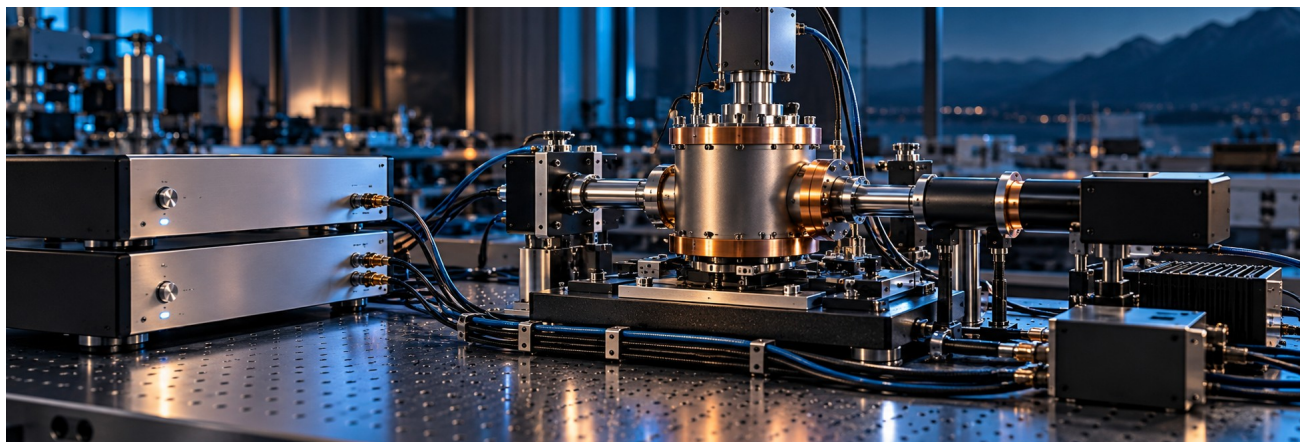
Tabulka 1 Fyzikální příspěvky a nezávislé kontroly. Autorská srovnávací matice.

Přesné gravitační experimenty proto používají modulaci, referenční kanály a analýzu systematických nejistot. Ve Westphalově pokusu bylo třeba doložit, že negravitační příspěvky nejsou dominantním vysvětlením měřeného signálu. MICROSCOPE zase výslovně analyzoval tepelné nestability a krátké události schopné imitovat hledanou diferenciální akceleraci. Z těchto příkladů přebíráme metodický princip, nikoli automaticky jejich dosaženou citlivost. [12, 15]

Kandidát na objev by měl přežít náhradu zdroje, změnu detektoru, zaslepenou změnu pořadí stavů i kalibrační injekce známých rušení. Pokud amplituda sleduje teplotu či zbytkové pole lépe než zdrojový funkcionál H_1 , jde o vysvětlení známou fyzikou. To by nebylo zklamání měření: odstranění chybných výkladů je nutnou součástí každého věrohodného experimentu.

26 Jak připravit budoucí vyhodnocení experimentu

Statistický plán ještě před odhalením dat



Plán měření určuje, co bude možné z dat vyvodit. Generativní ilustrace.

Prvotní průzkum pomáhá objevit zajímavé závislosti a vhodné otázky. Pro pozdější potvrzovací měření se předem určí hlavní měřená veličina, znaménková konvence, tvar očekávaného signálu a postup kalibrace. Pro sílu může jít o amplitudu a fázi odezvy na známou sekvenci zdroje; pro hodiny o rozdíl poměrů frekvencí s určenými citlivostmi přechodů. Vedlejší kanály mají předem stanovený význam při kontrole rušení.

Jednoduchý pracovní model může mít podobu $y(t) = A s(t; \lambda) + \text{součet kontrolních příspěvků} + \text{šum}$. Šablona s obsahuje geometrii zdroje, časový průběh, dosah a přenosovou funkci detektoru; A zachycuje zvolenou kombinaci vazeb. Kontrolní členy nesmějí být dodatečně přidávány jen proto, aby vytvořily požadovaný zbytek. Pokud je mezi šablonou a teplotním kanálem silná korelace, musí se tato degenerace projevit v nejistotě A .

Zaslepení může skrýt pořadí stavů nebo malou kalibrační složku do chvíle, kdy je analýza uzavřena. Samostatná část dat slouží k nastavení filtrů a vylučovacích pravidel; potvrzovací část se vyhodnotí podle zafixovaného postupu. Je nutné uchovat i neúspěšné běhy s důvodem vyřazení. Zpětný výběr několika příznivých intervalů by mohl vytvořit zdání periodického signálu i z běžného šumu.

Pro bílý nekorelovaný šum se některé nejistoty zlepšují přibližně s odmocninou doby měření. Dlouhodobý drift, barevný šum a periodické rušení toto pravidlo narušují. Proto se měří výkonové spektrum, stabilita v čase a korelace mezi kanály. Součet statistické a systematické nejistoty musí respektovat jejich vzájemné závislosti; mechanické sečtení několika libovolných procent není chybovým rozpočtem.

Pokud prohledáváme mnoho dosahů, frekvencí, orientací nebo verzí modelu, roste pravděpodobnost náhodného extrému. Významnost musí zohlednit skutečný rozsah hledání. Ani často uváděná hranice pěti směrodatných odchylek nenahrazuje kontrolu systematické chyby a nezávislé opakování. Výsledek se zveřejní spolu s kalibračními daty, kódem, časovými řadami a přesným modelem předpovědi, aby jej mohl přepočítat jiný tým.

Takto nastavený experiment může přinést užitečný výsledek i bez objevu. Poskytne reprodukovatelnou horní mez na určenou kombinaci parametrů. Ta pomůže vybrat další konfiguraci, citlivější měření nebo jinou větev modelu. Zaznamenání původních předpokladů přitom uchová přesnou informaci o tom, kterou možnost jsme prověřili a které otázky zůstávají otevřené.

27 Jak později rozlišovat výzkumné možnosti

Rozhoduje konkrétní verze a konkrétní parametr



Porovnání konfigurací a materiálů rozlišuje možné mechanismy. Generativní ilustrace.

H1 s libovolně malými vazbami nelze jediným konečně přesným experimentem vyloučit v celém matematickém prostoru. Vždy může zůstat oblast pod citlivostí. Vědecky testovatelná je proto konkrétní verze s určeným dosahem, vazbami, prostředím a předpovězenou amplitudou. Pokud její předpověď leží nad ověřenou citlivostí a signál se neobjeví, je tato verze v příslušné oblasti parametrů vyloučena. Takto se běžně vyhodnocují i hledání nových částic.

Nález kandidáta musí současně splnit více podmínek. Vzdálenostní závislost musí odpovídat vypočtené geometrii a dosahu. Materiálová závislost musí souhlasit se skalárními náboji a nikoli pouze s magnetickou susceptibilitou. Změna zdrojové konfigurace musí sledovat předpovězený invariant nebo jeho úplný zdrojový integrál. Časová fáze nesmí být libovolně upravována pro každý běh a při zvoleném pracovním režimu musí souhlasit s dynamikou modelu.

Test	Podmínka H1	Co by ji zpochybnilo
Vzdálenost	Jeden společný dosah λ	Neslučitelný prostorový průběh
Materiál	Vypočtené skalární náboje	Závislost pouze na susceptibilitě
Zdrojový stav	Předpověď celé akce	Signál sleduje jen ohřev
Replikace	Shodné parametry modelu	Ověřená horní mez pod předpovědí

Tabulka 2 Porovnání předpovědí konkrétní verze H1. Autorská srovnávací matice.

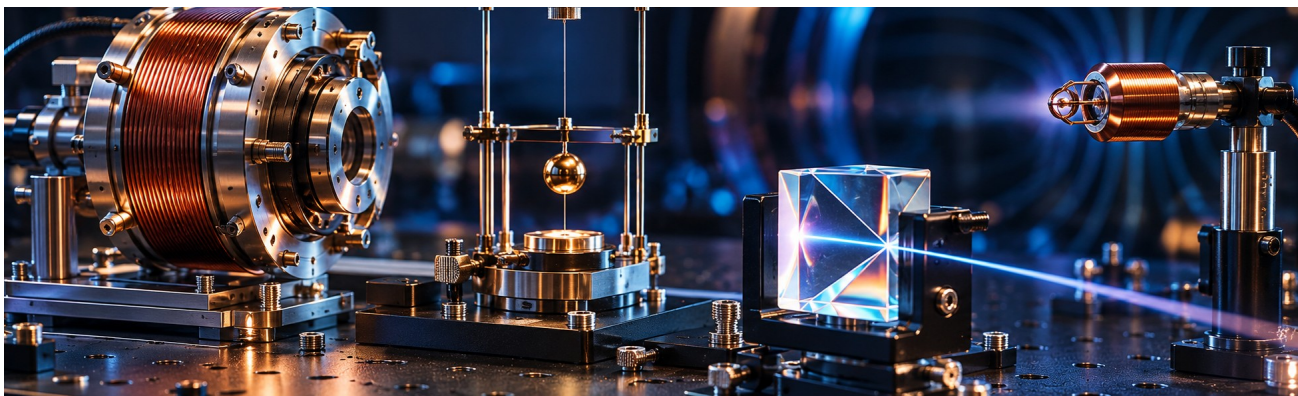
Zvlášť cenný by byl nesoulad uvnitř samotné H1. Například silový signál by mohl vyžadovat tak velkou elektromagnetickou vazbu, že by současně předpovídal už vyloučenou změnu hodinových poměrů nebo porušení principu ekvivalence. V takovém případě nestačí tvrdit, že některý z experimentů je méně zajímavý. Buď jde o chybu v přepočtu, nebo zvolený model signály společně nevysvětluje.

Pozitivní odchylka naopak nemusí potvrdit celou hypotézu. První laboratorní anomálie může být neznámým artefaktem, chybou modelu konstrukce nebo jinou novou interakcí. Rozlišení přichází opakováním a porovnáním více podpisů. Výrok byla zjištěna nová síla je silnější než výrok měření nesouhlasí s naším současným modelem přístroje. Výrok byla sjednocena gravitace s elektromagnetismem je ještě podstatně silnější.

EveryThink může postupovat i porovnáním několika různých větví. Pokud jedna jednoduchá varianta nevyhoví určitému výsledku, může nás to vést k jiné struktuře vazby, jinému režimu měření nebo k novému pohledu na původní otázku. Změnu předpokladů vždy zaznamenáme, aby bylo zřejmé, kterou možnost výsledek skutečně prověřoval. Smyslem této fáze je získávat orientaci pro další hledání.

28 Jak spojit různé meze bez falešného srovnání

Každý experiment omezuje jinou projekci modelu



Různé přístroje měří různé projevy téhož navrženého modelu. Generativní ilustrace.

Přesnost MICROSCOPE nelze jednoduše označit za přímou mez dy na úrovni 10^{-15} . Naměřený parametr η porovnává zrychlení dvou materiálů ve zdrojovém poli Země. Převod na koeficienty H1 vyžaduje skalární náboj Země, náboje obou slitin, dosah a případné prostředím podmíněné efekty. Obdobně výsledek ALPS II omezuje kombinaci hmotnosti a vazby prostředníka k fotonům v konkrétní polarizaci a geometrii. Číselně menší mez nemusí být obecně silnějším testem jiného modelu. [12, 25, 26]

Kanál	Testovaná veličina	Převod do H1
MICROSCOPE	Diferenciální zrychlení	Náboje Země a slitin, dosah
Torzní váhy	Síla a její dosah	Geometrie a materiál zdroje
ALPS II	Regenerované fotony	Typ bosonu, hmotnost a polarizace
Atomové hodiny	Poměry frekvencí	Citlivosti přechodů a časový model
Spinové testy	Směrové spinové síly	Jiný operátor než samotné ϕF^2

Tabulka 3 Převod různých experimentů do společného modelu. Autorská srovnávací matice.

Hodinové experimenty mohou zkoumat změny bezrozměrných konstant nebo prostorově a časově proměnné hypotetické pole. Filzinger a kolegové využili prostorově oddělené hodiny a optické rezonátory, aby získali citlivost k vazbám, které se mohou v lokálních srovnáních částečně vyloučit. Jejich interpretace zahrnuje model ultralehké temné hmoty. Pro statické uměle vytvářené pole proto musíme znovu odvodit zdroj, frekvenční odezvu i přenos mezi místy; nelze převzít hotové číslo bez těchto kroků. [41]

Spinové polarizovaná torzní měření jsou další odlišný kanál. Heckel a kolegové hledali interakce závislé na elektronovém spinu a směrové efekty. Tato metodika je relevantní pro tvrzení, že nová gravitace sleduje samotnou orientaci spinů. Není však totožná se skalárním členem ϕF^2 . I v jednom materiálu se mohou spinový náboj, celkový magnetický moment a elektromagnetická energie měnit různě. [42]

Globální vyhodnocení má proto začít společnou definicí akce a její normalizace. Následuje odvození pozorovatelných veličin každého experimentu, nikoli vizuální překrytí křivek s odlišnými osami. Potom se sestaví věrohodnostní funkce nebo jiný jasně definovaný statistický postup a promítnou se nejistoty složení, geometrie a prostředí. Případné korelace mezi vstupy musí zůstat zachovány.

V této publikaci uvádíme mapu těchto vazeb a potřebné výpočtové úlohy, nikoli dokončený společný fit. Přesná vědecká formulace tedy zní: H1 je konkrétně formulovatelná rodina modelů s mnoha existujícími omezeními. Novou laboratorní citlivost pak bude možné posoudit společným přepočtem a měřením vlastností konkrétního návrhu.

29 Co by objev znamenal pro fyziku

Přidané pole ještě nemusí být poslední vysvětlení



Možné důsledky objevu hlubší vazby zůstávají výzkumnou otázkou. Generativní ilustrace.

Představme si nejpříznivější scénář: dva nezávislé týmy opakovaně naměří dodatečný signál, jeho vzdálenostní a materiálová závislost odpovídá H1, kontrolní kanály vylučují známá rušení a stejné parametry projdou ostatními testy. Takový výsledek by byl důkazem nedostatečnosti dosavadního nulového modelu v daném režimu a mohl by poskytovat silnou podporu novému skalárnímu poli. Byl by to zásadní objev nové fyziky.

Stále by však bylo nutné rozhodnout, co nový prostředník vysvětluje. Může jít o další slabou sílu přidanou vedle gravitace a elektromagnetismu. Může být nízkoeenergetickým projevem širší teorie. Může souviset s kosmologií, ale taková souvislost by vyžadovala samostatná data o vývoji vesmíru a hustotě pole. Laboratorní detekce sama neurčuje jeho kosmologický podíl.

Ke skutečnému hlubšímu sjednocení by bylo třeba odvodit známé sektory, jejich symetrie, vztahy mezi vazbami a interakce s hmotou. Teorie by měla objasnit, proč má elektromagnetismus dvě znaménka náboje, proč je běžný volný pád tak univerzální a proč gravitační a elektromagnetické poruchy vykazují své pozorované polarizace. Samotný nový most mezi dvěma již existujícími sektory ještě neurčuje jejich společný mikroskopický původ.

Také by neplynula možnost beznákladově získávat energii. V konzistentním modelu je nutné zahrnout energii nového pole i zdroje, který jej budí. Mechanická práce z cyklu by se účtovala proti celkové energetické bilanci. Předpověď síly není totožná s předpovědí motoru a pozorování nové vazby neznamená automaticky ovládnutí gravitačního pole v praktickém měřítku.

Objev by mohl nepřímě změnit i pohled na to, co gravitace je. Nová experimentální informace by pomohla rozlišovat mezi třídami efektivních teorií a mohla by vést k nové matematické struktuře. Nejsilnější dopad by však přišel z konkrétních naměřených vztahů: jak účinek závisí na energii, konfiguraci pole, materiálu a vzdálenosti. Právě tyto údaje mohou vést od překvapení k vysvětlení.

EveryThink tak může být prostorem pro odvážné otázky i přísné přiznání hranic. Největší intelektuální posun nemusí spočívat ve větě všechno je jedno. Může spočívat v objevu přesného pravidla, které vysvětlí, kdy se odlišné jevy propojují a kdy jejich odlišnost zůstává fyzikálně rozhodující.

30 Pět technických kontrol před každým závěrem

Rozměry symetrie energie zdroje a odečet



Kalibrace, rozměry a přenosové vazby patří k úplnému popisu pokusu. Generativní ilustrace.

První kontrolou jsou jednotky. V kapitole 13 používáme SI, kde B měříme v tesla, E ve V/m a energii v joulech. V akci používáme $\hbar = c = 1$ a racionalizovanou normalizaci elektromagnetického pole. Dosadit tesla přímo do vzorce F^2 z přirozených jednotek bez převodu by dalo nesmyslný výsledek. Také redukovaná Planckova hmotnost se liší od obvyklé Planckovy hmotnosti faktorem odmocniny z 8π . Přesná normalizace je součástí předpovědi, ne kosmetickou volbou. [44]

Druhou kontrolou jsou symetrie. Pokud návrh mluví pouze o B^2 bez určení pozorovatelské soustavy a bez doplnění elektrické složky, nemusí být relativisticky invariantní. Pokud přidává libovolný potenciál závislý přímo na elektromagnetickém potenciálu A bez kontroly kalibrační symetrie, může vytvářet nepozorovatelnou či nekonzistentní závislost. Výrazy F^2 a F krát jeho duál jsou z tohoto hlediska přirozené, ale mají rozdílné transformační vlastnosti.

Třetí kontrolou je zachování energie a hybnosti. U spojených polí není obecně zachován každý dílčí tenzor samostatně, protože sektory si energii předávají. Zachován musí být správně definovaný celkový součet včetně skaláru a zdroje. Výpočet zahrnující zapnutí cívky, ale ne zahrnující práci napájecího zdroje nebo deformaci podpěr, nemůže prokazovat porušení této bilance.

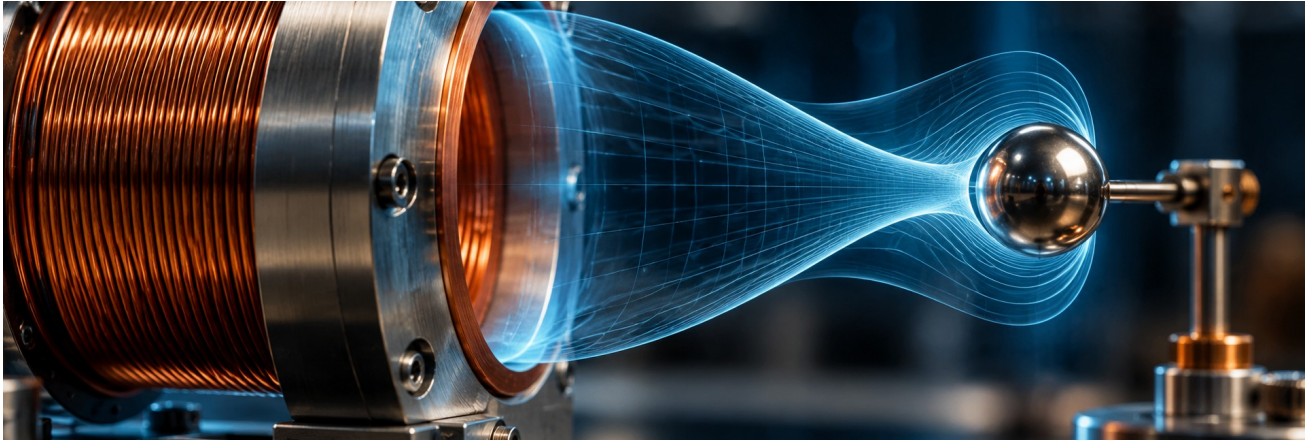
Čtvrtou kontrolou je úplný zdroj. Změna magnetické fáze může měnit vnitřní energii, teplotu, rozměry i vnější pole současně. Potenciál vzdálené aparatury závisí na její celé hmotnostní konfiguraci a multipólech. Když se měřený signál srovnává pouze s idealizovaným integrálem B^2 v malém objemu, zanedbaný materiál může být dominantním zdrojem běžné gravitace. U silně gravitačně vázaných těles by se navíc musela řešit relativistická struktura a samogravitace.

Pátou kontrolou je samotný odečet. Frekvence hodin závisí na vlastním čase i na vnitřní energetické struktuře přechodu. Síla detektoru závisí na jeho vazbě k poli a na kalibračním modelu. Metrika, skalární pole a údaje čidla nejsou stejné veličiny. Převod mezi nimi musí být odvozen celý, včetně toho, jak experiment definuje vzdálenost, čas a referenční jednotku.

Tyto kontroly neposkytují konečnou teorii, ale mají značnou sílu při vyřazování chybných návrhů. Každý kandidát, který jimi neprojde, potřebuje opravu dříve, než se budou interpretovat byť vizuálně působivá data. Odvaha nové hypotézy a pečlivost technického výpočtu se vzájemně podporují.

31 Analytický most mezi invariantem a silou

Co lze odvodit v přesně omezené aproximaci



Předpověď síly vyžaduje zdroj, detektor i jejich vzájemnou geometrii. Generativní ilustrace.

Prohlubme nyní hypotézu jedním konkrétním výpočtem. Uvažujme slabé pole kolem $\varphi = 0$, zanedbatelné prostorové změny kinetické normalizace a kanonické pole $\chi = \sqrt{K} \varphi$, kde $K = 1 + 6\beta^2$. Přímá vazba elektromagnetického pole na χ má pak koeficient $d\gamma/\sqrt{K}$. V racionalizovaných přirozených jednotkách definujeme $u_B = B^2/2$ a $u_E = E^2/2$. Pouze přímý elektromagnetický příspěvek ke zdroji lze v této aproximaci zapsat jako hustotu úměrnou $u_B - u_E$.

$$\sigma_{\chi}^{\text{EM}} = \frac{d_{\gamma}}{M_P \sqrt{K}} (u_B - u_E), \quad K = 1 + 6\beta^2$$

Při statické rovnici $(\nabla^2 - m\chi^2)\chi = \sigma_{\chi}$ je řešení záporným integrálem zdroje s Yukawovým jádrem. Jestliže je zdroj malý proti vzdálenosti detektoru i proti dosahu, lze jeho přímý elektromagnetický skalární náboj přibližně nahradit objemovým integrálem. Dostaneme $Q_{\text{EM}} = d\gamma(u_B - u_E)/(M_P \sqrt{K})$. To je přesnější vyjádření tvrzení, že stejně velká čistě elektrická a magnetická energie mohou v tomto členu mít opačný účinek.

Testovací těleso s hmotností m_t reaguje prostřednictvím $q_t = M_P \partial \ln(m_t)/\partial \chi$. Po dosazení $M_P^{-2} = 8\pi G$ dostáváme pro velikost radiálního příspěvku následující podepsanou složku; kladné a_r znamená směr ven od zdroje. Převod do SI je ve vzorci uveden explicitně.

$$a_r^{\text{EM}} = -\frac{2Gq_t d_{\gamma}}{\sqrt{K}} \frac{u_B - u_E}{c^2 r^2} \left(1 + \frac{r}{\lambda}\right) e^{-r/\lambda}$$

Záporné znaménko tedy označuje přitažlivost pro kladný součin $q_t d\gamma(u_B - u_E)$. V tomto limitu je poměr k gravitačnímu řádovému odhadu čistě magnetické energie $\kappa = 2q_t d\gamma/\sqrt{K}$. Nejde o dva libovolné nezávislé zesilovače: q_t vyplývá z celé akce a složení detektoru a podléhá dalším experimentálním mezím.

Výsledek má zásadní omezení. Je to příspěvek přímé vazby pole, nikoli úplná síla od reálné cívky. Materiál zdroje nese vlastní skalární náboj a změnou stavu může měnit teplotu, napětí i složení energie. Pro konečný objem se musí zachovat integrál a případná dynamika. Pokud zdroj není malý proti λ , jednoduchý bodový náboj Q_{EM} nestačí. Rovněž předpokládáme, že okolí nestíní nebo nelineárně nemění skalární pole.

Tento výpočet přesto dává hypotéze konkrétní obsah. Stanoví závislost na energii, znaménku invariantu, dosahu i materiálu detektoru a propojí fenomenologické κ s parametry demonstrativního modelu. Další odborný krok může tato pravidla potvrdit, zpřesnit nebo nalézt jejich nepoužitelnost v realistické konstrukci. V každém případě už jde o kontrolovatelný matematický problém.

32 Výzkumná cesta od této studie dál

Co přesně zbývá vypočítat a změřit



Výzkumná cesta pokračuje výpočtem prototypem a měřením. Generativní ilustrace.

Jednou z navazujících teoretických úloh bude: kanonická normalizace demonstrativní akce v konkrétním pozadí, úplný soubor vazeb na atomovou hmotu a správné zdrojové funkcionály pro zvolené konfigurace. Následuje numerické řešení pole pro konečnou geometrii včetně detektoru, zdroje, stínění a okolí. Jen tak lze převést autorský návrh na předpověď v měřených jednotkách.

Druhý krok je společné vyhodnocení již existujících mezí. Je nutné omezit parametry stejným modelem napříč testy volného pádu, krátkodosahovými silami, fotonovými experimenty a hodinami. Pokud je životaschopná oblast pod šumem všech realistických přístrojů, závěr musí být negativní pro daný experimentální koncept. Výpočet ukáže, které konfigurace má smysl dále rozpracovat a jaké nové otázky jejich porovnání otevírá.

Třetí krok je metrologický prototyp s cílem změřit rušení. Nejprve se mohou testovat běžné mechanické, elektromagnetické a tepelné přenosy bez nároku na detekci nové síly. Jeho úspěchem bude věrohodný chybový rozpočet a doložená citlivost v reálné konfiguraci. Z teoreticky nejlepší citlivosti osamocенého senzoru se takový rozpočet odvodit nedá.

Pozdější důkazní etapa může navázat předem registrovaným experimentem a nezávislým opakováním. Zdrojový model, kalibrace, vylučovací pravidla a analýza musí být veřejně přezkoumatelné. Pokud vznikne anomálie, nejdříve se hledá její fyzikální podpis a testuje se novými konfiguracemi. Výklad musí zůstat přiměřený tomu, co data skutečně rozlišují.

Rešerše této studie použila například dotazy Einstein Maxwell stress energy, quantum exchange magnetism, Gertsenshtein photon graviton conversion, dilaton equivalence principle a gravity mediated entanglement, doplněné názvy experimentů. Vyhledávání bylo rozšiřováno přes související články a citované původní práce. Uvedené prameny umožňují dohledat jak experimentální základy, tak spor o interpretaci nejnovějších návrhů. Přístup k plným textům nebyl jednotný; některé informace byly ověřeny z autorských abstraktů a institucionálních záznamů. Úplné numerické znovuvyhodnocení publikovaných dat ani nezávislé zopakování experimentů provedeno nebylo.

Co tedy zatím víme? Magnetismus má propracovaný relativistický a kvantový popis. Gravitace má velmi úspěšný geometrický popis a použitelnou nízkoenergetickou kvantovou efektivní teorii. Jejich známá vzájemná vazba je skutečná, ale definitivní společný mikroskopický původ doložen není. EveryThink zde otevírá několik možností hlubšího vysvětlení a jednu rozvíjí do matematického prototypu. V této fázi je jeho přínosem mapa otázek, souvislostí a dalších kroků. Prostor pro objev zůstává otevřený; případné důkazy přijdou v navazující etapě výzkumu.

33 Otázky které mění směr hledání

Od pomalého pádu k podstatě společného mechanismu



Nové otázky začínají změnou pohledu na známé uspořádání. Generativní ilustrace.

Vraťme se k prvnímu obrazu: magnet prochází mědí a jeho pohyb se výrazně mění. Právě podobná zkušenost může být začátkem otázky, která přesáhne původní pokus. V MAGNITACI nyní rozšiřujeme prostor hledání. Zajímá nás, zda vztah mezi pohybem, prostředím a polem může ukázat něco podstatného také o gravitační vazbě. Smyslem této části je nabídnout konkrétní myšlenkové cesty, které se dají dále rozvíjet. Jejich názvy slouží orientaci v našem výzkumu; samy o sobě nepředstavují nárok na historicky nový objev.

První nečekaná otázka přesouvá pozornost od materiálu k ději. Co když důležitou veličinou není samotná přítomnost mědi, ale způsob, jakým soustava reaguje v čase? Stejný magnet a stejná trubice mohou mít při stejné okamžité poloze i rychlosti jinou minulost pohybu a jiné přetrvávající proudy. Dvě situace, které na fotografii vypadají totožně, pak nemusejí být fyzikálně totožné. Výzkum může sledovat právě rozdíl mezi okamžitým stavem a historií odezvy. Tím otevíráme větev HCu-M, zaměřenou na paměť prostředí.

Druhá otázka se týká vazby tělesa k okolí. Co když některá gravitační vlastnost souvisí také s tím, v jakém společném stavu se nachází magnet, vodič a jejich elektromagnetické pole? Taková možnost má jiný obsah než tvrzení, že veškerá přitažlivost Země jednoduše zeslábně. Může uvažovat změnu pasivní gravitační vazby konkrétního objektu v určitém prostředí. Tuto otevřenou větev označíme HCu-G. Jejím prvním cílem bude určit, kterou vlastnost stavu by mělo smysl sledovat a jak by se projevila ve více konfiguracích.

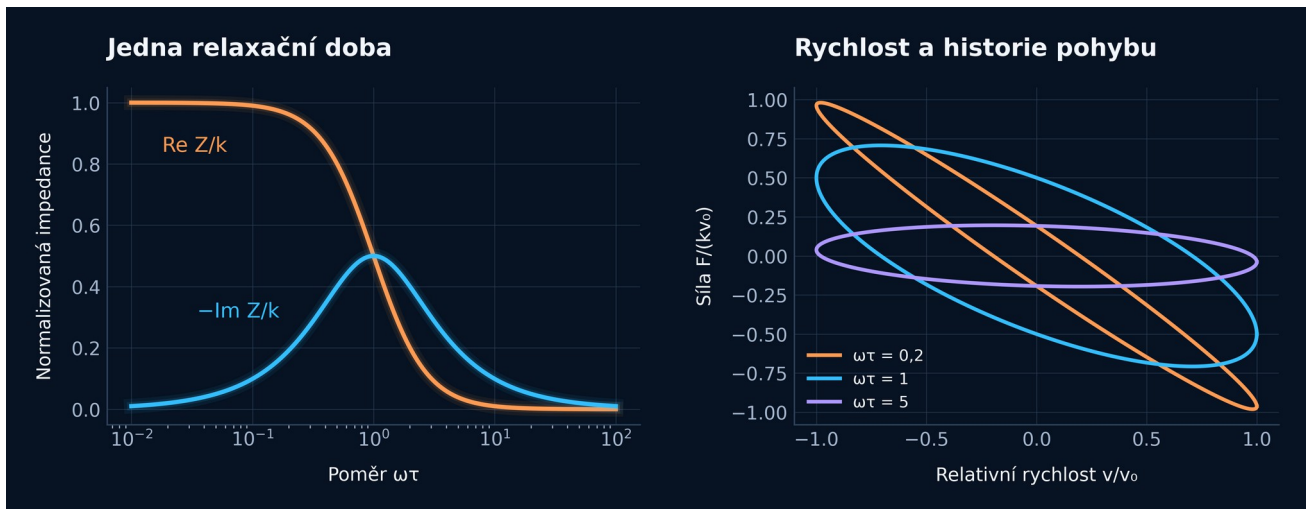
Třetí otázka obrací pozornost k hranicím. Co když vztah mezi místním pohybem a celkovým uspořádáním soustavy nese další informaci? Uzavření proudové dráhy, připojení vnějšího obvodu nebo změna vzdáleného zakončení mohou ovlivnit možné módy pole a jejich časový vývoj. Známa elektrodynamika již podobné závislosti obsahuje. Výzkumná větev HCu-B se ptá dál: může mít některá z těchto struktur současně přesně vyčíslitelný gravitační důsledek, případně důsledek přesahující dosavadní model? Užitečné bude hledat konfigurace, které oddělí místní materiálovou změnu od změny celkové odezvy.

Čtvrtá otázka míří ke společnému původu. Co když elektromagnetická odezva a geometrický popis gravitace vznikají jako různé projevy hlubšího systému? Pak by měděná trubice mohla sloužit jako názorné východisko pro hledání této struktury, i kdyby její běžný pohyb plně odpovídal indukčnímu výpočtu. Větev HCu-U bude hledat společné mikroskopické proměnné a způsob, jak z nich odvodit oba makroskopické popisy. Výsledkem by mohla být nová interpretace známých rovnic, další vztah mezi jejich koeficienty nebo nová předpověď.

Tyto čtyři směry můžeme zkoumat současně, protože se dotýkají různých částí problému. Paměť prostředí sleduje čas; stavová vazba sleduje vztah objektu a okolí; hranice sledují celkové uspořádání; společný původ sleduje hlubší úroveň popisu. V této fázi je užitečné rozpracovat jejich nejjednodušší verze a zaznamenat, které předpoklady přidávají. Následující kapitoly dávají dvěma z těchto otázek první výpočetní tvar a čtvrté konkrétní teoretický úkol.

34 Paměť prostředí jako první výpočetní cesta

Jak může stejná okamžitá rychlost skrývat jinou fyzikální situaci



Obr. 10 Analytický model paměťové odezvy s exponenciálním jádrem. Vlevo reálná a záporná imaginární část Z/k při konvenci $\exp(i\omega t)$. Vpravo síla při harmonické rychlosti pro tři hodnoty $\omega\tau$. Jde o vlastní výpočet pro zvolený prototyp; parametry nejsou určeny z měření měděné trubice.

Základní přiblížení $F = -kv$ spojuje sílu pouze s okamžitou rychlostí. Obecnější lineární popis dovoluje, aby síla závisela na předchozím relativním pohybu magnetu vůči vodiči. Kauzální paměťové jádro $\Gamma(s)$ přiřazuje různým časovým odstupům různou váhu. Pro malý pohyb kolem zvoleného pracovního uspořádání můžeme psát následující jednorozměrnou rovnici. V úplném popisu se mohou objevit tenzory, prostorové závislosti a další stavové veličiny.

$$F_{\text{prostř}}(t) = - \int_0^\infty \Gamma(s) v_{\text{rel}}(t-s) ds$$

Zde s označuje kladné časové zpoždění, v_{rel} relativní rychlost a $F_{\text{prostř}}$ sílu prostředí na magnet. V SI má Γ rozměr kg/s^2 . Závislost na minulosti lze odvodit také v modelech, které popisují sledovaný objekt společně s mnoha stupni volnosti okolí a potom okolí matematicky eliminují. Caldeira a Leggett rozpracovali tento postup pro zvolený model kvantového Brownova pohybu. Pro naši úlohu je to metodický nástroj; konkrétní jádro měděné trubice by vyžadovalo vlastní elektromagnetický a materiálový výpočet. [52]

První řešitelný prototyp zvolí exponenciální jádro. Parametr τ označuje jedinou relaxační dobu a k kladnou velikost nízkofrekvenční odezvy. Stejný model lze přepsat pomocí pomocné veličiny w , která má rozměr rychlosti. Při harmonické konvenci $\exp(i\omega t)$ je poměr mezi zápornou silou a rychlostí komplexní impedance $Z(\omega)$.

$$\Gamma(s) = \frac{k}{\tau} e^{-s/\tau}, \quad s \geq 0, \quad \tau \dot{w} + w = v_{\text{rel}},$$

$$F_{\text{prostř}} = -kw, \quad Z(\omega) = \frac{k}{1 + i\omega\tau}$$

Reálná část Z/k je $1/[1 + (\omega\tau)^2]$, imaginární část je $-\omega\tau/[1 + (\omega\tau)^2]$. Při velmi pomalé změně se v_{rel} blíží w a získáváme přibližně okamžitý odpor. Při rychlejší změně se objeví výrazný fázový posun. Dva průchody se stejnou okamžitou rychlostí tak mohou mít jinou sílu, protože jejich w je jiné. Na grafu proto vykresluje časovou smyčku mezi rychlostí a odezvou.

Model dovoluje přesně sledovat energii. Pomocnému stupni přiřadíme $E_{\text{pam}} = k\tau w^2/2$. Z rovnice pro w plyne $dE_{\text{pam}}/dt = kwv_{\text{rel}} - kw^2$. Mechanický výkon síly na magnet je $-kwv_{\text{rel}}$; po přičtení změny E_{pam} zbývá $-kw^2$. Energie se

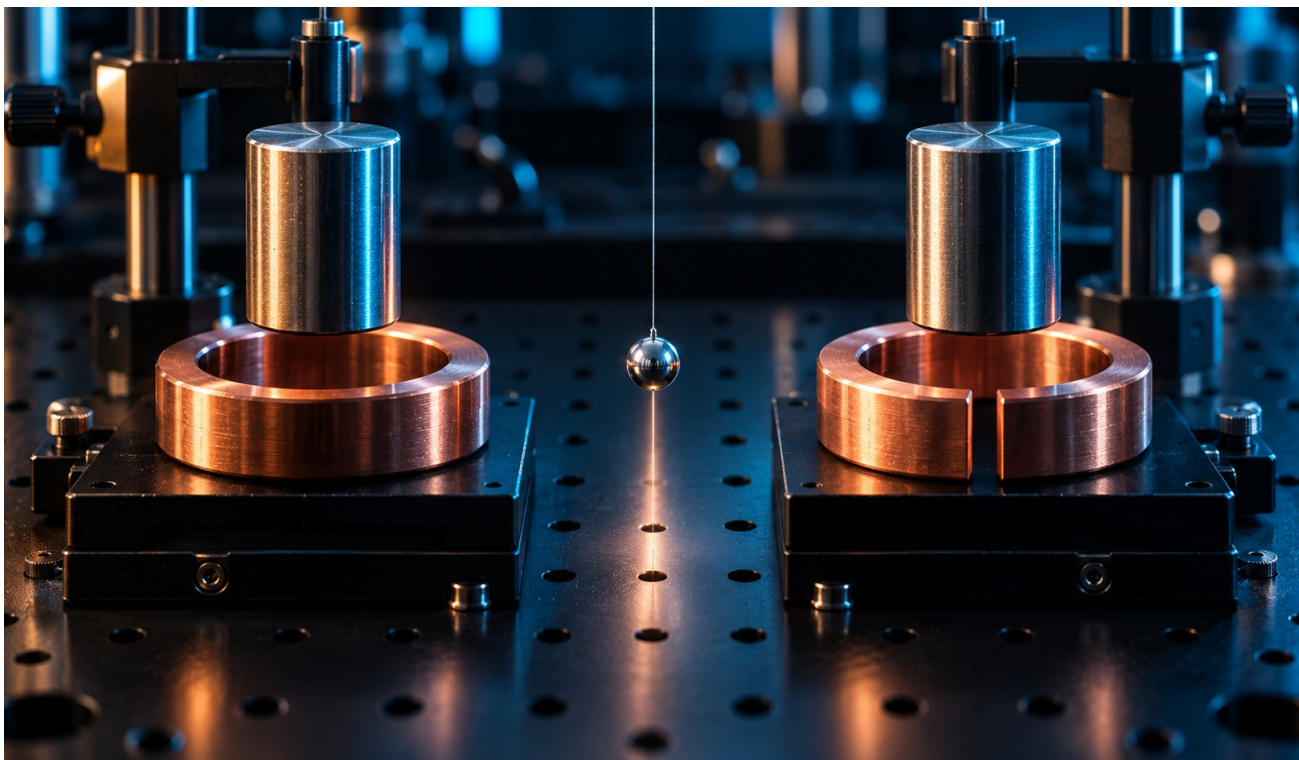
může po část pohybu vracet z pomocného stupně do magnetu, zatímco celková disipace tohoto pasivního prototypu zůstává nezáporná. Tato bilance je vlastním odvozením pro zvolený model, nikoli novým měřením.

Co tím získává původní otázka? Můžeme hledat, zda nějaká hlubší gravitační vazba sleduje okamžitou rychlost, uloženou energii, historii proudů nebo jinou veličinu. Samotný fázový posun má již vysvětlení v odezvě prostředí; nová větev by mohla předpovědět další vztah, například shodnou relaxační strukturu v elektromagnetickém a nezávislém gravitačním kanálu. Přesná amplituda a prostorová závislost by se teprve odvozovaly. Takto formulovaná možnost ponechává prostor hledání a současně ukazuje, které veličiny chybějí.

Kuboova teorie lineární odezvy propojuje za příslušných rovnovážných podmínek disipativní odezvu s časovými korelacemi fluktuací. To nabízí ještě jinou otázku: může být vedle průměrné síly užitečná také struktura šumu a její změna se stavem materiálu? V počátečním programu můžeme měřit odezvu i korelace a hledat jejich společný popis. Pro silně řízený nerovnovážný stav bude třeba použít odpovídající zobecnění rovnovážného vztahu. [51]

35 Gravitační vazba závislá na stavu soustavy

Pracovní parametrizace pro hypotézu HCu-G



Různé připravené stavy mohou být výchozím bodem porovnání. Generativní ilustrace.

Rozpracujme možnost, kterou původní intuice přímo nabízí: vztah magnetu a vodiče mění některou gravitační vlastnost magnetu. První otázka zní, zda chceme popisovat změnu zdrojového gravitačního pole, nebo změnu odezvy magnetu na vnější gravitační pole. Zvolme nyní druhou variantu. Pro slabé, přibližně homogenní vnější pole a jednoznačně připravený stav definujeme fenomenologický poměr pasivní gravitační hmotnosti m_g k setrvačné hmotnosti m_i .

$$\frac{m_g(Q)}{m_i(Q)} = 1 + \varepsilon Q, \quad \delta \mathbf{a}_g = \varepsilon Q \mathbf{g}$$

Veličina Q je bezrozměrný parametr stavu a ε zatím neurčený koeficient. Symbol $\delta \mathbf{a}_g$ označuje pouze navržený dodatečný gravitační příspěvek v tomto slabopolním popisu; celkové zrychlení magnetu zahrnuje také elektromagnetické a další síly. Tím dostává HCu-G první konkrétní obsah. Je to pracovní parametrizace pro další odvozování. Její úplná dynamická verze by musela určit vývoj Q , působení na ostatní části soustavy a energetickou bilanci.

Jednou z možností pro Q může být normalizovaná změna energie indukovaného pole, tedy $Q = (U_{\text{ind}} - U_{\text{ind},0})/U_*$, kde U_* je pevně zvolená referenční energie. Jinou možností může být stavová veličina popisující proudovou korelaci nebo relaxační mód. Každá volba znamená jinou hypotézu. Referenční normalizace sama novou fyziku nevytváří: při změně U_* se odpovídajícím způsobem přepočte ε . Potřebujeme najít fyzikální důvod, proč by právě zvolená veličina vstupovala do gravitační vazby.

Taková úvaha vede k nečekanému porovnání. Lze připravit dvě konfigurace s podobnou průměrnou magnetickou energií a teplotou, ale jiným časovým průběhem proudů? Lze vnějšími cívkami reprodukovat část pole bez stejné měděné stěny? Lze změnit relaxaci obvodu při zachování geometrie prostoru, kterým magnet prochází? Tyto otázky pomáhají rozhodnout, zda hledaná vlastnost souvisí především s energií, materiálem, proudovou

strukturou nebo historií přípravy. Každá realizace samozřejmě změní i některé známé příspěvky; právě jejich společná charakterizace umožní porovnání.

Rozlišení setrvačné a gravitační odezvy by vyžadovalo více než jedinou dráhu pádu. Setrvačnou odezvu lze zkoumat malým kalibrovaným mechanickým buzením ve vhodném směru a frekvenčním rozsahu. U systému s pamětí však takto měříme dynamickou přenosovou funkci; její fázovou složku nelze bez modelu označit za změnu klidové hmotnosti. Gravitační kanál může samostatně sledovat diferenciální sílu ve známém vnějším poli. Smyslem je vybudovat dva dostatečně nezávislé popisy téhož připraveného stavu.

Pokud by navržená vazba ovlivňovala také jiné objekty v okolí, rozšíří se program o jejich odezvu a o prostorový dosah účinku. Pokud by se týkala pouze magnetu ve spojení s vodičem, bude klíčové vysvětlit tuto materiálovou selektivitu. Z obou možností mohou vznikat rozdílné modely. Skalární H1 z předchozích kapitol poskytuje jednu cestu k popisu vazby pole a hmoty, ale obecná HCu-G se v této fázi nemusí na tuto volbu omezovat.

Výzkumným výsledkem této kapitoly je přesnější otázka: podle jakého pravidla by mohl společný stav tělesa a okolí vstupovat do jeho gravitační odezvy? Máme první parametrizaci, možné stavové veličiny a několik způsobů jejich obměny. Další práce může hledat mikroskopický mechanismus, porovnat jeho důsledky s existujícími měřeními a postupně vybrat konfiguraci, která by měla největší rozlišovací hodnotu. Hodnotu počáteční myšlenky zde tvoří otevření této cesty.

36 Společný původ jako samostatný výzkumný úkol

Od dvou popisů k jednomu systému



Společný původ jako možnost, kterou teprve hledáme a formulujeme. Generativní ilustrace.

Nejširší větev HCU-U se ptá, zda jsou magnetismus a gravitace různými makroskopickými projevy hlubšího systému. V takové možnosti nemusí magnet gravitaci přímo vyrábět ani gravitace fungovat jako druh magnetické síly. Oba jevy mohou vznikat z vlastností téhož základu a přitom mít odlišné pozorovatelné projevy. Konkrétním cílem bude nalézt základní proměnné, jejich dynamiku a postup přechodu k měřitelným elektromagnetickým a gravitačním veličinám.

Jeden historický příklad poskytuje Sacharovova indukovaná gravitace. Jeho návrh zkoumá, zda člen gravitační akce úměrný křivosti může souviset se změnou účinné akce kvantových fluktuací při zakřivení prostoru. Text současně diskutuje analogii s indukovaným elektromagnetickým popisem. Jde o hypotézu o původu účinných rovnic, kterou lze použít jako inspiraci pro další konstrukce. Pro MAGNITACI je podstatný samotný postup: makroskopický geometrický člen zkusíme odvodit z dynamiky hlubších stupňů volnosti. [53]

První výpočetní zadání pro HCU-U může mít následující podobu. Zvolíme mikroskopický systém X a určíme jeho vazbu k elektromagnetickému poli a ke geometrii. Po matematickém odstranění proměnných X získáme účinný popis $S_{\text{eff}}[g, A]$. V příslušné aproximaci hledáme člen úměrný R , Maxwellův člen úměrný F^2 , případné smíšené členy a vztahy mezi jejich koeficienty. Zvláště zajímavé by bylo, kdyby tentýž mechanismus předpověděl vazbu mezi měřitelnými parametry obou sektorů.

V tomto programu lze klást další konkrétní otázky. Které vlastnosti systému X by určovaly gravitační konstantu a které elektromagnetickou vazbu? Zachová se vzniklý popis při změně stavu nebo hranic? Zůstává relativistická symetrie přesná, nebo se objevuje jen v určitém režimu? Jak vzniká gravitační odezva různých forem energie včetně energie silné interakce? Tyto otázky určují obsah navrhovaného společného základu a pomáhají vybrat nejjednodušší model pro první výpočet.

Vedle středních hodnot mohou být zajímavé také korelace. Hu a Verdaguer v rámci stochastické gravitace rozvíjejí popis, v němž k průměrnému tenzoru energie a hybnosti přistupují jeho fluktuace. Používají přitom nástroje otevřených systémů a účinného působení prostředí. Pro naši další práci je to souvislost mezi statistickou odezvou

látky a geometrickým popisem. Tento rámec má vlastní předpoklady a v uvedené práci není odvozen nový gravitační účinek měděné trubice. [54]

Větev HCu-B pak může položit otázku, jak se společný účinný popis mění s hranicemi. V obvodu lze upravovat odpor, indukčnost a propojení proudových drah. U pole lze zkoumat změnu spektra módů. U gravitačního popisu lze sledovat příspěvky energií, napětí a jejich korelací. Hledáme pravidlo, které by tyto změny spojovalo, případně ukázalo další vazbu. Každý kandidát může nejprve vzniknout jako dílčí řešitelný model, na kterém si ujasníme, co přesně z něj plyne.

Počáteční výzkum propojuje myšlenkové zkoumání, matematické prototypy a průzkumná měření. Hledáme proměnné, vztahy a režimy, které stojí za další pozornost. Až bude některá možnost dostatečně rozpracována, může následovat samostatná potvrzovací etapa. MAGNITACE zůstává živým výzkumným programem s magnetem a mědí jako konkrétním začátkem. Jeho další cesta vede přes paměť prostředí, stavovou odezvu a strukturu polí k otázce hlubšího společného principu. Nyní rozpracováváme více možností: určujeme jejich předpoklady, odvozujeme důsledky a hledáme další souvislosti. Přesně položená otázka nás přitom může dovést i jinam, než jsme očekávali na začátku.

Vědecké prameny

Číslování odpovídá odkazům v textu. Online podklady byly ověřeny 22. října 2026. Původní výzkum doplňují odborné přehledy a výukové zdroje. Bibliografie není vyčerpávajícím soupisem veškeré literatury.

- [1] Maxwell J C 1865. A dynamical theory of the electromagnetic field. *Philosophical Transactions* 155, 459–512.
Historická původní práce / <https://doi.org/10.1098/rstl.1865.0008>
- [2] Tong D 2015. Lectures on IB Electromagnetism. University of Cambridge.
Autorský výukový zdroj / <https://www.damtp.cam.ac.uk/user/tong/justem.html>
- [3] Heisenberg W 1928. Zur Theorie des Ferromagnetismus. *Zeitschrift für Physik* 49, 619–636.
Historická původní práce / <https://doi.org/10.1007/BF01328601>
- [4] Fan X a kol 2023. Measurement of the Electron Magnetic Moment. *Physical Review Letters* 130, 071801.
Experiment / <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.130.071801>
- [5] Krempaský J a kol 2024. Altermagnetic lifting of Kramers spin degeneracy. *Nature* 626, 517–522.
Experiment a výpočet / <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06907-7>
- [6] Castelnovo C, Moessner R, Sondhi S L 2008. Magnetic monopoles in spin ice. *Nature* 451, 42–45.
Teoretická původní práce / <https://doi.org/10.1038/nature06433>
- [7] Mitsou V A 2026. Magnetic monopoles: from Dirac to the Large Hadron Collider. arXiv 2605.02869, verze 2 z 11 října 2026.
Odborný přehled / <https://arxiv.org/abs/2605.02869v2>
- [8] ATLAS Collaboration 2024. Search for magnetic monopole pair production in ultraperipheral Pb+Pb collisions at 5.36 TeV. arXiv 2408.11035.
Experimentální analýza / <https://arxiv.org/abs/2408.11035>
- [9] Carroll S M 1997. Lecture Notes on General Relativity. arXiv gr-qc/9712019.
Autorský výukový zdroj / <https://arxiv.org/abs/gr-qc/9712019>
- [10] LIGO Scientific Collaboration a Virgo Collaboration 2016. Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. *Physical Review Letters* 116, 061102.
Pozorování / <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.061102>
- [11] LIGO, Virgo, Fermi GBM a INTEGRAL 2017. Gravitational Waves and Gamma-rays from a Binary Neutron Star Merger: GW170817 and GRB 170817A. *Astrophysical Journal Letters* 848, L13.
Pozorování a test teorie / <https://arxiv.org/abs/1710.05834>
- [12] Touboul P a kol 2022. MICROSCOPE Mission: Final Results of the Test of the Equivalence Principle. *Physical Review Letters* 129, 121102.
Experiment / <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.129.121102>
- [13] Everitt C W F a kol 2011. Gravity Probe B: Final Results of a Space Experiment to Test General Relativity. *Physical Review Letters* 106, 221101.
Experiment / <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.106.221101>
- [14] Lee J G a kol 2020. New Test of the Gravitational $1/r^2$ Law at Separations down to 52 μm . *Physical Review Letters* 124, 101101.
Experiment / <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.101101>
- [15] Westphal T, Hepach H, Pfaff J, Aspelmeyer M 2021. Measurement of gravitational coupling between millimetre-sized masses. *Nature* 591, 225–228.
Experiment / <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03250-7>
- [16] Fuchs T M a kol 2024. Measuring gravity with milligram levitated masses. *Science Advances* 10, eadk2949.
Experiment / <https://doi.org/10.1126/sciadv.adk2949>
- [17] ALPHA Collaboration 2023. Observation of the effect of gravity on the motion of antimatter. *Nature* 621, 716–722.
Experiment / <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06527-1>
- [18] Dürr S a kol 2008. Ab initio determination of light hadron masses. *Science* 322, 1224–1227.
Numerický výpočet QCD / <https://doi.org/10.1126/science.1163233>

- [19] Melvin M A 1965. Dynamics of Cylindrical Electromagnetic Universes. *Physical Review* 139, B225.
Teoretická původní práce / <https://doi.org/10.1103/PhysRev.139.B225>
- [20] Palessandro A, Rothman T 2023. A Simple Derivation of the Gertsenshtein Effect. *Physics of the Dark Universe* 40, 101187.
Teoretické odvození / <https://doi.org/10.1016/j.dark.2023.101187>
- [21] Domcke V, Garcia-Cely C 2021. Potential of radio telescopes as high-frequency gravitational wave detectors. *Physical Review Letters* 126, 021104.
Teorie a interpretace pozorování / <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.126.021104>
- [22] Hwang J, Noh H 2024. On graviton-photon conversions in magnetic environments. *arXiv* 2310.04150, verze 2.
Teoretická analýza / <https://arxiv.org/abs/2310.04150v2>
- [23] Drummond I T, Hathrell S J 1980. QED vacuum polarization in a background gravitational field and its effect on the velocity of photons. *Physical Review D* 22, 343.
Kvantově teoretický výpočet / <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.22.343>
- [24] Ejlli A a kol 2020. The PVLAS experiment: a 25 year effort to measure vacuum magnetic birefringence. *arXiv* 2005.12913.
Experimentální přehled / <https://arxiv.org/abs/2005.12913>
- [25] Brotherton D C a kol 2025–2026. Any Light Particle Searches with ALPS II: first science results. *arXiv* 2512.14110, verze 3 z 15 května 2026.
Experimentální preprint / <https://arxiv.org/abs/2512.14110v3>
- [26] Damour T, Donoghue J F 2010. Equivalence principle violations and couplings of a light dilaton. *Physical Review D* 82, 084033.
Teorie a parametrizace testů / <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.82.084033>
- [27] Donoghue J F 1994. General relativity as an effective field theory: The leading quantum corrections. *Physical Review D* 50, 3874–3888.
Kvantově teoretický výpočet / <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.50.3874>
- [28] Donoghue J F 2022–2023. Quantum General Relativity and Effective Field Theory. *arXiv* 2211.09902, verze 2.
Odborný přehled / <https://arxiv.org/abs/2211.09902v2>
- [29] Overduin J M, Wesson P S 1997. Kaluza-Klein Gravity. *Physics Reports* 283. Autorský text *arXiv* gr-qc/9805018.
Odborný přehled / <https://arxiv.org/abs/gr-qc/9805018>
- [30] Bern Z, Carrasco J J M, Johansson H 2010. Perturbative Quantum Gravity as a Double Copy of Gauge Theory. *Physical Review Letters* 105, 061602.
Teoretická původní práce / <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.105.061602>
- [31] Ashtekar A, Bianchi E 2021. A Short Review of Loop Quantum Gravity. *Reports on Progress in Physics* 84, 042001.
Odborný přehled / <https://doi.org/10.1088/1361-6633/abed91>
- [32] Jacobson T 1995. Thermodynamics of Spacetime: The Einstein Equation of State. *Physical Review Letters* 75, 1260–1263.
Teoretické odvození / <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.75.1260>
- [33] Maldacena J M 1997–1998. The Large N Limit of Superconformal Field Theories and Supergravity. *Advances in Theoretical and Mathematical Physics* 2, 231–252.
Teoretická původní práce / <https://arxiv.org/abs/hep-th/9711200>
- [34] Bose S a kol 2017. A Spin Entanglement Witness for Quantum Gravity. *Physical Review Letters* 119, 240401.
Experimentální návrh / <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.119.240401>
- [35] Marletto C, Vedral V 2017. Gravitationally-induced entanglement between two massive particles is sufficient evidence of quantum effects in gravity. *Physical Review Letters* 119, 240402.
Teoretický argument a návrh / <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.119.240402>
- [36] Carney D, Domcke V, Rodd N L 2024. Graviton detection and the quantization of gravity. *Physical Review D* 109, 044009.
Teorie kvantového měření / <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.109.044009>
- [37] Aziz J, Howl R 2025. Classical theories of gravity produce entanglement. *Nature* 646, 813. Autorská revize *arXiv* 2510.19714v3 z roku 2026.
Teoretická práce s diskutovanou interpretací / <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09595-7>
- [38] Gundhi A, Infantino G, Bassi A 2026. Can classical theories of gravity produce entanglement? *arXiv* 2604.19696, verze 3 ze 7 srpna 2026.
Kritický teoretický preprint / <https://arxiv.org/abs/2604.19696v3>

- [39] Di Biagio A 2026. Gravity-induced entanglement is not a theory-independent witness of nonclassicality of the gravitational field. *Physical Review D* 114, 084050. Publikováno 19 října 2026.
Teoretická analýza předpokladů / <https://doi.org/10.1103/r8ry-sp35>
- [40] Dobkowski O a kol 2026. Observation of the quantum phase of free fall and the consistency with the equivalence principle. *Science Advances* 12, eaec8045. Související autorský text arXiv 2502.14535.
Experiment / <https://doi.org/10.1126/sciadv.aec8045>
- [41] Filzinger M a kol 2025. Ultralight Dark Matter Search with Space-Time Separated Atomic Clocks and Cavities. *Physical Review Letters* 134, 031001.
Experimentální analýza / <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.134.031001>
- [42] Heckel B R a kol 2008. Preferred-Frame and CP-Violation Tests with Polarized Electrons. *Physical Review D* 78, 092006.
Experiment / <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.78.092006>
- [43] Will C M 2014. The Confrontation between General Relativity and Experiment. *Living Reviews in Relativity* 17, 4.
Odborný přehled / <https://doi.org/10.12942/lrr-2014-4>
- [44] NIST a CODATA. Internationally recommended 2022 values of the fundamental physical constants. Aktuálně dostupná sada ověřena 22 října 2026.
Referenční fyzikální konstanty / <https://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html>
- [45] Planck Collaboration 2016. Planck 2015 results XIX. Constraints on primordial magnetic fields. *Astronomy and Astrophysics* 594, A19.
Pozorovací analýza / <https://arxiv.org/abs/1502.01594>
- [46] Kaspí V M, Beloborodov A M 2017. Magnetars. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* 55, 261–301.
Odborný přehled / <https://doi.org/10.1146/annurev-astro-081915-023329>
- [47] Levin Y, da Silveira F L, Rizzato F B 2006. Electromagnetic braking: A simple quantitative model. *American Journal of Physics* 74, 815–817.
Teoretický model a porovnání s experimentem / <https://doi.org/10.1119/1.2203645>
- [48] Partovi M H, Morris E J 2006. Electrodynamics of a magnet moving through a conducting pipe. *Canadian Journal of Physics* 84, 253. Autorský text arXiv physics/0406085.
Analytická a numerická elektrodynamika / <https://arxiv.org/abs/physics/0406085>
- [49] Behroozi F 2018. Weighing a Magnet as it Falls with Terminal Velocity Through an Aluminum Pipe. *The Physics Teacher* 56, 474–477.
Přímé experimentální měření brzdné síly / <https://doi.org/10.1119/1.5055333>
- [50] University of British Columbia. Magnets Through Copper Tube. Katalog fyzikálních demonstrací včetně varianty s podélnou štěrbínou. Ověřeno 22 října 2026.
Primární dokumentace výukového pokusu / [Odkaz na původní zdroj](#)
- [51] Kubo R 1957. Statistical-Mechanical Theory of Irreversible Processes I. General Theory and Simple Applications to Magnetic and Conduction Problems. *Journal of the Physical Society of Japan* 12, 570–586.
Původní teorie lineární odezvy / <https://doi.org/10.1143/JPSJ.12.570>
- [52] Caldeira A O, Leggett A J 1983. Path integral approach to quantum Brownian motion. *Physica A* 121, 587–616.
Původní teorie otevřeného kvantového systému / [https://doi.org/10.1016/0378-4371\(83\)90013-4](https://doi.org/10.1016/0378-4371(83)90013-4)
- [53] Sakharov A D 1967–1968. Vacuum quantum fluctuations in curved space and the theory of gravitation. *Doklady Akademii Nauk SSSR* 177, 70–71; anglicky *Soviet Physics Doklady* 12, 1040–1041. Přetisk *Soviet Physics Uspekhi* 34, 394 (1991).
Původní hypotéza indukované gravitace / <https://doi.org/10.1070/PU1991v034n05ABEH002498>
- [54] Hu B L, Verdaguer E 2008. Stochastic Gravity Theory and Applications. *Living Reviews in Relativity* 11, 3. Autorský text arXiv 0802.0658.
Odborný přehled a teoretická odvození / <https://doi.org/10.12942/lrr-2008-3>