

<http://casopis.vesmir.cz/clanek/rozpinani-vesmihu-podle-soudobych-poznatku>

Rozpínání vesmíru podle soudobých poznatků

Důsledky obecné teorie relativity

[Jiří Jersák](#)

Publikováno: Vesmír 87, 40, [2008/1](#)

Obor: [Astronomie a kosmologie](#)

Rubrika: [Hlavní články](#)

Rozpínání vesmíru pro nás pravděpodobně bude brzy tak samozřejmě jako skutečnost, že Země obíhá kolem Slunce. Ne, nebude. Pokud se zjistí že vesmír se nerozpíná axiálně, ale rozbaluje se ze stavu velké křivosti čp do stavu malé křivosti čp Zvykneme si i na to, že lze pozorovat vzdálené galaxie, které jsou od nás rozpínáním unášeny rychlostí větší, než je rychlosť světla. Ani to možná nebude pravda, pokud se zjistí, že se vesmír rozbaluje, a tedy pokud bude poražen Hubbleův zákon potažmo a poraženo závadné vyhodnocování rudého posuvu Rozpínání vesmíru, plynoucí z obecné teorie relativity, ale i rozbalovaní plyne z OTR si vysvětlíme názorně, ale přitom se neodkloníme od základních principů této teorie.

Historie představ o rozpínání vesmíru



Brzy po objevení obecné teorie relativity v roce 1915 si Albert Einstein uvědomil, že podle této teorie se vesmír musí buď rozpínat, nebo smršťovat, ale on Vesmír dělá obojí „naráz“, z místa, které nazveme POZOROVATELNA http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/aa/aa_021.jpg do mikrosvěta se stále Vesmír „smršťuje“, tedy zabaluje se, tedy zvětšuje si své křivosti vakua (nejsem matematiky, ale měl by se toho matematik ujmout a poprat se s tím) že tedy jeho tehdejší teorie vylučuje statický vesmír. A tehdejší představa byla, že vesmír je statický. Pokusil se tento zdánlivý nedostatek odstranit dodatečným zavedením kosmologické konstanty. Svým odpudivým gravitačním působením měla statický

vesmír ochránit před zhroucením se v důsledku přitažlivé síly hmoty. Možnost rozpínání vesmíru nebral vážně. Jiní teoretikové, především Alexander Friedmann a Georges Lemaître, však tuto představu na základě Einsteinovy obecné teorie relativity a několika odvážných zdánlivějících předpokladů rozvinuli během několika let. Lemaître jako první vyslovil hypotézu o velkém třesku jako počátečním stavu vesmíru a nezávisle prohloubil Friedmannovy práce popisující rozpínání vesmíru. Willem de Sitter začal už roku 1917 vyvíjet model vesmíru ovládaného kosmologickou konstantou, v roce 1927 pak Lemaître ukázal, že se takový vesmír rozpíná.

Když Edwin Hubble roku 1929 publikoval data o růstu rudého posuvu (přírůstku vlnové délky světla) ve světelných spektrech galaxií s jejich vzdáleností, byla půda pro teoretické chápání rozpínání vesmíru na základě Einsteinovy obecné teorie relativity dobře připravena. Pak ale došlo k nešťastnému zvratu: jelikož tato teorie byla tehdy pro valnou většinu fyziků a kosmologů příliš složitá, **byla vymyšlena různá jiná rádoby „jednoduší“ vysvětlení Hubblova pozorování**, vyhýbající se důslednému použití obecné teorie relativity. Tak se do literatury a do povědomí generací dostaly **mylné představy** a některé přetrvaly dodnes. Uvedeme nejčastější z nich: (čili nejdříve ty mylné představy →)

(i) Přirovnání vzdalujících se galaxií k letícím střepinám bomby po jejím výbuchu v předem přítomném neměnném prostoru. **Ano, chyba**

(ii) Představa, že rudý posuv je způsoben Dopplerovým jevem, to jest přírůstkem vlnové délky světla v důsledku pohybu zdroje. **Ano, chyba. Znamenalo by to vést novou úvahu, zda jev rudého posuvu presentuje nikoliv axiální „přímočaré“ rozpínání časoprostoru, ale „šnekovité“ zakřivování celého vesmíru až na úroveň takového pootočení, kdy posun čar „končí“ ... a to z důvodů, že pootočení už dosáhlo hodnoty 90°.**

(iii) Snaha, často jen podvědomá, chápat rozpínání vesmíru v rámci pravidel speciální teorie relativity. **Ano, chyba , pokud... Pokud tou STR není myšleno pootočení soustav, pak chyba...**

(iv) Přesvědčení, že se rozpínání vesmíru děje v souhlasu se zákonem zachování energie. Ano, chyba

Všechny tyto nesprávné představy souhlasí s astronomickými pozorováními blízkých galaxií, a proto přežívaly dlouho. Jejich nesprávnost odhalilo teprve pozorování vzdálených galaxií a reliktního záření. Popisem těchto složitých pozorování se v tomto článku zabývat nebudeme (pozn. red.: viz např. článek Raphaela Boussa „Zamotaný půběh kosmologické konstanty“, Vesmír 78, 7, 1999/1). Jenom shrnujeme, že jejich interpretace tedy interpretace „složitých“ pozorování skutečně vyžaduje důsledné použití obecné teorie relativity. Čili jinými slovy říkáte: „*Složitá*“ pozorování můžeme a musíme vysvětlit jen důslednou interpretací OTR A ta důslednost spočívá „v čem“? Vyčkáme zda autor nám to prozradí. Vysvětlíme ale, proč jsou uvedené představy nesprávné z hlediska teoretického, tedy z hlediska obecné teorie relativity. A proč rovnou nevysvětlíte jak správně mají být „interpretaci představy“ p o z o r o v a n ý c h faktů vzdálenějších galaxií ??, proč vysvětlujete „čím a jak“ jsou vysvětlovány nesprávně? Nejprve jen stručně (stručně tedy ty správné představy dle OTR):

(i) Rozpíná se sám prostor, galaxie se v něm téměř nepohybují. A tato hypotéza, toto >tvrzení< se zjistilo „oním důvěršným použitím OTR“ ?? ...Ano, nebo ne?

Kde jsou experimentální důkazy? Je spoustu rádoby-fyziků, kteří velkohubě vykřikují, že každá teorie musí být experimentálně potvrzena, jinak že je to jen blábol, jen pochybné lidové myšlení, jinak to je stále jen názor stojící na vodě (A laikové takové názory nesmí používat v debatě v *jistých debatních fórech* ..., není-li názor experimentem potvrzen).

Můj názor je: 4asoprostor se rozpíná různě na různých „škálách-vrstvách“ stavů čp. Prvotní časoprostorová pěna po Třesku zůstává „„dole“““ na Planckových škálách >stejná<, a „„výše“““ se rozpíná do „otevřenějších stavů“; na „nižších stavech“ zůstává zakřivená do pěny.

(ii) Růst vlnové délky světla je způsoben rozpínáním prostoru během jeho letu prostorem, a ne domnělým pohybem galaxií. Růst vlnové délky světla (po aktu emise hmotným útvarem vzdáleným) je důsledkem pootočení soustav (emitenta a pozorovatele) od chvíle emise do chvíle zachycení. Ve chvíli emise už je

„nastaveno“ pootočení zdroje, jeho vlastní soustavy a emitované záření, foton „nabral“ to stejnou soustavu emitenta, stejně natočenou a vydal se k pozorovateli ; foton ovšem cestou při rychlosti cílé už soustavu „sejmutou“ nepootáčí. Dorazí k pozorovateli foton se stejným natočením jako bylo v době emise.

Tedy : růst vlnové délky není způsoben rozpínáním prostoru, ani dopplerovým efektem, ale pootáčením soustav. Všichni emitenti, tedy hvězdy, galaxie, rozeseté po vesmíru už v čase „t“, plavou v jisté křivosti čp, a tato globální křivost se mění, nikoliv nějaké falešné rozpínání prostoru....

(iii) Speciální teorie relativity je pro velké vzdálenosti nepoužitelná. Nesouhlas ! Právě STR vysvětuje a předvádí ono pootáčení soustav. STR je nepoužitelná pro vás, protože vy máte „jiná“ vysvětlení rozpínání vesmíru, než takové, že : „rozpínání je pouze jevem na průměrně pozorovatele, jevem „pootáčení“ soustav (až se od pozorovatele čp pootočí natolik, že pootočení je 90° , pak mluvíme o „horizontu konce světa“, že ze větší vzdálenosti se k nám světlo nedostane. Nikoliv z důvodu rychlosti, anebo >rozpínání< ale z důvodů že časoprostor se už pootočil natolik, že

(iv) Energie se při rozpínání vesmíru nezachovává. O.K. Geneze Vesmíru podle Principu střídání symetrií s asymetriemi spěje k posloupnosti kde hmota stále vzniká. Protože hmotné artefakty jsou „vlnobalíčkováním“ samotných dimenzí veličin X a T



Pro podrobnější vysvětlení je třeba vrátit se k té složité obecné teorii relativity, to jest k teoretickým představám o rozpínání vesmíru starým v roce 2007 už 80 let! Čili se vracíte stále k p ř e d s t a v á m už 80 let. Kde máte důkazy ? a experimenty ? Představy se mění..., já těch představ o Vesmíru čtu každoročně 10-20. A to nečtu všechny co se zrodily. Naštěstí astronomická pozorování odhalila nic proti pozorování, ale víme všichni že každé pozorování může být falešné i n t e r p r e t o v á n o ! Všechna pozorování za 2000 let byla špatně interpretována !!, a postupně vždy byla interpretace pozorování opravována, vylepšována, zdokonalována. VŽDY ...naprosto vždy. !! mezitím několik vlastností vesmíru, které použití této teorie k popisu rozpínání vesmíru nesmírně zjednoduší. Pozorování to neodhalila, ale nové

interpretace (lidského mozku) to odhalily ! Proto se pokusíme vysvětlit skutečnou ?? a ..a tu „skutečnou“ pozmění dějiny fyziky zase, příště...anebo že by to byla už poslední interpretace a konečná a dokonalá a neopravitelná ???, to by jeden fyzik jásal až do nebe. podstatu rozpínání vesmíru i bez použití matematického aparátu obecné teorie relativity. Dobrá, vysvětluje. Některá ze zmíněných novějších astronomických pozorování a poněkud odbornější aspekty jsou popsány v souběžném článku v Čs. časopisu pro fyziku [1]. V obou článcích navazujeme a v mnohých podrobnostech také odkazujeme na nedávný článek J. Langra [2] ve Vesmíru o reliktním záření. čímž je „skutečná podstata vysvětlena, že ?

Kosmologický princip

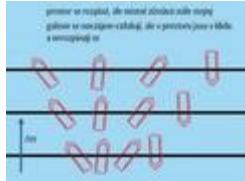
Dnes je představa velkého třesku ověřená řadou pozorování, (pozorování je jedna věc, a interpretace takového pozorování věc druhá. Já pozoruji na Komorní Hůrce kouř ze země.., interpretace je že dole je Peklo a čerti ...) z nichž nejpřesvědčivější je pozorování reliktního záření, viz [2]. Reliktní záření není důkazem „rozpínání“ časoprostoru bez vlivu gravitace galaxií na sebe !!, ani důkazem temné energie či temné hmoty Stáří vesmíru je určeno na necelých 14 Gyr (Gyr = giga year = 10^9 let, tj. miliarda let). Pro srovnání uvádíme, že naše galaxie je stará asi 10 Gyr a sluneční soustava asi 4,5 Gyr, jsou to tedy stáří srovnatelná. „Srovnatelnost“ stáří opět nedokazuje „rozpínání vesmíru, respektive rozpínání samotného časoprostoru bez účasti galaxií tedy bez účasti gravitace. Výklad článku se stále odkládá od původního záměru „vysvětlit“ ono rozplínání, Hubbleho rozpínání. Reliktní záření vzniklo pouze necelých 0,0004 Gyr (380 tisíc let) po velkém třesku, a proto poskytuje pohled na velice mladý vesmír. Jistě, ale reliktní stáří nevysvětluje ono „rozpínání“ !!! Reliktní záření může vysvětlovat (a to velmi silně) moje pravidlo o střídání symetrií s asymetriemi, a tedy onu „proměnu“ počáteční pěny čp na následné stavu čp která se „narovnává“ ale přitom sama zůstává „na své úrovni“ pěnou a to dodnes... Ano, rozpínání čp je „narovnáváním“ časoprostorové pěny, ovšem tak, že „nižší úrovňě“ stavu čp zůstávají a rodí se „vyšší stavu“ křivostí čp → méně křivé, které „plavou“ v křivějších stavech čp... ; vesmír se dle principu střídání symetrií s asymetriemi mění na vějířově košatý strom stavů křivostí.

Opakuji : Kosmologický princip (dle představ fyziků dneška) nevysvětluje zahájené téma článku : rozpínání Vesmíru. A opakuji, že „kosmologický princip“ má málo společného s nějakým reliktním zářením, tak jak ho ve vizích vidí dnešní fyzikové.

Prostorové vzdálenosti ve vesmíru jsou pro nás zcela nepředstavitelné, ať je udáváme v metrech, kilometrech nebo světelných letech. Vhodnou jednotkou vzdálenosti v kosmologii je teprve miliarda světelných let (Gly = giga light year = 10^9 světelných let). O.K....a jak to souvisí s kosmologickým principem ? jsem jedno ucho zda to bude objasněno „jak“ tyto vzdálenosti souvisí s tímto kosmologickým principem... Astronomové běžně pozorují galaxie a jejich předchůdce, kvasary, na vzdálenosti přes 20 Gly. Poloměr části vesmíru, která je pro nás pozorovatelná, je zhruba 46 Gly. Aha, ? Je to vzdálenost, na které se dnes nachází pozůstatek zdroje reliktního záření, které pozorujeme. Až tam daleko je RZ ?? Celý „obal“ vesmíru je tedy tím „reliktním zářením“ a tedy celý obal „nezadnější“ se pohybuje od nás rychlostí téměř cée, a tedy celý obal vesmíru námi pozorovaný, horizont, je starý jen sekundu od vzniku, a to stále a sále tu jednu sekundu (?) Pak vyletělo ve stáří 380 000 let z RZ světlo, letělo rychlostí cée a tím pádem „signál nestárnul“ a doletěl, ten signál starý jen „jednu sekundu“. Báječné. Všechno ve vesmíru stárlo tempem „pozemského stárnutí“, ale signál sám nestárnul. Rozpínal se prý jen prostor (časoprostor) a proto signál nestárnoucí nestačil stíhat objekty (sluneční soustavu) které furt stárlý a stárlý vlastně tím nejrychlejším tempem jaké známe. - - Dobrá..., na horizontu vesmíru je stáří stále konstantní, tedy sekundu od Třesku a vše “dovnitř“ vesmíru mění tempo stárnutí na ono tempo rychlejší a rychlejší...; ano, nebo ne ? při rychlejším a rychlejším rozpínání čp. ; (?) Soudobá doktrína kosmologů, že se rozpíná jen prostor. A co experimenty ? důkazy ? I já si umím vymyslet bláboly... Dál zatím nedohlédneme než na „okraj nedohledna“ [2]. V celém článku se budeme zabývat jen touto částí vesmíru, ale pro stručnost budeme většinou psát prostě „vesmír“.

Kosmologie se zabývá především vlastnostmi vesmíru na současných kosmologických škálách, to jest zhruba na vzdálenostech srovnatelných nebo větších než 1 Gly. Na těchto škálách jsou rozměry objektů pozorovaných na obloze jen nepatrné. Typický průměr galaxií (o hvězdách ani nemluvě) je jen asi 0,0001 Gly (100 000 světelných let) a jejich kup okolo 0,001 Gly. Ve srovnání s kosmologickými škálami jsou tedy galaxie pouhé nepatrné částečky prachu (viz obrázek 1), jejichž

struktura nehraje v kosmologii žádnou roli, takže si na kosmologických škálách můžeme představit vesmír jako prostor naplněný řídkým oblakem prachu. **Kdybych byl pozorovatelem o velikosti 10^{-33} metru, jakou hustotu baryonní hmoty bych pozoroval do kosmologických škál a jakou do mikrokosmu, tj. ve vakuu ??**



Astronomická pozorování tohoto „prachu“ (čp s galaxiemi)

naznačují, že jeho hustota je všude stejná ([obrázek 2](#)). **Ale i hustota plazmatu, je po Třesku všude stejná** Také reliktní záření k nám dopadá ze všech směrů s téměř stejnou [1\)](#) teplotou: okolo $T = 2,7$ K.

Tato pozorování vedou k hypotéze, že vlastnosti vesmíru jsou na kosmologických škálách všude stejně. Hypotéza bývá nazývána kosmologický princip (nebo také Koperníkův princip), čímž se zdůrazňuje domněnka, že část vesmíru, kterou obýváme, není ničím mimořádná.

Vesmír je na kosmologických škálách velice jednoduchý, **a na planckových škálách je jaký, myslím také tak jednoduchý..**

Podle této hypotézy se všechny části vesmíru vyvíjejí od velkého třesku stejně a lze v nich v každou dobu určit jejich stáří t. **Všechny části se nevyvíjí stejně.** Baryogeneze, generace supernov a nových hvězd, geneze zesložitování hmotových struktur a to **nerovnoměrně** v každém koutu vesmíru až k aminokyselinám, DNA, ale **névšude...** **Tím ale zavádíme pro celý vesmír všude platný takzvaný kosmický čas t.** **My ho zavádíme Vesmíru, anebo Vesmír ho zavádí nám ?** Má se na mysli „jednotné tempo plynutí času“ ??.. pro každého pozorovatele ??? v libovolném stáří ?? (a co dilatace času pro velitele raket .. atd.) Sám vývoj vesmíru, především jeho rozpínání, slouží jako kosmické přesýpací hodiny. V naší době ukazují oněch $t_0 = 14$ Gyr (symbolem t_0 se vyjadřuje kosmologické „dnes“).

Další blahodárný důsledek kosmologického principu je velké zjednodušení popisu vesmíru v libovolně zvoleném okamžiku t, tj. popisu trojrozměrného prostoru. Protože vesmír je všude stejný a ve všech směrech stejně vypadá, [2\)](#) pro úvahy o rozpínání vesmíru není třeba zavádět trojrozměrný souřadnicový systém. Pro nějaké dva objekty, například hodně od sebe vzdálené galaxie, stačí brát v úvahu jen jeden údaj: jejich relativní vzdálenost $D(t)$. Ta se může měnit s časem, ale nezávisí ani na poloze, ani na vzájemné orientaci těch dvou galaxií ve vesmíru. **Nezanedbáme proto**

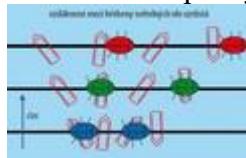
nic podstatného, když si budeme představovat prostor jako jednodimenzionální. A tady je jeden z „logických“ omylů úsudku kosmologů. Přesně toutéž chybou trpí naše logika (vaše logika). že „*nezanedbáváme*“ (????) *nic podstatného když budeme považovat čas za jednodimenzionální*; tedy když vy fyzikové považujete čas za jednodimenzionální....protože se vám „zdáááá“, že čas utíká-běží-rose s t e j n ý m tempem do všech tří rozměrů (délkových), proto jste vyhlásili odnepaměti, že → „Nezanedbáme proto nic podstatného, když si budeme představovat čas jako jednodimenzionální.“ Ano, tady je problém. STR pojednává o „jakési“ dilataci času, když...když. A STR pojednává o jakési kontrakci délky když...když . A STR pojednává o jakési změně hmotnosti tělesa když...když. Čili záleží na zvolené soustavě souřadné která „musí“ být pasována pro toho pozorovatele do klidu. “““““z klidu“““““ pozorujeme r e l a t i v i t u, relativní úkazy pro „pohyb“ Čeho ? pohyb tělesa... anebo pohyb prostoru ... anebo dokonce pohyb času ?..? Cokdyž platí moje vize-hypotéza, že „*čas neběží nám, ale my běžíme jemu, tedy že my-těleso putujeme po čase, po třech dimenzích času..dimenze „stojí“ ...tedy rastr 3+3D „stojí“ a v něm se „rozpíná“ časoprostor,...a to tak, že se prostor rozbaluje, křivosti dimenzí se rozbalují, dtto čas...* Tedy že Vesmír je 3+3D má tři dimenze délkové a tři dimenze časové a my → Nezanedbáme proto nic podstatného, když si budeme představovat prostor jako jednodimenzionální anebo totéž : „Nezanedbáme proto nic podstatného, když si budeme představovat čas jako jednodimenzionální.“ Podobnou představu o vesmíru měli kosmologové již hněd po vzniku obecné teorie relativity, což bylo tenkrát velmi odvážné. Dnes je tato představa podložená (nikoli dokázaná) mnohými pozorováními.

A teď ještě jeden, tentokrát nový a i z hlediska obecné teorie relativity překvapivý výsledek kosmologických pozorování: trojrozměrný prostor v našem vesmíru je v libovolně zvoleném okamžiku t s pozoruhodnou přesností rovný (euklidovský)! No, no... jak se to vezme a jak se „na to podíváme“. Ano, „rastr“ 3+3D je euklidovský, ale v něm „plave“ časoprostor fyzikální který je „deformován“ hmotou v libovolném stáří vesmíru. Né nadarmo říká OTR, že hmota zakřivuje čp. Čp je křivý i ve vakuu, je křivý v plazmě, je křivý v galaxii když se dívám na galaxii z velké délky ... čas je křivý podle STR – dilatace, délka podle STR dtto atd. I obyčejný lom světla na hraně změn hustot je vlastně „změna křivosti“ dimenze...Ve stáří vesmíru 14,24 miliard let se globální křivost fyzikálního čp blíží plochosti geometrického rastru euklidovské ne-

křivosti. Proto je dobré pro popis vesmíru mít na paměti, že „křivé stavy čp plavou, jsou vnořeny“ do euklidovského plochého čp..., který byl-existoval před Třeskem i po Třesku. Dnes máme euklidovský rastr 3+3D v němž „plavou“ n+m D dimenze, protože stavba hmoty si „vyžaduje“ mnohodimenzionalitu těchto veličin....vesmír „křiví“ dimenze a tím staví vlnobalíčky hmotové, pak konglomeráty z nich, atd. a pole. Takže „plave“ křivý stav čp v euklidovském plochém rastru čp. Nemusíme si tedy lámat hlavu představami zakřiveného prostoru. ☺ A nemusíme si tedy lámat hlavu představami zakřiveného „časoru“, což je 3-dimenzionální čas. Jak uvidíme později, čtyřrozměrný prostoročas ale zakřivený je, a plave b tom 3+3D rastru časoprostorovém euklidovském takže speciální teorie relativity v něm platí jen velmi omezeně, viz omyl (iii).

Z toho vyplývá, že si vesmír na kosmologických škálách můžeme bez nepřípustné hrubého zjednodušení představit v každém okamžiku kosmického času t jako přímou úsečku znázorňující prostor v tomto okamžiku. A tuto chybu dělají kosmologové když „jako pozorovatel vzdálený“ pozorují galaxii a zdááá se jim že se Ona pohybuje „jako“ gramofónová deska, že je někde chyba, tedy že „je“ potřeba dosadit do galaxie novou neviditelnou hmotu, aby pak platil Newtonův zákon pohybu ramen galaxie pozorované. Jsem-li uvnitř galaxie, nepozorují zakřivené čp, je nesmírně malé, ale....ale jsem-li pozorovatelem vzdáleným, už musím brát v úvahu křivost čp uvnitř galaxie a musím dosazovat do Newtona $1 = G \cdot \text{suma} M_i / v_i^2 \cdot x_i$ úsečku „x“ néééé rovnou-přímou, ale v oblouku. http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/aa/aa_031.jpg Pak se dle takového výpočtu zjistí, že žádná hmota v galaxii nechybí.

Prostor se rozpíná jako gumová šnůrka



Ve speciální teorii relativity je prostor při všech fyzikálních procesech neměnný, je pro ně jenom prkenným jevištěm. To je ten „rastr 3+3D“ ...a v něm pak „plave“ dynamický čp s hmotou, která ho křiví, respektive Vesmír sám aktem „křivení“ dimenzí vyrábí hmotu (k postavení Mendělejevovy tabulky prvků, potažmo všech sloučenin chemických a biologických „potřebujeme“, aby Vesmír vyrobil křivením-zkřivením 3+3D do vlnobalíčků pár kvarků, leptony a intermediální částice celkem 17 částic !!!

<https://www.aldebaran.cz/astrofyzika/interakce/standard-model.php> a ..a je hotovo VŠE !!! , vše pro celý „nerastrový“ Vesmír poTřeskový) Zopakuji : prkenné jeviště = 3+3D rastrový euklidovský čp a v něm „ponořený“ stav křivostí 3+3D čp, které se interpretují jako hmota a „zbytek čp“.

V jedné dimenzi je jako pevná dřevěná tyčka, na které je leccos připevněno a leccos se na ní odehrává.

V obecné teorii relativity prostor ožívá. **V HDV taky** Je to elastické jeviště, může se buď rozpínat, nebo smršťovat, **no jistě**. Jsem-li pozorovatelem „uprostřed škály vzdáleností, pak směrem „do makrovesmíru“ se stavy čp-Vesmíru rozpínají=rozbalují, a...a stavy do mikrovesmíru, tj. do planckových škál se stavy Vesmíru proměňují do podoby „vřícího vakua“ kde se rodí virtuální páry částic, kde se rodí „temná energie“, kde se rodí „plasma“, kde se rodí „polévka proměnnosti i hmoty i dimenzi čp ...; a je možné že se Vesmír od Pozorovatele směrem do mikrokosmu „smršťuje“ naopak do makrokosmu se „rozpíná-rozbaluje“...

http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/aa/aa_021.jpg

a to v závislosti na tom, co je na něm připevněno a co se na něm odehrává. [3\)](#) **No vida, to je shoda :** „*na rastru 3+3D nehybném euklidovské jevišti*“ jsou „příšpendleny“ - dle autora - „věci“, tedy *Vesmír 3+3D, který „se fyzikálně odehrává“* . Prostorovou úsečku si lze představit jako tenkou rovnou gumovou šňůrku, která se může buď natahovat („rozpínat“), nebo smršťovat. Galaxie pak můžeme dobře znázornit dopisními sponami ([obrázek 1](#)), které jsou na šňůrce připevněny. Když se šňůrka rozpíná, rostou vzdálenosti mezi na ní připevněnými sponami ([obrázek 3](#)). Je to právě tento růst vzdáleností mezi sponami, ze kterého nějaký bystrý pozorovatel (pojmenujme ho Hubble) může usoudit na rozpínání šňůrky.

Tento jednoduchý model vystihuje podstatu věci. **Můj model také vystihuje podstatu věci...ale bude utlačen do té doby dokud budou na světě Petráskové a Brožové, kteří zaviní, že lidé nečtou nové vize, ale čtou pomluvy na autora, a nečtou je prááááávě kvůli pomluvám, že autor je blázen. Vesmír se rozpíná, ([rozbaluje](#)) protože se rozpíná sám ([rastr](#)) prostor.** Ten se rozpíná – jako ta šňůrka – všude. Jeho vlastnosti se ale na žádném místě rozpínáním nemění. [4\)](#)

Z hlediska pana Hubbla, který sedí na jedné z galaxií, jsou ostatní galaxie od něj unášeny do dálky rozpínajícím se prostorem **ano**. Z hlediska pana Hubbla, ale jeho zákon **v = H. r** oblnul kosmology na 80 let. Podle něho se změnilo – dočasně –

80% chápání celého vesmíru na 80 let. Vesmír se axiálně nerozpíná, ale „se rozbaluje“ ...dokazuje to správné vyhodnocení STR. A dokonce i prostý Michelson-Morleyho pokus, <http://www.hypothesis-of-universe.com/index.php?nav=d> potažmo Lorentzova „transformace“ (která není transformací, ale ukázkou a popisem pootáčení soustav pozorovatele a tělesa v pohybu) jako listy spadlé na proudící vodu. Jejich vzdálenosti D(t) od pana Hubbbla rostou s časem t. Vůči prostoru ve svém okolí se však galaxie nepohybují, viz omyl (i). Těch omylů se ještě ukáže...ha-ha Spony / galaxie vlastně slouží k viditelnému označení pevných bodů v prostoru, který je sám o sobě neviditelný. Rozpínání prostoru tedy pozorujeme s jejich pomocí. Prostor je pro nás tímto způsobem pozorovatelný zatím jen po místu od nás dnes vzdálená oněch 46 Gly. Alespoň potud je v každém okamžiku všude rovný. ⁵⁾ Co je dál, to s jistotou nevíme, ale zdá se přirozené, že to bude aspoň ještě o kus dál podobné. Omyl č. 7 je, že kosmologové nepřekonali své „paranoidní stigma“, že před Třeskem je-může být čp plochý je právě proto, že v takovémto 3+3D není hmota, protože PRINCIPEM realizace hmoty je „křivení dimenzi“ a...a to nastane po Velkém Třesku...kde stylem „křivením“ dimenzi dvou základních veličin „se vytvoří“ artefakty = elementy hmotové. Dohromady : sou-vztaznost plnohodnotně zakřivených dimenzí = vlnobalíčků a neplnohodnotně zakřiveného „zbytku“ časoprostoru – fyzikální Vesmír .

Před Třeskem : 3+3D euklidovský plochý časoprostor (v podstatě „jen“ rastr), v němž neběží čas, nerozpíná se, není v něm hmota, je nekonečný a věčný . Pak nastane „změna stavu“ (proč a cím ...to ponechám momentálně stranou) ..., nastane změna „původního“ na „následný“ stav. V nekonečném euklidovském plochém 3+3D „se zjeví“ lokalita (čili konečný úsek, konečný interval, konečný interval časový, konečný interval délkový...atd. lokalita „konečná“) a tou je Ona kosmology přednášená singularita. ...“po Třesku = ve Třesku“. Einstein řekl „ABC“ postulát a všichni se poklonili a hledali mu-pro něj opodstatnění. Když řeknu já „postulát“, všichni budou „pro něj hledat flusance“ : Jak je velká singularita v nekonečném 3+3D časoprostoru , který „vládl“ před Třeskem ? Skoronekonečně velká anebo skoronekonečně nulová, anebo „něco“ uprostřed ?

(Se stoprocentní jistotou vím, že Kulhánek s Brožem mi neodpoví....Mašíblům titulovaní neodpovídají ...a dokonce ani né proto, že by to ne-věděli).

03.0.8.2018 ; Pokračování v komentářích příště (stále je ještě horko..a já si chci dát pivko)

Model gumové šňůrky teď použijeme k objasnění několika důležitých poznatků plynoucích z obecné teorie relativity.

Rychlosť unášení galaxií je úměrná jejich vzdálenosti

Malý pokus s natahováním šňůrky se sponami nás snadno přesvědčí, že vzdálenosti mezi dvěma libovolnými galaxiemi rostou tím rychleji, čím jsou tyto galaxie od sebe vzdálenější. Podobně dnes závisí rychlosť unášení u (recession velocity) jednotlivých galaxií od naší galaxie lineárně na vzdálenosti D těchto galaxií od nás:

$$u = H_0 D.$$

Faktor úměrnosti H_0 se nazývá Hubblův parametr, často se mu říká Hubblova konstanta. Tento vztah se obvykle nazývá Hubblův zákon. Objevil ho a srovnal s tehdejšími daty již dva roky před Hubblem (1927) Lemaître a také ho, na rozdíl od Hubbla, správně teoreticky vyložil.⁶⁾ Platí jenom s určitými omezeními, protože je v něm zanedbána závislost vzdálenosti D na čase t způsobená rozpínáním prostoru.⁷⁾ Při natahování hodně dlouhé šňůrky si snadno uvědomíme, že rychlosť unášení vzdálených spon roste s jejich vzdáleností neomezeně. Hubblov zákon to vyjadřuje kvantitativně. Můžeme si například spočítat, na které vzdálenosti dnes dosahuje rychlosť unášení u hodnoty rychlosťi světla c:

$$D_H = c/H_0.$$

Tato vzdálenost se nazývá Hubblova vzdálenost D_H . Mnoho pozorovaných galaxií a kvasarů se nachází dál, a jsou tedy od nás unášeny nadsvětelnou rychlosťí, ačkoliv se samy nepohybují.

Speciální teorie relativity platí, ale jen lokálně

Koho tento závěr šokuje, ten podléhá omyleu (iii). Speciální teorie relativity se svou horní hranicí c pro rychlosť pohybu hmoty sice všude platí, ale vždy jen v malé oblasti prostoročasu (lokálně), jako approximace k obecné teorii relativity. Nelze ji používat při pozorování objektů na kosmologických vzdálenostech.

Příklad gumové šňůrky to znázorňuje: každý její malý úsek se dá přibližně vidět jako kousek dřevěné tyčky, protože se na něm rozpínání projeví jen zanedbatelně. Ale běda, pokusíme se approximovat tyčkou velký úsek šňůrky! Vlastně jde o analogii k známé vlastnosti hladkých křivek, že je lze v okolí každého bodu approximovat přímkou (tečnou). Prostoročas v obecné teorii relativity je také sice zakřivený (naštěstí si to nemusíme představovat), ale hladký (riemannovský), a proto ho lze v

každé oblasti approximovat rovným prostoročasem speciální teorie relativity. To je jeden ze základních principů obecné teorie relativity.

Unášení pozorovaných galaxií nadsvětelnou rychlostí je jedním z klíčů k astronomickému rozpoznání, že je třeba používat obecnou teorii relativity. Tyto galaxie jsou totiž od nás mnohem dál, než by to bylo možné podle speciální teorie relativity, a jsou proto vidět daleko slaběji, než by z této teorie plynulo [1].

Jak velké jsou vlastně oblasti praktické použitelnosti speciální teorie relativity? Kdy lze rozpínání prostoru zanedbat a kdy ne?

Co se vlastně rozpíná a co ne?

Zásadně platí, že libovolné objekty, mezi kterými nepůsobí žádné přitažlivé síly, jsou rozpínáním prostoru od sebe unášeny, a tudíž se od sebe vzdalují. To se hned projevuje měřitelně především u vzdálených galaxií. Obecnou teorii relativity však nelze zanedbat, ani když jsou ty objekty sice mikroskopicky blízko sebe, ale zabýváme se jejich dlouhodobým vývojem. Pak je také jejich vzdalování významné, jak hned uvidíme při diskusi rudého posuvu světla.

Jakmile jsou objekty vázány nějakými silami, je to otázka kdo s koho. Jednotlivé galaxie, o našich fyzikálních laboratořích ani nemluvě, jsou při dnešním tempu rozpínání vesmíru plně ovládány přitažlivými silami. Proto je rozpínání prostoru v jednotlivých galaxiích a také jejich kupách zanedbatelné a můžeme se – pokud se vyhneme silným gravitačním polím nebeských těles – spokojit s užíváním speciální teorie relativity.

Avšak síly mezi galaxiemi na vzdálenostech větších, než jsou rozměry jejich kup, jsou zanedbatelné, a proto jsou takové galaxie rozpínajícím se prostorem unášeny od sebe. Na kosmologických škálách je pak speciální teorie relativity zcela nepoužitelná. Tam se projevuje obecně relativistický charakter rozpínání prostoru naplno. Hubblova vzdálenost D_H k nim rozhodně patří.

Nicméně je dobré si uvědomit, že rozpínání vesmíru se neděje jenom „někde tam daleko ve vesmíru“, ale i v prostoru u nás doma, podobně jako nám i doma plyne kosmický čas. Naše budovy (planeta, sluneční soustava, galaxie) jsou však dostatečně pevné na to, aby to vydržely beze změny. Proto nám rozpínání prostoru až do Hubblova objevu ušlo.

Rozpínání prostoru vede ke kosmologickému rudému posuvu světla

Rudý posuv, označovaný z , je pro astronomy ten nejspolehlivější údaj o kosmických objektech – umějí ho totiž (na rozdíl od vzdálenosti, rychlosti a absolutní světelnosti

těchto objektů) dobře měřit. Proto stojí za to ho přesně definovat: Vlnová délka světla se zvětšuje faktorem $(1 + z)$. Jestliže se nezměnila, je rudý posuv nulový ($z = 0$). Jaký účinek má rozpínání prostoru na světlo, které se v něm pohybuje? To v našem modelu snadno zjistíme. Znázorníme sousední hřebeny světelných vln, jejichž mikroskopická vzdálenost je vlnová délka světla, třeba dvěma stejnými broučky. Jestliže necháme broučky lézt stejným směrem po dřevěné tyčce, zůstane jejich vzájemná vzdálenost zhruba stále stejná. Vlnová délka zůstává beze změny, při pohybu světla nevzniká podle speciální teorie relativity žádný rudý posuv ($z = 0$). Necháme-li ale lézt broučky po naší gumové šňůrce, kterou přitom napínáme ([obrázek 4](#)), pak jejich vzájemná vzdálenost poroste. Stejným způsobem roste podle obecné teorie relativity při rozpínání prostoru vlnová délka světla. Rudý posuv vzniká během letu světla rozpínajícím se prostorem. Mezi hřebeny světelných vln (stejně jako mezi broučky) nepůsobí vnitřní síly, které by je držely na stále stejné vzdálenosti. Proto zcela podléhají rozpínání prostoru ($z > 0$).

Vlnová délka světla při jeho pohybu vesmírem k nám narůstala postupně a v různých dobách různě rychle podle toho, jak rychle se zrovna prostor rozpínal. Výsledný rudý posuv tedy závisí na historii rozpínání prostoru, tudíž zachycuje dlouhodobý vývoj vesmíru. Proto se mu říká kosmologický rudý posuv. Obecně platí, že se vlnová délka prodloužila tolíkrát, kolikrát se za dobu letu světla k nám zvětšila vzdálenost mezi místem jeho emise a námi. Pro blízké galaxie je rudý posuv z blízký nule, pro vzdálené galaxie je ale velký, protože k nám světlo od nich letělo dlouho, a tak se jeho vlnová délka dlouhou dobu prodlužovala. Měření rudého posuvu u galaxií na různých vzdálenostech tak poskytuje informaci o historii rozpínání prostoru.

Všimněme si, že jsme o zdroji toho světla a případném pohybu onoho zdroje nemuseli vůbec nic vědět. Celá úvaha byla na tom nezávislá, tudíž nejde o Dopplerův jev způsobený pohybem zdroje, viz omyl (ii). [8\)](#)

Pokud se zdroj nebo pozorovatel pohybují vzhledem k jejich okolnímu prostoru, vzniká v důsledku Dopplerova jevu dodatečný kladný nebo záporný příspěvek k rudému posuvu. Celkový rudý posuv je pak kombinací kosmologického a dopplerovského rudého posuvu.

Při přesných měřeních rozdílů mezi rudými posuvy (jako v případě reliktního záření) je třeba vzít pohyb Země v úvahu. Příslušný postup umožňuje definovat všude v prostoru pevné body. Jsou to polohy takových myšlených pozorovatelů, kteří vidí

reliktní záření stejné ve všech směrech, viz [2]. Dopisní spony na gumové šňůrce takové body znázorňují.

Při studiu vzdálených galaxií a kvasarů s kosmologickým rudým posuvem blízkým jedné a větším je dodatečný příspěvek k rudému posuvu zanedbatelný. Jejich typická rychlosť pohybu vůči okolnímu prostoru je jen asi 1000 km/s, což vede k dopplerovskému rudému posuvu jenom okolo $\pm 0,003$. Vzdálené galaxie lze tedy při astronomických měřeních ve velmi dobrém přiblžení považovat za prakticky nehybné vůči okolnímu prostoru. Proto je oprávněné znázornit vzdálené galaxie pevně přidělanými dopisními sponami.

Pomocí kosmologického rudého posuvu světla by se dalo v principu zjistit rozpínání prostoru i v místnosti, ve které čtenář tohoto článku právě sedí. Jeho předpokládané hodnoty jsou však na tak malé škále zcela neměřitelné. V našem okolí tedy nehraje rozpínání prostoru žádnou bezprostřední roli.

Připomínáme, že energie světla je nepřímo úměrná jeho vlnové délce. Proto světlo (každý foton) během svého letu v důsledku rozpínání prostoru a z něj plynoucího růstu vlnové délky ztrácí energii úměrně $1/(1 + z)$. Teplota reliktního záření je úměrná jeho energii, to znamená, že jeho teplota v důsledku kosmologického rudého posuvu také klesá úměrně $1/(1 + z)$.

Jak se popisuje rozpínání prostoru

Ještě jedno zamýšlení nad gumovou šňůrkou nám napoví, že průběh rozpínání prostoru s časem se dá popsat jedinou funkcí času $a(t)$. Ta vyjadřuje, jak se v kosmickém čase t vzdálenost $D(t)$ mezi libovolným párem od sebe dost vzdálených galaxií liší od jejich vzdálenosti dnes. Jsou úměrné jejich dnešním vzdálenostem a $a(t)$ je faktor této úměrnosti,

$$D(t) = a(t)D(t_0).$$

Dnes je $a(t_0) = 1$, v minulosti bylo $a(t)$ menší než 1 a brzy po velkém třesku bylo $a(t)$ téměř nula. V budoucnu asi $a(t)$ dále poroste. Tato funkce v podstatě popisuje, jak rostou kosmologické škály při rozpínání prostoru. Funkce $a(t)$ se proto nazývá kosmický škálový faktor. Závislost $a(t)$ na kosmickém čase t je v podstatě historie rozpínání vesmíru.

Pro kosmický škálový faktor plyne z obecné teorie relativity rovnice, kterou sestavili a studovali Einstein, Friedmann, Lemaître a jiní znalci této teorie. Tato rovnice popisuje

časový vývoj $a(t)$ v závislosti na hustotě hmoty obsažené ve vesmíru a na hodnotě kosmologické konstanty. Tyto potřebné údaje jsou bohužel nejisté.

Co vesmír obsahuje?

Tady narázíme na problémy, se kterými zápasí astronomové a kosmologové aspoň těch 80 let:

- Jaké druhy hmoty a v jakém množství vesmír vlastně obsahuje?
- Je kosmologická konstanta nenulová, a pokud ano, tak jak je velká?

Trochu se ví a hodně se spekuluje, což by však bylo téma pro jiný dlouhý článek. Zde shrneme jen ty poznatky, které jsou dnes poměrně spolehlivé. [9\)](#) Hmota ve vesmíru je (alespoň) dvou druhů:

- Viditelná hmota jsou hvězdy, mezihvězdný plyn a prach; počítají se sem také černé díry (protože vznikly kolapsem viditelných hvězd).
- Temná hmota je ta, která nevyzařuje ani neodráží světlo, je opticky neviditelná jako vzduch, a tedy vlastně vůbec není temná. Je ale nápadná svou gravitační přitažlivostí. Ve vesmíru je jí daleko více než hmoty viditelné. Obklopuje viditelné galaxie.

Kosmologická konstanta je přirozenou součástí Einsteinovy obecné teorie relativity (i když ji Einstein sám brzy z estetických důvodů neoprávněně zavrhl). Často se místo ní mluví o energii vakua nebo o hypotetickém poli (kvintessenci) s podobnými účinky [4]. Z nedostatku pochopení fyzikální podstaty těchto pojmu zavedli pro ně kosmologové souhrnné pojmenovaní: temná energie. [10\)](#) Ani ona není doslova temná, protože je také opticky neviditelná, ale přívlastek „temná“ si asi přesto zaslouží kvůli záhadnosti své fyzikální podstaty. Nyní stručně pár pozoruhodných údajů:

- Oba druhy hmoty zpomalují (brzdí) rozpínání prostoru, zatímco temná energie je urychluje.
- Hustota obou druhů hmoty klesá při rozpínání prostoru („oblak prachu“ se zřeďuje).
- Hustota temné energie se přitom nemění, a tak při rozpínání prostoru temné energie přibývá. Odehrává se s ní tedy něco zcela nezvyklého.
- Dnes je hustota temné energie ve vesmíru zhruba trojnásobkem hustoty energie obsažené v obou druzích hmoty vztáty dohromady.
- Součet hustoty energie obsažené v hmotě a hustoty temné energie má s velkou přesností právě takzvanou „kritickou“ hodnotu, která způsobuje, že prostor je euklidovský. Tento fakt byl platný po celou dobu dosavadního vývoje pozorovatelného vesmíru.

Historie rozpínání prostoru

Vložíme-li právě uvedené údaje do zmíněné rovnice pro $a(t)$, vyjde nám, že se původně velmi rychlé rozpínání prostoru prvních 7 Gyr po velkém třesku zpomalovalo, zatímco v následujících 7 Gyr se zase zrychluje. To odpovídá soudobým astronomickým pozorováním. Brzdění bylo způsobeno převládáním hustoty hmoty. Ta se ale zředila, a tak teď převládá konstantní nenulová hustota temné energie.

Kvantitativní popis historie rozpínání prostoru, založený na těchto poznatcích, nám poskytuje řadu dalších zajímavých údajů o vesmíru. Z nich vybíráme především, že všechny pozorované galaxie a kvasary s rudým posuvem $z > 1,5$ jsou dnes od nás ve větší vzdálenosti, než je Hubblova vzdálenost $D_H = 14$ Gly. [\[1\]](#) Jsou od nás tedy unášeny nadsvětelnou rychlostí. Pozorování takových objektů je ale dnes pro astronomy běžné, a často je hlášen nový rekord ve velikosti nalezené hodnoty z . V době psaní tohoto článku je nejvyšší známá hodnota u kvasarů okolo $z = 6,4$. Takový kvasar je od nás unášen rychlostí okolo $2c$.

Obzvlášť zajímavá je historie zdroje reliktního záření. V době emise, to jest 0,0004 Gyr po velkém třesku, to bylo žhavé vodíkové a heliové plazma s teplotou asi 3000 K, jehož rychlosť unášení od místa, kde jsme dnes my, byla něco přes $50c$. Dnes jsou z něj pravděpodobně obyčejné galaxie ve vzdálenosti okolo 46 Gly, unášené od nás „jenom“ rychlosť $3c$. Reliktní záření samo mělo při svém vzniku stejnou teplotu jako plazma. Z poklesu jeho teploty na dnešní hodnotu $2,7$ K plyne, že jeho kosmologický rudý posuv je dnes $z \sim 1100$. Za dobu letu reliktního záření k nám se tedy vesmír rozepnul zhruba faktorem 1100. Zdroj reliktního záření, dnes vzdálený oněch 46 Gly, byl tedy v době vzniku tohoto záření vzdálen od místa, kde dnes jsme, jenom asi $46/1100 = \sim 0,04$ Gly, tedy pouhých 40 milionů světelných let (to je zdánlivě blízko, ale takové byly tehdy kosmologické škály). Zato se ale vzdaloval opravdu rychle.

Chceme-li pomocí rovnice pro $a(t)$ pohlédnout do vzdálené budoucnosti, zjistíme, že hustota hmoty bude zanedbatelná a že na rozpínání prostoru bude mít dominantní vliv temná energie. Takovou možností se zabýval již de Sitter. V jeho modelu lze snadno spočítat (viz [1]), že pak $a(t)$ roste s časem exponenciálně rychle, a to tím rychleji, čím je hustota temné energie větší. Na ověření této předpovědi dnešní kosmologie si ale budeme muset počkat pár Gyr. Pokud je pravdivá, začnou v budoucnosti ještě daleko vzdálenější mizet vzdálené galaxie z dohledu. Budou velice

zředěné a tak vzdálené a „zrudlé“, že je téměř nebude vidět. Také reliktní záření podstatně ochladne. Vesmír na velkých škálách bude nudný.

Pohyb světla v rozpínajícím se prostoru

Jelikož speciální teorie relativity lokálně platí, pohybuje se světlo na každém místě ve vesmíru rychlostí c vůči okolnímu prostoru. Přitom je ovšem tímto prostorem také unášeno (viz [obrázek 4](#)). Stejně jako plavec v řece může být unášen proudem ve směru toku, i když plave proti proudu, může být světlo letící směrem k nám unášeno rozpínáním prostoru od nás pryč. Snadno si to ověříme pomocí napínané gumové šňůrky, když necháme lézt broučka směrem k panu Hubblovi, a přesto jeho vzdálenost od pana Hubbbla poroste.

Dnes je situace taková, že všechno světlo nacházející se od nás dál, než je Hubblova vzdálenost, je od nás unášeno pryč. Jak to, že tedy můžeme pozorovat objekty, které jsou dál než D_H ?

Odpověď je, že světlo z těchto objektů, které k nám dopadá dnes, vzniklo před dávnou dobou, což má dva důsledky. Zaprvé vzniklo o hodně blíž k nám, než je dnešní vzdálenost jeho zdroje. Zadruhé se rozpínání vesmíru během jeho pohybu dlouhou dobu zpomalovalo. I když bylo světlo na začátku unášeno od nás, zpomalení rozpínání způsobilo, že se po nějaké době začalo přece jen přibližovat k nám – jako se změní směr pohybu plavce, když proud v řece dostatečně zeslabne. Souhra těchto dvou důsledků rozpínání prostoru a stáří světla nám umožňuje vidět i objekty unášené od nás nadsvětelnou rychlostí.

Ovšem jen tak, jak vypadaly v minulosti, v době kdy bylo světlo, které dnes vidíme, vyzářeno. Proto je reliktní záření obrazem plazmatu brzy po velkém třesku. Asi 4 Gyr bylo toto světlo unášeno od nás, pak se k nám ale zase začalo přibližovat.

Vztah mezi dobou pohybu světla k nám a vzdáleností jeho světelného zdroje je obecně v důsledku rozpínání prostoru trochu složitý. Zde můžeme jen upozornit, že odhad vzdáleností obdržený vynásobením rychlosti světla c dobou pohybu světla je při dobách větších než několik Gyr podstatně nesprávný. Skutečné vzdálenosti podceňuje, protože rozpínání prostoru zanedbává. To se projevuje například na dnešní vzdálenosti zdroje reliktního záření – a tedy na poloměru pro nás pozorovatelné části vesmíru. Je zhruba třikrát větší, než by vyšlo z takového nesprávného odhadu ($c \times 14 \text{ Gyr} = 14 \text{ Gly}$).

Energie se při rozpínání prostoru nezachovává

Při úvahách o rudém posuvu světla při jeho pouti rozpínajícím se prostorem vzniká nevyhnutelně otázka, kam se poděla ta část jeho energie, která mu ubyla v důsledku přírůstku jeho vlnové délky.

Podle soudobého chápání rozpínání prostoru se tato energie prostě ztrácí. Zákon zachování energie při rozpínání prostoru není použitelný. To je důsledek spolehnutí na obecnou teorii relativity, ve které zákon zachování energie platí jen za určitých dodatečných podmínek. Ty ale právě v rozpínajícím se prostoru splněny nejsou (i když jsou splněny při většině jiných aplikací této teorie). Proto se také může prostor rozpínat při konstantní hustotě temné energie. Celková energie v rozpínajícím se objemu přitom přece roste!

Nezávidíme čtenáři jeho pocity, když je poprvé konfrontován s touto představou. Většinou jsme vyrůstali v přesvědčení o neomezené platnosti zákona zachování energie. Pro jeho platnost mluví všechny dosavadní zkušenosti fyziků, chemiků, inženýrů a vynálezců. Proto zdůrazněme, že všechny tyto dosavadní zkušenosti byly nashromážděny za podmínek, kdy je rozpínání prostoru zcela zanedbatelné.

Extrapolace na situaci, kdy tomu tak není, je neoprávněná a vede k omylu (iv).

O teoretických spekulacích a jistotě

V tomto článku se pečlivě vyhýbáme nesčetným zajímavým spekulativním teoriím, kterými dnes kosmologie a jí blízké oblasti fyziky žijí. Týkají se především té nejranější doby vývoje vesmíru, příčiny a průběhu velkého třesku. Některé získaly i ve veřejnosti popularitu, která by mohla snadno zastřít skutečnost, že ještě vůbec nejsou ověřeny experimenty nebo pozorováním.

To, že se zde snažíme zůstat na pevné půdě, ale také není zárukou, že vylíčené soudobé teoretické chápání rozpínání prostoru je už konečné. Například bude v budoucnu zajímavé, zda přesnější měření potvrdí kosmologický princip. Je vesmír na kosmologických škálách skutečně tak jednoduchý? Jsou přírodní zákony všude ve vesmíru stejné? [4] A také představy o podstatě temné energie zjevně nesou rysy teoretické spekulace. Nejlepší bude, když si čtenář v budoucnu aspoň každých 10 let zjistí, co je v kosmologii nového a jak to s těmi teoretickými spekulacemi dopadlo.

Na závěr je třeba zdůraznit, že rozpínání prostoru je přírodní jev plynoucí z obecné teorie relativity a potvrzený mnoha pozorováními v astronomii. Není to žádná spekulace, nýbrž jistota. I když se možná nakonec ukáže být trochu složitější, než

jsme ho zde popsali, jistě zůstane spolu s Galileovým „Eppure si muove“ [2] jedním ze základních objevů v kosmologii.

V našem denním životě nehráje sám fakt rozpínání prostoru prakticky žádnou roli, ovlivňuje nás ještě méně než skutečnost, že Země obíhá kolem Slunce. Podobně jako pohyb Země kolem Slunce se ale stává významnou složkou našeho chápání přírody.

Poděkování: Koncept tohoto článku je založen na řadě populárněvědeckých publikací různých autorů, obzvlášť dobře napsán je článek Ch. Lineweavera a T. Davisové [5]. Děkuji prof. J. Hořejšímu za pozvání přednášet na toto téma na Matematicko-fyzikální fakultě Karlovy univerzity a za cenné připomínky, Ing. J. Smižanské a Dr. M. Jersákovi za podněty k vylepšení textu.

Literatura

[1] J. Jersák: článek zasláný do Čs. časopisu pro fyziku (předběžná verze tohoto článku se nachází na internetu pod adresou tpe.physik.rwth-aachen.de/jersak/expansion.html) > [2] J. Langer, Pohled na okraj nedohledna,

Vesmír [85, 658, 2006/11](#).

[3] I. Melo: Tmavá energia, zrýchlenie a plochost' vesmíru, Pokroky matematiky, fyziky a astronomie 46, 89–100, 2001/2.

[4] J. Jersák: Mohou být základní fyzikální konstanty proměnlivé?, Vesmír [83, 13, 2004/1](#).

[5] Ch. H. Lineweaver, T. M. Davis, Misconceptions about the Big Bang, Scientific American 292, March 2005, p. 24–33. Tento článek lze zdarma stáhnout internetem z adresy www.mso.anu.edu.au/~charley/publications.html.

Poznámky

1) Nepatrné změny této teploty v závislosti na směru, objevené pomocí satelitů COBE a WMAP a popsané v [2], podobně jako rozdíly v detailech mezi výřezy na obrázek 2, se týkají struktur vesmíru na škálách menších než kosmologických a jsou pro téma tohoto článku bezpředmětné.

2) Tomu se říká homogenita a izotropie.

3) Také se zakřívuje, ale jak jsme právě odůvodnili, pro naše účely to můžeme zanedbat.

4) V tom trochu pokulhává analogie s gumovou šňůrkou, která není striktně jednodimenzionální, a proto se ztenčuje.

- 5) Proto je často používané znázornění rozpínajícího se vesmíru pomocí sférického (tedy zakřiveného) povrchu nafukovacího balonku nevýhodné.
- 6) Lemaîtreova práce zůstala bohužel několik let nepovšimnuta.
- 7) Přesnější diskusi vztahu mezi rychlosí unášení galaxií a jejich vzdáleností najde čtenář v [1].
- 8) Zde se podstatně lišíme od názoru vysloveného v [2].
- 9) Jejich podrobnější popis lze najít v [3].
- 10) Některí čeští astronomové používají místo názvu „temná hmota“ a „temná energie“ názvy „skrytá hmota“ a „skrytá energie“. Ta „skrytost“ se ale, podobně jako „temnost“, vztahuje jen na určité druhy pozorování. Domníváme se, že nemáme šanci najít pro oba jevy opravdu výstižné názvy, dokud nebude pochopena jejich fyzikální podstata.
- 11) Přibližná číselná shoda $D_H \approx ct_0$ je náhodná (viz [1]) a neměla by svádět ke spekulacím.

Soubory

článek v souboru pdf: [200801_V040-045.pdf](#) (463 kB)

List of unsolved problems in physics

From Wikipedia, the free encyclopedia

Main article: [List of unsolved problems](#)

Some of the major [unsolved problems](#) in [physics](#) are [theoretical](#), meaning that existing theories seem incapable of explaining a certain observed [phenomenon](#) or experimental result. The others are [experimental](#), meaning that there is a difficulty in creating an experiment to test a proposed theory or investigate a phenomenon in greater detail.

Contents

- [1](#) Unsolved problems by subfield
 - [1.1](#) General Physics/Quantum Physics
 - [1.2](#) Cosmology and general relativity
 - [1.3](#) Quantum gravity
 - [1.4](#) High-energy physics/particle physics
 - [1.5](#) Astronomy and astrophysics
 - [1.6](#) Nuclear physics
 - [1.7](#) Atomic, molecular and optical physics
 - [1.8](#) Condensed matter physics
 - [1.9](#) Biophysics
- [2](#) Problems solved in recent decades
- [3](#) See also

- [4 References](#)
- [5 External links](#)

Unsolved problems by subfield

The following is a list of unsolved problems grouped into broad area of physics.[\[1\]](#)

General Physics/Quantum Physics

Entropy (arrow of time)

Why did the universe have such low [entropy](#) in the past, resulting in the distinction between past and future and the [second law of thermodynamics](#)?^[2] Why are [CP violations](#) observed in certain weak force decays, but not elsewhere? Are CP violations somehow a product of the [Second Law of Thermodynamics](#), or are they a separate arrow of time? Are there exceptions to the principle of [causality](#)? Is there a single possible past? Is the [present](#) moment physically distinct from the past and future or is it merely an emergent property of consciousness? Why does [time have a direction](#)? What links the quantum arrow of time to the thermodynamic arrow?

Interpretation of quantum mechanics

How does the quantum description of reality, which includes elements such as the [superposition](#) of states and [wavefunction collapse](#) or [quantum decoherence](#), give rise to the reality we perceive? Another way of stating this is the [Measurement problem](#) – what constitutes a "measurement" which causes the wave function to collapse into a definite state? Unlike classical physical processes, some quantum mechanical processes (such as [quantum teleportation](#) arising from [quantum entanglement](#)) cannot be simultaneously "local", "causal" and "real", but it is not obvious which of these properties must be sacrificed or if an attempt to describe quantum mechanical processes in these senses is a [category error](#) that doesn't even make sense to talk about if one properly understands quantum mechanics.

Theory of everything ("Grand Unification Theory")

Is there a theory which explains the values of all [fundamental physical constants](#)?^[2] Is the theory string theory? Is there a theory which explains why the [gauge groups](#) of the [standard model](#) are as they are, why observed [spacetime](#) has 3 spatial dimensions and 1 dimension of time, and why all laws of physics are as they are? Do "fundamental physical constants" vary over time? Are any of the particles in the standard model of particle physics actually composite particles too tightly bound to observe as such at current experimental energies? Are there fundamental particles that have not yet been observed, and, if so, which ones are they and what are their properties? Are there unobserved fundamental forces implied by a theory that explains other unsolved problems in physics?

Yang–Mills theory

Given an arbitrary [compact gauge group](#), does a non-trivial quantum [Yang–Mills theory](#) with a finite [mass gap](#) exist? This problem is also listed as one of the [Millennium Prize Problems](#) in mathematics.

Physical information

Are there physical phenomena, such as [wave function collapse](#) or [black holes](#), which irrevocably destroy information about their prior states? How is [quantum information](#) stored as a state of a quantum system?

Quantum computation

Is [David Deutsch](#)'s notion of a [universal quantum computer](#) sufficient to [efficiently simulate](#) an arbitrary physical system?^[3]

Dimensionless physical constant

At the present time, the values of the dimensionless physical constants cannot be calculated; they are determined only by physical measurement.^{[4][5]} What is the minimum number of dimensionless physical constants from which all other dimensionless physical constants can be derived? Are dimensionful physical constants necessary at all?

Cosmology and general relativity

Cosmic inflation

Is the theory of cosmic inflation correct, and, if so, what are the details of this epoch? What is the hypothetical [inflaton field](#) giving rise to inflation? If inflation happened at one point, is it [self-sustaining through inflation of quantum-mechanical fluctuations](#), and thus ongoing in some extremely distant place?^[6]

Horizon problem

Why is the distant universe so homogeneous when the [Big Bang theory](#) seems to predict larger measurable [anisotropies](#) of the night sky than those observed? Cosmological [inflation](#) is generally accepted as the solution, but are other possible explanations such as a [variable speed of light](#) more appropriate?^[7]

Future of the universe

Is the universe heading towards a [Big Freeze](#), a [Big Rip](#), a [Big Crunch](#), or a [Big Bounce](#)? Or is it part of an infinitely recurring [cyclic model](#)?

Gravitational wave

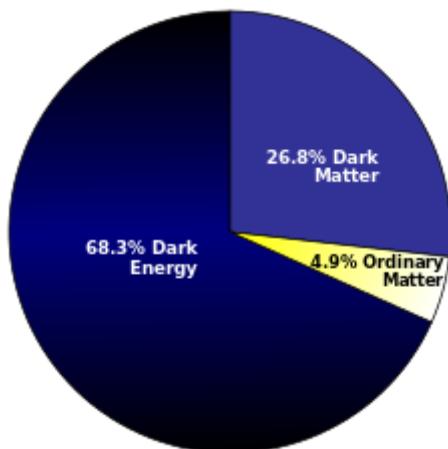
Can gravitational waves be directly detected?^{[8][9]}

Baryon asymmetry

Why is there far more [matter](#) than [antimatter](#) in the [observable universe](#)?

Cosmological constant problem

Why does the [zero-point energy](#) of the [vacuum](#) not cause a large [cosmological constant](#)? What cancels it out?^[10]



Estimated distribution of dark matter and dark energy in the universe

Dark matter

What is the identity of dark matter?^[17] Is it a [particle](#)? Is it the lightest [superpartner](#) (LSP)? Do the phenomena attributed to dark matter point not to some form of matter but actually to an [extension of gravity](#)?

[Dark energy](#)

What is the cause of the observed [accelerated expansion \(de Sitter phase\)](#) of the Universe? Why is the energy density of the dark energy component of the same magnitude as the density of matter at present when the two evolve quite differently over time; could it be simply that we are observing at exactly the [right time](#)? Is dark energy a pure cosmological constant or are models of [quintessence](#) such as [phantom energy](#) applicable?

[Dark flow](#)

Is a non-spherically symmetric gravitational pull from outside the observable Universe responsible for some of the observed motion of large objects such as galactic clusters in the universe?

[Ecliptic alignment of CMB anisotropy](#)

Some large features of the microwave sky at distances of over 13 billion light years appear to be aligned with both the motion and orientation of the solar system. Is this due to systematic errors in processing, contamination of results by local effects, or an unexplained violation of the [Copernican principle](#)?

[Shape of the Universe](#)

What is the 3-[manifold](#) of [comoving space](#), i.e. of a comoving spatial section of the Universe, informally called the "shape" of the Universe? Neither the curvature nor the topology is presently known, though the curvature is known to be "close" to zero on observable scales. The [cosmic inflation](#) hypothesis suggests that the shape of the Universe may be unmeasurable, but, since 2003, [Jean-Pierre Luminet](#), et al., and other groups have suggested that the shape of the Universe may be the [Poincaré dodecahedral space](#). Is the shape unmeasurable; the Poincaré space; or another 3-manifold?

Quantum gravity

[Vacuum catastrophe](#)

Why does the predicted mass of the [quantum vacuum](#) have little effect on the expansion of the universe?

[Quantum gravity](#)

Can [quantum mechanics](#) and [general relativity](#) be realized as a fully consistent theory (perhaps as a [quantum field theory](#))?^[11] Is spacetime fundamentally continuous or discrete? Would a consistent theory involve a force mediated by a hypothetical [graviton](#), or be a product of a discrete structure of spacetime itself (as in [loop quantum gravity](#))? Are there deviations from the predictions of general relativity at very small or very large scales or in other extreme circumstances that flow from a quantum gravity theory?

[Black holes, black hole information paradox](#), and [black hole radiation](#)

Do black holes produce thermal radiation, as expected on theoretical grounds? Does this radiation contain information about their inner structure, as suggested by [Gauge-gravity duality](#), or not, as implied by [Hawking](#)'s original calculation? If not, and black holes can evaporate away, what happens to the information stored in them (since quantum mechanics does not provide for the destruction of information)? Or does the radiation stop at some point leaving black hole remnants? Is there another way to probe their internal structure somehow, if such a structure [even exists](#)?

Extra dimensions

Does nature have more than four [spacetime](#) dimensions? If so, what is their size? Are dimensions a fundamental property of the universe or an emergent result of other physical laws? Can we experimentally observe evidence of higher spatial dimensions?

The [cosmic censorship hypothesis](#) and the [chronology protection conjecture](#)

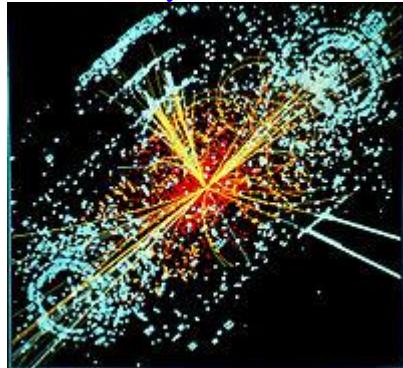
Can singularities not hidden behind an event horizon, known as "[naked singularities](#)", arise from realistic initial conditions, or is it possible to prove some version of the "cosmic censorship hypothesis" of [Roger Penrose](#) which proposes that this is impossible?^[12] Similarly, will the [closed timelike curves](#) which arise in some solutions to the equations of general relativity (and which imply the possibility of backwards [time travel](#)) be ruled out by a theory of [quantum gravity](#) which unites general relativity with quantum mechanics, as suggested by the "chronology protection conjecture" of [Stephen Hawking](#)?

Locality

Are there non-local phenomena in quantum physics? If they exist, are non-local phenomena limited to the entanglement revealed in the violations of the [Bell inequalities](#), or can information and conserved quantities also move in a non-local way? Under what circumstances are non-local phenomena observed? What does the existence or absence of non-local phenomena imply about the fundamental structure of spacetime? How does this relate to [quantum entanglement](#)? How does this elucidate the proper interpretation of the fundamental nature of quantum physics?

High-energy physics/particle physics

See also: [Beyond the Standard Model](#)



A [simulation](#) of how a detection of the Higgs particle would appear in the [CMS](#) detector at [CERN](#)

Higgs mechanism

Are the [branching ratios](#) of the [Higgs boson](#) consistent with the standard model? Is there only one type of Higgs boson?

Hierarchy problem

Why is [gravity](#) such a weak force? It becomes strong for particles only at the [Planck scale](#), around 10^{19} [GeV](#), much above the [electroweak scale](#) (100 GeV, the energy scale dominating physics at low energies). Why are these scales so different from each other? What prevents quantities at the electroweak scale, such as the [Higgs boson](#) mass, from getting [quantum corrections](#) on the order of the Planck scale? Is the solution [supersymmetry](#), [extra dimensions](#), or just [anthropic fine-tuning](#)?

Magnetic monopoles

Did particles that carry "magnetic charge" exist in some past, higher-energy epoch? If so, do any remain today? ([Paul Dirac](#) showed the existence of some types of magnetic monopoles would explain [charge quantization](#)).^[13]

[Proton decay](#) and [spin crisis](#)

Is the proton fundamentally stable? Or does it decay with a finite lifetime as predicted by some extensions to the standard model?^[14] How do the quarks and gluons carry the spin of protons?^[15]

[Supersymmetry](#)

Is spacetime supersymmetry realized at TeV scale? If so, what is the mechanism of supersymmetry breaking? Does supersymmetry stabilize the electroweak scale, preventing high quantum corrections? Does the lightest [supersymmetric particle](#) (LSP or [Lightest Supersymmetric Particle](#)) comprise [dark matter](#)?

[Generations of matter](#)

Why are there three generations of [quarks](#) and [leptons](#)? Is there a theory that can explain the masses of particular quarks and leptons in particular generations from first principles (a theory of [Yukawa couplings](#))?

[Neutrino mass](#)

What is the mass of neutrinos, whether they follow [Dirac](#) or [Majorana](#) statistics? Is mass hierarchy normal or inverted? Is the CP violating phase 0?^{[16][17][18]}

[Color confinement](#)

Why has there never been measured a free quark or gluon, but only objects that are built out of them, like [mesons](#) and [baryons](#)? How does this phenomenon emerge from [QCD](#)?

[Strong CP problem](#) and [axions](#)

Why is the [strong nuclear interaction](#) invariant to [parity](#) and [charge conjugation](#)? Is [Peccei–Quinn theory](#) the solution to this problem?

[Anomalous magnetic dipole moment](#)

Why is the experimentally measured value of the [muon](#)'s anomalous magnetic dipole moment ("muon g-2") significantly different from the theoretically predicted value of that physical constant?^[19]

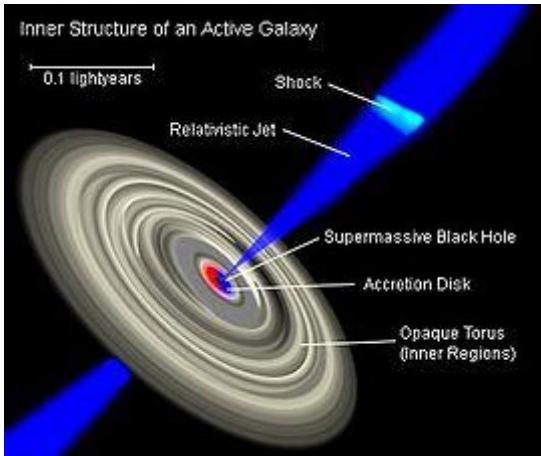
[Proton size puzzle](#)

What is the [electric charge radius](#) of the proton? How does it differ from gluonic charge?

[Pentaquarks](#) and other [exotic hadrons](#)

What combinations of quarks are possible? Why were pentaquarks so difficult to discover?^[20] Are they a tightly-bound system of five elementary particles, or a more weakly-bound pairing of a baryon and a meson?^[21]

Astronomy and astrophysics



Relativistic jet. The environment around the [AGN](#) where the [relativistic plasma](#) is collimated into jets which escape along the pole of the [supermassive black hole](#)

[Astrophysical jet](#)

Why do the [accretion discs](#) surrounding certain astronomical objects, such as the nuclei of [active galaxies](#), emit [relativistic jets](#) along their polar axes?^[22] Why are there [quasi-periodic oscillations](#) in many accretion discs?^[23] Why does the period of these oscillations scale as the inverse of the mass of the central object?^[24] Why are there sometimes overtones, and why do these appear at different frequency ratios in different objects?^[25]

[Coronal heating problem](#)

Why is the Sun's corona (atmosphere layer) so much hotter than the Sun's surface?

Why is the [magnetic reconnection](#) effect many orders of magnitude faster than predicted by standard models?

[Diffuse interstellar bands](#)

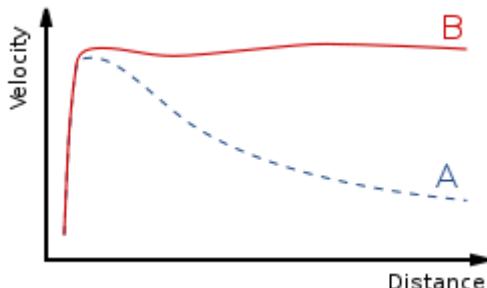
What is responsible for the numerous interstellar absorption lines detected in astronomical spectra? Are they molecular in origin, and if so which molecules are responsible for them? How do they form?

[Gamma ray bursts](#)

How do these short-duration high-intensity bursts originate?^[21]

[Supermassive black holes](#)

What is the origin of the [M-sigma relation](#) between supermassive black hole mass and galaxy velocity dispersion?^[26] How did the most distant quasars grow their supermassive black holes up to 10^{10} solar masses so early in the history of the Universe?



Rotation curve of a typical spiral galaxy: predicted (A) and observed (B). Can the discrepancy between the curves be attributed to dark matter?

[Kuiper cliff](#)

Why does the number of objects in the Solar System's [Kuiper belt](#) fall off rapidly and unexpectedly beyond a radius of 50 astronomic units?

[Flyby anomaly](#)

Why is the observed energy of satellites [flying by Earth](#) sometimes different by a minute amount from the value predicted by theory?

[Galaxy rotation problem](#)

Is [dark matter](#) responsible for differences in observed and theoretical speed of stars revolving around the center of galaxies, or is it something else?

[Supernovae](#)

What is the exact mechanism by which an implosion of a dying star becomes an explosion?

[Three-body problem](#)

Exact predictions for the positions of three (or more) bodies floating in space attracted by gravity.

[Ultra-high-energy cosmic ray](#)

^[7] Why is it that some cosmic rays appear to possess energies that are impossibly high (the so-called [OMG particle](#)), given that there are no sufficiently energetic cosmic ray sources near the Earth? Why is it that (apparently) some cosmic rays emitted by distant sources have energies above the [Greisen–Zatsepin–Kuzmin limit](#)?^{[2][7]}

Rotation rate of [Saturn](#)

Why does the [magnetosphere of Saturn](#) exhibit a (slowly changing) periodicity close to that at which the planet's clouds rotate? What is the true rotation rate of Saturn's deep interior?^[27]

[Origin of magnetar magnetic field](#)

What is the origin of [magnetar](#) magnetic field?

[Large-scale anisotropy](#)

Is the Universe at very large scales [anisotropic](#), making the [cosmological principle](#) an invalid assumption? The number count and intensity dipole anisotropy in radio, NRAO VLA Sky Survey (NVSS) catalogue^[28] is inconsistent with the local motion as derived from [cosmic microwave background](#)^{[29][30]} and indicate an intrinsic dipole anisotropy. The same NVSS radio data also shows an intrinsic dipole in polarization density and degree of polarization^[31] in the same direction as in number count and intensity. There are other several observation revealing large-scale anisotropy. The optical polarization from quasars shows polarization alignment over a very large scale of Gpc.^{[32][33][34]} The cosmic-microwave-background data shows several features of anisotropy,^{[35][36][37][38]} which are not consistent with the [Big Bang](#) model.

[Photon underproduction crisis](#)

Why do galaxies and quasars produce about 5 times less ultraviolet light than expected in the low-redshift universe?

[Space roar](#)

Why is space roar six times louder than expected? What is the source of space roar?

[Age–metallicity relation](#) in the Galactic disk

Is there a universal age–metallicity relation (AMR) in the Galactic disk (both "thin" and "thick" parts of the disk)? Although in the local (primarily thin) disk of the [Milky Way](#) there is no evidence of a strong AMR,^[39] a sample of 229 nearby "thick" disk stars has been used to investigate the existence of an age–metallicity relation in the Galactic thick disk, and indicate that there is an age–metallicity relation present in the thick disk.^{[40][41]} Stellar ages from asteroseismology confirm the lack of any strong age-metallicity relation in the Galactic disc.^[42]

[The lithium problem](#)

Why is there a discrepancy between the amount of lithium-7 predicted to be produced in [Big Bang nucleosynthesis](#) and the amount observed in very old stars?^[43]

[Solar wind interaction with comets](#)

In 2007 the [Ulysses](#) spacecraft passed through the tail of comet [C/2006 P1](#) (McNaught) and found surprising results concerning the interaction of the solar wind with the tail.

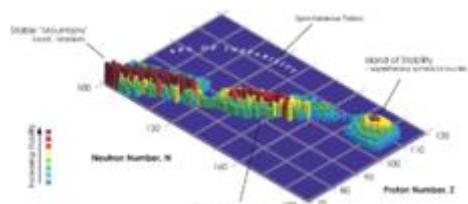
[Ultraluminous pulsar](#)

The [ultraluminous X-ray source M82 X-2](#) was thought to be a black hole, but in October 2014 data from NASA's space-based X-ray telescope [NuStar](#) indicated that M82 X-2 is a [pulsar](#) many times brighter than the [Eddington limit](#).

[The injection problem](#)

Fermi acceleration is thought to be the primary mechanism that accelerates astrophysical particles to high energy. However, it is unclear what mechanism causes those particles to initially have energies high enough for Fermi acceleration to work on them.^[44]

Nuclear physics



The "[island of stability](#)" in the proton vs. neutron number plot for heavy nuclei

[Quantum chromodynamics](#)

What are the phases of strongly interacting matter, and what roles do they play in the evolution of [cosmos](#)? What is the detailed [partonic](#) structure of the [nucleons](#)? What does QCD predict for the properties of strongly interacting matter? What determines the key features of QCD, and what is their relation to the nature of [gravity](#) and [spacetime](#)? Do [glueballs](#) exist? Do [gluons](#) acquire mass dynamically despite having a zero [rest mass](#), within [hadrons](#)? Does QCD truly lack [CP-violations](#)? Do gluons [saturate](#) when their occupation number is large? Do gluons form a dense system called [Color Glass Condensate](#)? What are the signatures and evidences for the Balitsky-Fadin-Kuarev-Lipatov, [Balitsky-Kovchegov](#), [Catani-Ciafaloni-Fiorani-Marchesini](#) evolution equations?

[Nuclei](#) and [nuclear astrophysics](#)

What is the nature of the [nuclear force](#) that binds [protons](#) and [neutrons](#) into [stable nuclei](#) and rare isotopes? What is the origin of simple patterns^[which?] in complex nuclei? What is the nature of exotic excitations in nuclei at the frontiers of stability and their role in stellar processes? What is the nature of [neutron stars](#) and dense [nuclear matter](#)? What is the origin of the elements in the [cosmos](#)? What are the nuclear reactions that drive [stars](#) and stellar explosions?

[Plasma physics](#) and [fusion power](#)

Fusion energy may potentially provide power from abundant resource (e.g. hydrogen) without the type of radioactive waste that fission energy currently produces. However, can ionized gases (plasma) be [confined](#) long enough and at a high enough temperature to create fusion power? What kinds of advances in material science must be made?

Atomic, molecular and optical physics

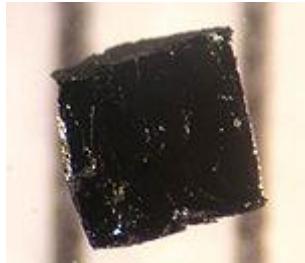
[Hydrogen atom](#)

What is the solution to the [Schrödinger equation](#) for the hydrogen atom in arbitrary electric and magnetic fields?^[45]

[Abraham–Minkowski controversy](#)

What's the momentum of photons in optical media?

Condensed matter physics



A sample of a [cuprate](#) superconductor (specifically [BSCCO](#)). The mechanism for superconductivity of these materials is unknown.

[High-temperature superconductors](#)

What is the mechanism that causes certain materials to exhibit [superconductivity](#) at temperatures much higher than around 25 [kelvin](#)? Is it possible to make a material that is a superconductor at room temperature?^[2]

[Amorphous solids](#)

What is the nature of the [glass transition](#) between a fluid or regular solid and a glassy [phase](#)? What are the physical processes giving rise to the general properties of glasses and the glass transition?^{[46][47]}

[Cryogenic electron emission](#)

Why does the electron emission in the absence of light increase as the temperature of a [photomultiplier](#) is decreased?^{[48][49]}

[Sonoluminescence](#)

What causes the emission of short bursts of light from imploding bubbles in a liquid when excited by sound?^{[50][51]}

[Turbulence](#)

Is it possible to make a theoretical model to describe the statistics of a turbulent flow (in particular, its internal structures)?^[2] Also, under what conditions do [smooth solutions to the Navier–Stokes equations](#) exist? This problem is also listed as one of the [Millennium Prize Problems](#) in mathematics.

[Alfvénic turbulence](#)

In the solar wind and the turbulence in solar flares, coronal mass ejections, and magnetospheric substorms are major unsolved problems in space plasma physics.^[52]

[Topological order](#)

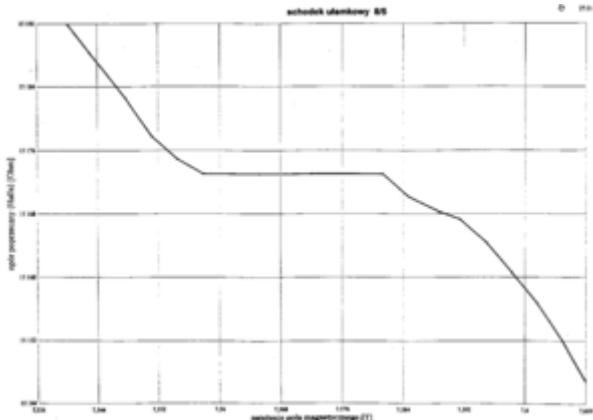
Is topological order stable at non-zero [temperature](#)? Equivalently, is it possible to have three-dimensional [self-correcting quantum memory](#)?^[53]

[Fractional Hall effect](#)

What mechanism explains the existence of the $\nu = 5/2$ state in the fractional [quantum Hall effect](#)? Does it describe quasiparticles with [non-Abelian fractional statistics](#)?^[54]

[Bose–Einstein condensation](#)

How do we rigorously prove the existence of Bose–Einstein condensates for general interacting systems?^[55]



Magnetoresistance in a $\nu = 8/5$ fractional quantum Hall state.

Liquid crystals

Can the [nematic](#) to [smectic \(A\)](#) phase transition in liquid crystal states be characterized as a [universal](#) phase transition?^{[56][57]}

Semiconductor nanocrystals

What is the cause of the nonparabolicity of the energy-size dependence for the lowest [optical absorption transition](#) of [quantum dots](#)?^[58]

Electronic band structure

Why can band gaps not accurately be calculated?

Biophysics

[Stochasticity](#) and robustness to [noise](#) in [gene expression](#)

How do genes govern our body, withstanding different external pressures and internal stochasticity? [Certain models](#) exist for genetic processes, but we are far from understanding the whole picture, in particular in [development](#) where gene expression must be tightly regulated.

Quantitative study of the [immune system](#)

What are the quantitative properties of immune responses? What are the basic building blocks of immune system networks? What roles are played by stochasticity?

[Homochirality](#)

What is the origin of the preponderance of specific [enantiomers](#) in [biochemical systems](#)?

Problems solved in recent decades

[Ball lightning](#) (2014)

In January 2014, scientists from [Northwest Normal University](#) in [Lanzhou](#), China, published the results of recordings made in July 2012 of the optical spectrum of what was thought to be natural ball lightning made during the study of ordinary cloud-ground lightning on China's [Qinghai Plateau](#).^{[59][60]} At a distance of 900 m (3,000 ft), a total of 1.3 seconds of digital video of the ball lightning and its spectrum was made, from the formation of the ball lightning after the ordinary lightning struck the ground, up to the optical decay of the phenomenon. The recorded ball lightning is believed to be vaporized soil elements that then rapidly oxidizes in the atmosphere. The nature of the true theory is still not clear.^[60]

[Electroweak symmetry breaking](#) (2012)

The mechanism responsible for breaking the electroweak gauge symmetry, giving mass to the [W and Z bosons](#) was solved with the discovery of the [Higgs Boson](#) of the [Standard Model](#), with the expected couplings to the weak bosons. No evidence of a strong dynamics solution, as proposed by [Technicolor](#), has been observed.

[Hipparcos anomaly](#) (2012)

The actual [distance to the Pleiades](#) - the High Precision Parallax Collecting Satellite (Hipparcos) measured the parallax of the Pleiades and determined a distance of 385 light years. This was significantly different from other measurements made by means of actual to apparent brightness measurement or [absolute magnitude](#). The anomaly was due to the use of a weighted mean when there is a correlation between distances and distance errors for stars in clusters. It is resolved by using an unweighted mean. There is no systematic bias in the Hipparcos data when it comes to star clusters.^[61]

[Pioneer anomaly](#) (2012)

There was a deviation in the predicted accelerations of the [Pioneer](#) spacecraft as they left the Solar System.^{[2][7]} It is believed that this is a result of previously unaccounted-for [thermal recoil force](#).^{[62][63]}

Long-duration [gamma ray bursts](#) (2003)

Long-duration bursts are associated with the deaths of massive stars in a specific kind of [supernova](#)-like event commonly referred to as a [collapsar](#). However, there are also long-duration GRBs that show evidence against an associated supernova, such as the Swift event [GRB 060614](#).

[Solar neutrino problem](#) (2002)

Solved by a new understanding of [neutrino](#) physics, requiring a modification of the [Standard Model of particle physics](#)—specifically, [neutrino oscillation](#).

[Bose-Einstein Condensation](#) (1995)

Composite bosons in the form of dilute atomic vapors were cooled to quantum degeneracy using the techniques of [laser cooling](#) and [evaporative cooling](#).

[Cosmic age problem](#) (1990s)

The estimated age of the universe was around 3 to 8 billion years younger than estimates of the ages of the oldest stars in the Milky Way. Better estimates for the distances to the stars, and the recognition of the accelerating expansion of the universe, reconciled the age estimates. (This assertion is being contested. Justification has been posted on Age Crisis page).

[Quasars](#) (1980s)

The nature of quasars was not understood for decades.^[64] They are now accepted as a type of [active galaxy](#) where the enormous energy output results from matter falling into a massive [black hole](#) in the center of the galaxy.^[65]

List of unsolved problems in physics

From Wikipedia, the free encyclopedia

Main article: [List of unsolved problems](#)

Some of the major [unsolved problems](#) in [physics](#) are [theoretical](#), meaning that existing theories seem incapable of explaining a certain observed [phenomenon](#) or

experimental result. The others are [experimental](#), meaning that there is a difficulty in creating an experiment to test a proposed theory or investigate a phenomenon in greater detail.

Contents

- [1 Unsolved problems by subfield](#)
 - [1.1 General Physics/Quantum Physics](#)
 - [1.2 Cosmology and general relativity](#)
 - [1.3 Quantum gravity](#)
 - [1.4 High-energy physics/particle physics](#)
 - [1.5 Astronomy and astrophysics](#)
 - [1.6 Nuclear physics](#)
 - [1.7 Atomic, molecular and optical physics](#)
 - [1.8 Condensed matter physics](#)
 - [1.9 Biophysics](#)
- [2 Problems solved in recent decades](#)
- [3 See also](#)
- [4 References](#)
- [5 External links](#)

Unsolved problems by subfield

The following is a list of unsolved problems grouped into broad area of physics.[\[1\]](#)

General Physics/Quantum Physics

[Entropy \(arrow of time\)](#)

Why did the universe have such low [entropy](#) in the past, resulting in the distinction between past and future and the [second law of thermodynamics](#)?^[2] Why are [CP violations](#) observed in certain weak force decays, but not elsewhere? Are CP violations somehow a product of the [Second Law of Thermodynamics](#), or are they a separate arrow of time? Are there exceptions to the principle of [causality](#)? Is there a single possible past? Is the [present](#) moment physically distinct from the past and future or is it merely an emergent property of consciousness? Why does [time have a direction](#)? What links the quantum arrow of time to the thermodynamic arrow?

[Interpretation of quantum mechanics](#)

How does the quantum description of reality, which includes elements such as the [superposition](#) of states and [wavefunction collapse](#) or [quantum decoherence](#), give rise to the reality we perceive? Another way of stating this is the [Measurement problem](#) – what constitutes a "measurement" which causes the wave function to collapse into a definite state? Unlike classical physical processes, some quantum mechanical processes (such as [quantum teleportation](#) arising from [quantum entanglement](#)) cannot be simultaneously "local", "causal" and "real", but it is not obvious which of these properties must be sacrificed or if an attempt to describe quantum mechanical

processes in these senses is a [category error](#) that doesn't even make sense to talk about if one properly understands quantum mechanics.

[Theory of everything \("Grand Unification Theory"\)](#)

Is there a theory which explains the values of all [fundamental physical constants](#)?^[2] Is the theory string theory? Is there a theory which explains why the [gauge groups](#) of the [standard model](#) are as they are, why observed [spacetime](#) has 3 spatial dimensions and 1 dimension of time, and why all laws of physics are as they are? Do "fundamental physical constants" vary over time? Are any of the particles in the standard model of particle physics actually composite particles too tightly bound to observe as such at current experimental energies? Are there fundamental particles that have not yet been observed, and, if so, which ones are they and what are their properties? Are there unobserved fundamental forces implied by a theory that explains other unsolved problems in physics?

[Yang–Mills theory](#)

Given an arbitrary [compact gauge group](#), does a non-trivial quantum [Yang–Mills theory](#) with a finite [mass gap](#) exist? This problem is also listed as one of the [Millennium Prize Problems](#) in mathematics.

[Physical information](#)

Are there physical phenomena, such as [wave function collapse](#) or [black holes](#), which irrevocably destroy information about their prior states? How is [quantum information](#) stored as a state of a quantum system?

[Quantum computation](#)

Is [David Deutsch](#)'s notion of a [universal quantum computer](#) sufficient to [efficiently simulate](#) an arbitrary physical system?^[3]

[Dimensionless physical constant](#)

At the present time, the values of the dimensionless physical constants cannot be calculated; they are determined only by physical measurement.^{[4][5]} What is the minimum number of dimensionless physical constants from which all other dimensionless physical constants can be derived? Are dimensionful physical constants necessary at all?

Cosmology and general relativity

[Cosmic inflation](#)

Is the theory of cosmic inflation correct, and, if so, what are the details of this epoch? What is the hypothetical [inflaton field](#) giving rise to inflation? If inflation happened at one point, is it [self-sustaining through inflation of quantum-mechanical fluctuations](#), and thus ongoing in some extremely distant place?^[6]

[Horizon problem](#)

Why is the distant universe so homogeneous when the [Big Bang theory](#) seems to predict larger measurable [anisotropies](#) of the night sky than those observed?

Cosmological [inflation](#) is generally accepted as the solution, but are other possible explanations such as a [variable speed of light](#) more appropriate?^[7]

[Future of the universe](#)

Is the universe heading towards a [Big Freeze](#), a [Big Rip](#), a [Big Crunch](#), or a [Big Bounce](#)? Or is it part of an infinitely recurring [cyclic model](#)?

[Gravitational wave](#)

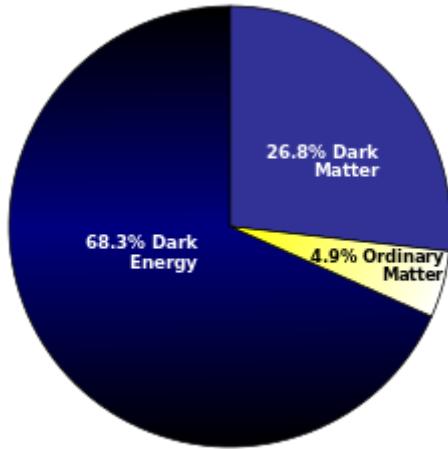
Can gravitational waves be directly detected?^{[8][9]}

[Baryon asymmetry](#)

Why is there far more [matter](#) than [antimatter](#) in the [observable universe](#)?

Cosmological constant problem

Why does the [zero-point energy](#) of the [vacuum](#) not cause a large [cosmological constant](#)? What cancels it out?^[10]



Estimated distribution of dark matter and dark energy in the universe

Dark matter

What is the identity of dark matter?^[7] Is it a [particle](#)? Is it the lightest [superpartner](#) (LSP)? Do the phenomena attributed to dark matter point not to some form of matter but actually to an [extension of gravity](#)?

Dark energy

What is the cause of the observed [accelerated expansion \(de Sitter phase\)](#) of the Universe? Why is the energy density of the dark energy component of the same magnitude as the density of matter at present when the two evolve quite differently over time; could it be simply that we are observing at exactly the [right time](#)? Is dark energy a pure cosmological constant or are models of [quintessence](#) such as [phantom energy](#) applicable?

Dark flow

Is a non-spherically symmetric gravitational pull from outside the observable Universe responsible for some of the observed motion of large objects such as galactic clusters in the universe?

Ecliptic alignment of CMB anisotropy

Some large features of the microwave sky at distances of over 13 billion light years appear to be aligned with both the motion and orientation of the solar system. Is this due to systematic errors in processing, contamination of results by local effects, or an unexplained violation of the [Copernican principle](#)?

Shape of the Universe

What is the 3-[manifold](#) of [comoving space](#), i.e. of a comoving spatial section of the Universe, informally called the "shape" of the Universe? Neither the curvature nor the topology is presently known, though the curvature is known to be "close" to zero on observable scales. The [cosmic inflation](#) hypothesis suggests that the shape of the Universe may be unmeasurable, but, since 2003, [Jean-Pierre Luminet](#), et al., and other groups have suggested that the shape of the Universe may be the [Poincaré dodecahedral space](#). Is the shape unmeasurable; the Poincaré space; or another 3-manifold?

Quantum gravity

Vacuum catastrophe

Why does the predicted mass of the [quantum vacuum](#) have little effect on the expansion of the universe?

Quantum gravity

Can [quantum mechanics](#) and [general relativity](#) be realized as a fully consistent theory (perhaps as a [quantum field theory](#))?^[11] Is spacetime fundamentally continuous or discrete? Would a consistent theory involve a force mediated by a hypothetical [graviton](#), or be a product of a discrete structure of spacetime itself (as in [loop quantum gravity](#))? Are there deviations from the predictions of general relativity at very small or very large scales or in other extreme circumstances that flow from a quantum gravity theory?

Black holes, black hole information paradox, and black hole radiation

Do black holes produce thermal radiation, as expected on theoretical grounds? Does this radiation contain information about their inner structure, as suggested by [Gauge-gravity duality](#), or not, as implied by [Hawking's](#) original calculation? If not, and black holes can evaporate away, what happens to the information stored in them (since quantum mechanics does not provide for the destruction of information)? Or does the radiation stop at some point leaving black hole remnants? Is there another way to probe their internal structure somehow, if such a structure [even exists](#)?

Extra dimensions

Does nature have more than four [spacetime](#) dimensions? If so, what is their size? Are dimensions a fundamental property of the universe or an emergent result of other physical laws? Can we experimentally observe evidence of higher spatial dimensions?

The [cosmic censorship hypothesis](#) and the [chronology protection conjecture](#)

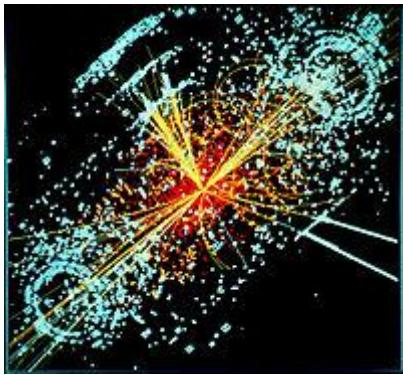
Can singularities not hidden behind an event horizon, known as "[naked singularities](#)", arise from realistic initial conditions, or is it possible to prove some version of the "cosmic censorship hypothesis" of [Roger Penrose](#) which proposes that this is impossible?^[12] Similarly, will the [closed timelike curves](#) which arise in some solutions to the equations of general relativity (and which imply the possibility of backwards [time travel](#)) be ruled out by a theory of [quantum gravity](#) which unites general relativity with quantum mechanics, as suggested by the "chronology protection conjecture" of [Stephen Hawking](#)?

Locality

Are there non-local phenomena in quantum physics? If they exist, are non-local phenomena limited to the entanglement revealed in the violations of the [Bell inequalities](#), or can information and conserved quantities also move in a non-local way? Under what circumstances are non-local phenomena observed? What does the existence or absence of non-local phenomena imply about the fundamental structure of spacetime? How does this relate to [quantum entanglement](#)? How does this elucidate the proper interpretation of the fundamental nature of quantum physics?

High-energy physics/particle physics

See also: [Beyond the Standard Model](#)



A [simulation](#) of how a detection of the Higgs particle would appear in the [CMS](#) detector at [CERN](#)

[Higgs mechanism](#)

Are the [branching ratios](#) of the [Higgs boson](#) consistent with the standard model? Is there only one type of Higgs boson?

[Hierarchy problem](#)

Why is [gravity](#) such a weak force? It becomes strong for particles only at the [Planck scale](#), around 10^{19} [GeV](#), much above the [electroweak scale](#) (100 GeV, the energy scale dominating physics at low energies). Why are these scales so different from each other? What prevents quantities at the electroweak scale, such as the [Higgs boson](#) mass, from getting [quantum corrections](#) on the order of the Planck scale? Is the solution [supersymmetry](#), [extra dimensions](#), or just [anthropic fine-tuning](#)?

[Magnetic monopoles](#)

Did particles that carry "magnetic charge" exist in some past, higher-energy epoch? If so, do any remain today? ([Paul Dirac](#) showed the existence of some types of magnetic monopoles would explain [charge quantization](#)).^[13]

[Proton decay](#) and [spin crisis](#)

Is the proton fundamentally stable? Or does it decay with a finite lifetime as predicted by some extensions to the standard model?^[14] How do the quarks and gluons carry the spin of protons?^[15]

[Supersymmetry](#)

Is spacetime supersymmetry realized at TeV scale? If so, what is the mechanism of supersymmetry breaking? Does supersymmetry stabilize the electroweak scale, preventing high quantum corrections? Does the lightest [supersymmetric particle](#) (LSP or [Lightest Supersymmetric Particle](#)) comprise [dark matter](#)?

[Generations of matter](#)

Why are there three generations of [quarks](#) and [leptons](#)? Is there a theory that can explain the masses of particular quarks and leptons in particular generations from first principles (a theory of [Yukawa couplings](#))?

[Neutrino mass](#)

What is the mass of neutrinos, whether they follow [Dirac](#) or [Majorana](#) statistics? Is mass hierarchy normal or inverted? Is the CP violating phase 0?^{[16][17][18]}

[Color confinement](#)

Why has there never been measured a free quark or gluon, but only objects that are built out of them, like [mesons](#) and [baryons](#)? How does this phenomenon emerge from [QCD](#)?

[Strong CP problem](#) and [axions](#)

Why is the [strong nuclear interaction](#) invariant to [parity](#) and [charge conjugation](#)? Is [Peccei–Quinn theory](#) the solution to this problem?

[Anomalous magnetic dipole moment](#)

Why is the experimentally measured value of the [muon](#)'s anomalous magnetic dipole moment ("muon g-2") significantly different from the theoretically predicted value of that physical constant?^[19]

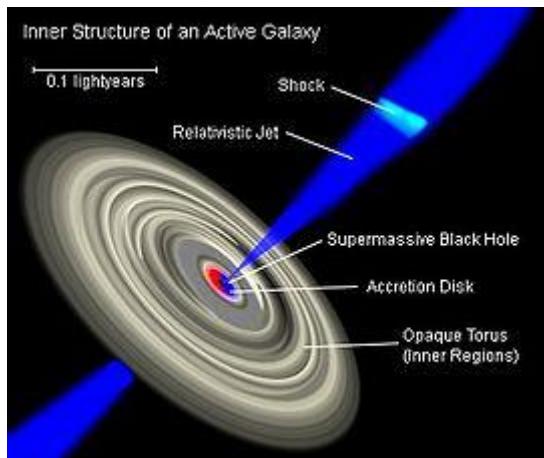
Proton size puzzle

What is the [electric charge radius](#) of the proton? How does it differ from gluonic charge?

Pentaquarks and other [exotic hadrons](#)

What combinations of quarks are possible? Why were pentaquarks so difficult to discover?^[20] Are they a tightly-bound system of five elementary particles, or a more weakly-bound pairing of a baryon and a meson?^[21]

Astronomy and astrophysics



Relativistic jet. The environment around the [AGN](#) where the [relativistic plasma](#) is collimated into jets which escape along the pole of the [supermassive black hole](#)

Astrophysical jet

Why do the [accretion discs](#) surrounding certain astronomical objects, such as the nuclei of [active galaxies](#), emit [relativistic jets](#) along their polar axes?^[22] Why are there [quasi-periodic oscillations](#) in many accretion discs?^[23] Why does the period of these oscillations scale as the inverse of the mass of the central object?^[24] Why are there sometimes overtones, and why do these appear at different frequency ratios in different objects?^[25]

Coronal heating problem

Why is the Sun's corona (atmosphere layer) so much hotter than the Sun's surface?

Why is the [magnetic reconnection](#) effect many orders of magnitude faster than predicted by standard models?

Diffuse interstellar bands

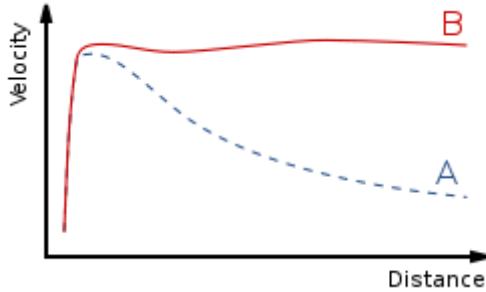
What is responsible for the numerous interstellar absorption lines detected in astronomical spectra? Are they molecular in origin, and if so which molecules are responsible for them? How do they form?

Gamma ray bursts

How do these short-duration high-intensity bursts originate?^[2]

Supermassive black holes

What is the origin of the [M-sigma relation](#) between supermassive black hole mass and galaxy velocity dispersion?^[26] How did the most distant quasars grow their supermassive black holes up to 10^{10} solar masses so early in the history of the Universe?



Rotation curve of a typical spiral galaxy: predicted (**A**) and observed (**B**). Can the discrepancy between the curves be attributed to dark matter?

Kuiper cliff

Why does the number of objects in the Solar System's [Kuiper belt](#) fall off rapidly and unexpectedly beyond a radius of 50 astronomic units?

Flyby anomaly

Why is the observed energy of satellites [flying by Earth](#) sometimes different by a minute amount from the value predicted by theory?

Galaxy rotation problem

Is [dark matter](#) responsible for differences in observed and theoretical speed of stars revolving around the center of galaxies, or is it something else?

Supernovae

What is the exact mechanism by which an implosion of a dying star becomes an explosion?

Three-body problem

Exact predictions for the positions of three (or more) bodies floating in space attracted by gravity.

Ultra-high-energy cosmic ray

^[7] Why is it that some cosmic rays appear to possess energies that are impossibly high (the so-called [OMG particle](#)), given that there are no sufficiently energetic cosmic ray sources near the Earth? Why is it that (apparently) some cosmic rays emitted by distant sources have energies above the [Greisen–Zatsepin–Kuzmin limit](#)?^{[2][7]}

Rotation rate of Saturn

Why does the [magnetosphere of Saturn](#) exhibit a (slowly changing) periodicity close to that at which the planet's clouds rotate? What is the true rotation rate of Saturn's deep interior?^[27]

Origin of magnetar magnetic field

What is the origin of [magnetar](#) magnetic field?

Large-scale anisotropy

Is the Universe at very large scales [anisotropic](#), making the [cosmological principle](#) an invalid assumption? The number count and intensity dipole anisotropy in radio, NRAO VLA Sky Survey (NVSS) catalogue^[28] is inconsistent with the local motion as derived from [cosmic microwave background](#)^{[29][30]} and indicate an intrinsic dipole anisotropy. The same NVSS radio data also shows an intrinsic dipole in polarization density and degree of polarization^[31] in the same direction as in number count and intensity. There are other several observation revealing large-scale anisotropy. The optical polarization from quasars shows polarization alignment over a very large scale of Gpc.^{[32][33][34]} The cosmic-microwave-background data shows several features of anisotropy,^{[35][36][37][38]} which are not consistent with the [Big Bang](#) model.

Photon underproduction crisis

Why do galaxies and quasars produce about 5 times less ultraviolet light than expected in the low-redshift universe?

Space roar

Why is space roar six times louder than expected? What is the source of space roar?
Age–metallicity relation in the Galactic disk

Is there a universal age–metallicity relation (AMR) in the Galactic disk (both "thin" and "thick" parts of the disk)? Although in the local (primarily thin) disk of the Milky Way there is no evidence of a strong AMR,^[39] a sample of 229 nearby "thick" disk stars has been used to investigate the existence of an age–metallicity relation in the Galactic thick disk, and indicate that there is an age–metallicity relation present in the thick disk.^{[40][41]} Stellar ages from asteroseismology confirm the lack of any strong age–metallicity relation in the Galactic disc.^[42]

The lithium problem

Why is there a discrepancy between the amount of lithium-7 predicted to be produced in Big Bang nucleosynthesis and the amount observed in very old stars?^[43]

Solar wind interaction with comets

In 2007 the *Ulysses* spacecraft passed through the tail of comet C/2006 P1 (McNaught) and found surprising results concerning the interaction of the solar wind with the tail.

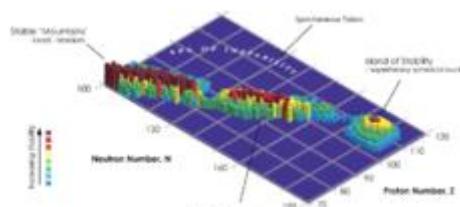
Ultraluminous pulsar

The ultraluminous X-ray source M82 X-2 was thought to be a black hole, but in October 2014 data from NASA's space-based X-ray telescope NuStar indicated that M82 X-2 is a pulsar many times brighter than the Eddington limit.

The injection problem

Fermi acceleration is thought to be the primary mechanism that accelerates astrophysical particles to high energy. However, it is unclear what mechanism causes those particles to initially have energies high enough for Fermi acceleration to work on them.^[44]

Nuclear physics



The "island of stability" in the proton vs. neutron number plot for heavy nuclei

Quantum chromodynamics

What are the phases of strongly interacting matter, and what roles do they play in the evolution of cosmos? What is the detailed partonic structure of the nucleons? What does QCD predict for the properties of strongly interacting matter? What determines the key features of QCD, and what is their relation to the nature of gravity and spacetime? Do glueballs exist? Do gluons acquire mass dynamically despite having a zero rest mass, within hadrons? Does QCD truly lack CP-violations? Do gluons saturate when their occupation number is large? Do gluons form a dense system called Color Glass Condensate? What are the signatures and evidences for the Balitsky-Fadin-Kuarev-Lipatov, Balitsky-Kovchegov, Catani-Ciafaloni-Fiorani-Marchesini evolution equations?

Nuclei and nuclear astrophysics

What is the nature of the nuclear force that binds protons and neutrons into stable nuclei and rare isotopes? What is the origin of simple patterns^[which?] in complex

nuclei? What is the nature of exotic excitations in nuclei at the frontiers of stability and their role in stellar processes? What is the nature of [neutron stars](#) and dense [nuclear matter](#)? What is the origin of the elements in the [cosmos](#)? What are the nuclear reactions that drive [stars](#) and stellar explosions?

[Plasma physics](#) and [fusion power](#)

Fusion energy may potentially provide power from abundant resource (e.g. hydrogen) without the type of radioactive waste that fission energy currently produces. However, can ionized gases (plasma) be [confined](#) long enough and at a high enough temperature to create fusion power? What kinds of advances in material science must be made?

Atomic, molecular and optical physics

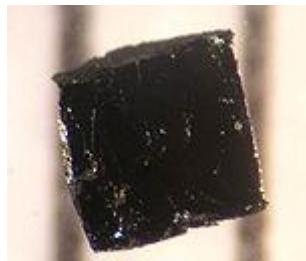
[Hydrogen atom](#)

What is the solution to the [Schrödinger equation](#) for the hydrogen atom in arbitrary electric and magnetic fields?^[45]

[Abraham–Minkowski controversy](#)

What's the momentum of photons in optical media?

Condensed matter physics



A sample of a [cuprate](#) superconductor (specifically [BSCCO](#)). The mechanism for superconductivity of these materials is unknown.

[High-temperature superconductors](#)

What is the mechanism that causes certain materials to exhibit [superconductivity](#) at temperatures much higher than around 25 [kelvin](#)? Is it possible to make a material that is a superconductor at room temperature?^[2]

[Amorphous solids](#)

What is the nature of the [glass transition](#) between a fluid or regular solid and a glassy [phase](#)? What are the physical processes giving rise to the general properties of glasses and the glass transition?^{[46][47]}

[Cryogenic electron emission](#)

Why does the electron emission in the absence of light increase as the temperature of a [photomultiplier](#) is decreased?^{[48][49]}

[Sonoluminescence](#)

What causes the emission of short bursts of light from imploding bubbles in a liquid when excited by sound?^{[50][51]}

[Turbulence](#)

Is it possible to make a theoretical model to describe the statistics of a turbulent flow (in particular, its internal structures)?^[2] Also, under what conditions do [smooth solutions to the Navier–Stokes equations](#) exist? This problem is also listed as one of the [Millennium Prize Problems](#) in mathematics.

[Alfvénic turbulence](#)

In the solar wind and the turbulence in solar flares, coronal mass ejections, and magnetospheric substorms are major unsolved problems in space plasma physics.^[52]

Topological order

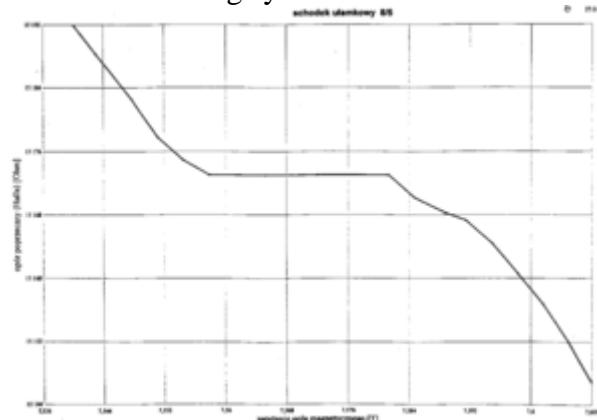
Is topological order stable at non-zero [temperature](#)? Equivalently, is it possible to have three-dimensional [self-correcting quantum memory](#)?^[53]

Fractional Hall effect

What mechanism explains the existence of the $\nu = 5/2$ state in the fractional [quantum Hall effect](#)? Does it describe quasiparticles with [non-Abelian fractional statistics](#)?^[54]

Bose–Einstein condensation

How do we rigorously prove the existence of Bose–Einstein condensates for general interacting systems?^[55]



Magnetoresistance in a $\nu = 8/5$ fractional quantum Hall state.

Liquid crystals

Can the [nematic](#) to [smectic \(A\)](#) phase transition in liquid crystal states be characterized as a [universal](#) phase transition?^{[56][57]}

Semiconductor nanocrystals

What is the cause of the nonparabolicity of the energy-size dependence for the lowest [optical absorption transition](#) of [quantum dots](#)?^[58]

Electronic band structure

Why can band gaps not accurately be calculated?

Biophysics

Stochasticity and robustness to [noise](#) in [gene expression](#)

How do genes govern our body, withstanding different external pressures and internal stochasticity? [Certain models](#) exist for genetic processes, but we are far from understanding the whole picture, in particular in [development](#) where gene expression must be tightly regulated.

Quantitative study of the immune system

What are the quantitative properties of immune responses? What are the basic building blocks of immune system networks? What roles are played by stochasticity?

Homochirality

What is the origin of the preponderance of specific [enantiomers](#) in [biochemical systems](#)?

Problems solved in recent decades

Ball lightning (2014)

In January 2014, scientists from [Northwest Normal University](#) in [Lanzhou](#), China, published the results of recordings made in July 2012 of the optical spectrum of what was thought to be natural ball lightning made during the study of ordinary cloud–ground lightning on China's [Qinghai Plateau](#).^{[59][60]} At a distance of 900 m (3,000 ft), a total of 1.3 seconds of digital video of the ball lightning and its spectrum was made, from the formation of the ball lightning after the ordinary lightning struck the ground, up to the optical decay of the phenomenon. The recorded ball lightning is believed to be vaporized soil elements that then rapidly oxidizes in the atmosphere. The nature of the true theory is still not clear.^[60]

Electroweak symmetry breaking (2012)

The mechanism responsible for breaking the electroweak gauge symmetry, giving mass to the [W and Z bosons](#) was solved with the discovery of the [Higgs Boson](#) of the [Standard Model](#), with the expected couplings to the weak bosons. No evidence of a strong dynamics solution, as proposed by [Technicolor](#), has been observed.

Hipparcos anomaly (2012)

The actual [distance to the Pleiades](#) - the High Precision Parallax Collecting Satellite (Hipparcos) measured the parallax of the Pleiades and determined a distance of 385 light years. This was significantly different from other measurements made by means of actual to apparent brightness measurement or [absolute magnitude](#). The anomaly was due to the use of a weighted mean when there is a correlation between distances and distance errors for stars in clusters. It is resolved by using an unweighted mean. There is no systematic bias in the Hipparcos data when it comes to star clusters.^[61]

Pioneer anomaly (2012)

There was a deviation in the predicted accelerations of the [Pioneer](#) spacecraft as they left the Solar System.^{[2][7]} It is believed that this is a result of previously unaccounted-for [thermal recoil force](#).^{[62][63]}

Long-duration gamma ray bursts (2003)

Long-duration bursts are associated with the deaths of massive stars in a specific kind of [supernova](#)-like event commonly referred to as a [collapsar](#). However, there are also long-duration GRBs that show evidence against an associated supernova, such as the Swift event [GRB 060614](#).

Solar neutrino problem (2002)

Solved by a new understanding of [neutrino](#) physics, requiring a modification of the [Standard Model](#) of [particle physics](#)—specifically, [neutrino oscillation](#).

Bose-Einstein Condensation (1995)

Composite bosons in the form of dilute atomic vapors were cooled to quantum degeneracy using the techniques of [laser cooling](#) and [evaporative cooling](#).

Cosmic age problem (1990s)

The estimated age of the universe was around 3 to 8 billion years younger than estimates of the ages of the oldest stars in the Milky Way. Better estimates for the distances to the stars, and the recognition of the accelerating expansion of the universe, reconciled the age estimates. (This assertion is being contested. Justification has been posted on Age Crisis page).

Quasars (1980s)

The nature of quasars was not understood for decades.^[64] They are now accepted as a type of [active galaxy](#) where the enormous energy output results from matter falling into a massive [black hole](#) in the center of the galaxy.^[65]

See also

- [Cosmic coincidence problem](#)
- [Universal Rotation Curve](#)

References

- 1.
- Ginzburg, Vitaly L. (2001). *The physics of a lifetime : reflections on the problems and personalities of 20th century physics*. Berlin: Springer. pp. 3–200. [ISBN 9783540675341](#).
 - • Baez, John C. (March 2006). "[Open Questions in Physics](#)". Usenet Physics FAQ. [University of California, Riverside: Department of Mathematics](#). Retrieved March 7, 2011.
 - • Nielson, Michael; Chuang, Isaac (2004). *Quantum Computation and Quantum Information*. Cambridge University Press. [ISBN 978-0-521-63503-5](#).
 - • "[Alcohol constrains physical constant in the early universe](#)". *Phys Org*. December 13, 2012. Retrieved 25 March 2015.
 - • Bagdonaite, J.; Jansen, P.; Henkel, C.; Bethlem, H. L.; Menten, K. M.; Ubachs, W. (13 December 2012). "A Stringent Limit on a Drifting Proton-to-Electron Mass Ratio from Alcohol in the Early Universe". *Science* **339** (6115): 46–48. [doi:10.1126/science.1224898](#).
 - • Podolsky, Dmitry. "[Top ten open problems in physics](#)". NEQNET. [Archived from the original](#) on 22 October 2012. Retrieved 24 January 2013.
 - • Brooks, Michael (March 19, 2005). "[13 Things That Do Not Make Sense](#)". *New Scientist*. Issue 2491. Retrieved March 7, 2011.
 - • National Research Council (1986). *Gravitation, Cosmology, and Cosmic-Ray Physics*. Washington, D. C.: National Academies Press. [ISBN 0-309-03579-1](#).
 - • Paulson, Tom (May 27, 2002). "[Catching a cosmic wave of gravity](#)". Seattle Post-Intelligencer. Retrieved 10 April 2012.
 - • Steinhardt, P. and Turok, N. (2006). "Why the Cosmological constant is so small and positive". *Science* **312**: 1180–1183. [arXiv:astro-ph/0605173](#). [doi:10.1126/science.1126231](#).
 - • Alan Sokal (July 22, 1996). "[Don't Pull the String Yet on Superstring Theory](#)". *New York Times*
 - • Joshi, Pankaj S. (January 2009). "[Do Naked Singularities Break the Rules of Physics?](#)". *Scientific American*
 - • Dirac, Paul, "[Quantised Singularities in the Electromagnetic Field](#)". *Proceedings of the Royal Society A* **133**, 60 (1931).
 - • Li, Tianjun; Dimitri V. Nanopoulos; Joel W. Walker (2011). "Elements of F-ast Proton Decay". *Nuclear Physics B* **846**: 43–99. [arXiv:1003.2570](#). [doi:10.1016/j.nuclphysb.2010.12.014](#).
 - • Hansson, Johan (2010). "[The "Proton Spin Crisis" — a Quantum Query](#)" (PDF). *Progress in Physics* **3**. Retrieved 14 April 2012.
 - • "[India-based Neutrino Observatory \(INO\)](#)". Tata Institute of Fundamental Research. Retrieved 14 April 2012.

- • Smarandache, Vic; Florentin Smarandache (2007). "[Thirty Unsolved Problems in the Physics of Elementary Particles](#)" (PDF). *Progress in Physics* **4**. [Bibcode:2009APS..HAW.KD010C](#).
- • Nakamura (Particle Data Group), K; et al. (2010). "[2011 Review of Particle Physics](#)". *J. Phys. G* **37** (7A): 075021. [Bibcode:2010JPhG...37g5021N](#). [doi:10.1088/0954-3899/37/7A/075021](#).
- • Thomas Blum; Achim Denig; Ivan Logashenko; Eduardo de Rafael; Lee Roberts, B.; Thomas Teubner; Graziano Venanzoni (2013). "The Muon ($g-2$) Theory Value: Present and Future". [arXiv:1311.2198 \[hep-ph\]](#).
- • H. Muir (2 July 2003). "[Pentaquark discovery confounds sceptics](#)". *New Scientist*. Retrieved 2010-01-08.
- • G. Amit (14 July 2015). "[Pentaquark discovery at LHC shows long-sought new form of matter](#)". *New Scientist*. Retrieved 2015-07-14.
- • Laing, R. A.; Bridle, A. H. (2013). "Systematic properties of decelerating relativistic jets in low-luminosity radio galaxies". [arXiv:1311.1015 \[astro-ph.CO\]](#).
- • Strohmayer, Tod E.; Mushotzky, Richard F. (20 March 2003). "Discovery of X-Ray Quasi-periodic Oscillations from an Ultraluminous X-Ray Source in M82: Evidence against Beaming". *The Astrophysical Journal* **586** (1): L61–L64. [doi:10.1086/374732](#).
- • Titarchuk, Lev; Fiorito, Ralph (10 September 2004). "[Spectral Index and Quasi-Periodic Oscillation Frequency Correlation in Black Hole Sources: Observational Evidence of Two Phases and Phase Transition in Black Holes](#)" (PDF). *The Astrophysical Journal* **612** (2): 988–999. [doi:10.1086/422573](#). Retrieved 25 January 2013.
- • Shoji Kato (2012). "An Attempt to Describe Frequency Correlations among kHz QPOs and HBOs by Two-Armed Nearly Vertical Oscillations". [arXiv:1202.0121 \[astro-ph.HE\]](#).
- • Ferrarese, Laura; Merritt, David (2000). "A Fundamental Relation between Supermassive Black Holes and their Host Galaxies". *The Astrophysical Journal* **539**: L9–L12. [arXiv:astro-ph/0006053](#). [Bibcode:2000ApJ...539L..9F](#). [doi:10.1086/312838](#)
- • "[Scientists Find That Saturn's Rotation Period is a Puzzle](#)". NASA. June 28, 2004. Retrieved 2007-03-22.
- • J J Condon, W D Cotton, E W Greisen, Q F Yin, R. A. Perley, G. B. Taylor, and J J Broderick. "The NRAO VLA Sky Survey" AJ, 115(5):1693-1716, May 1998.
- • A. K. Singal. "Large Peculiar Motion of the Solar System from the Dipole Anisotropy in Sky Brightness due to Distant Radio Sources." ApJL, 742:L23, December 2011.
- • Prabhakar Tiwari, Rahul Kothari, Abhishek Naskar, Sharvari Nadkarni-Ghosh, Pankaj Jain. "[Dipole anisotropy in sky brightness and source count distribution in radio NVSS data](#)".
- • Prabhakar Tiwari and Pankaj Jain. "[Dipole anisotropy in integrated linearly polarized flux density in NVSS data](#)".
- • D. Hutsemékers "Evidence for very large-scale coherent orientations of quasar polarization vectors" A&A, 332:410-428, 1998.
- • D. Hutsemékers and H. Lamy "Confirmation of the existence of coherent orientations of quasar polarization vectors on cosmological scales" A&A, 367(2):381-387, 2001.
- • Pankaj Jain, Gaurav Narain, and S Sarala. "Large-scale alignment of optical polarizations from distant QSOs using coordinate-invariant statistics." MNRAS, 347(2):394-402, 2004.
- • Angélica de Oliveira-Costa, Max Tegmark, Matias Zaldarriaga, and Andrew Hamilton (2004). Significance of the largest scale cmb fluctuations in wmap. PhRvD, 69:063516.
- • H.K. Eriksen, F.K. Hansen, A.J. Banday, K.M. Gorski, and P.B. Lilje. "Asymmetries in the Cosmic Microwave Background anisotropy field." ApJ, 605:14–20, 2004.
- • Pramoda Kumar Samal, Rajib Saha, Pankaj Jain, and John P. Ralston. "Testing Isotropy of Cosmic Microwave Background Radiation." MNRAS, 385:1718, 2008.

- • Pramoda Kumar Samal, Rajib Saha, Pankaj Jain, and John P. Ralston. "Signals of Statistical Anisotropy in WMAP Foreground-Cleaned Maps." *MNRAS*, 396:511, 2009.
- • Casagrande, L., et al. (2011) "[New constraints on the chemical evolution of the solar neighbourhood and Galactic disc\(s\)](#)". *Astronomy & Astrophysics*, 2011, Volume 530, 138, 21 pp
- • *Bensby, T.; Feltzing, S.; Lundström, I. (July 2004). "A possible age-metallicity relation in the Galactic thick disk?". Astronomy and Astrophysics* **421** (3): 969–976. doi:[10.1051/0004-6361:20035957](https://doi.org/10.1051/0004-6361:20035957).
- • Gilmore, G.; Asiri, H.M. (00/2011). "[Open Issues in the Evolution of the Galactic Disks](#)". Workshop on Gaia. Proceedings. Granada, ed. Navarro et al. 2011. Retrieved 2013-09-08.
- • Casagrande, L., et al. (2016) "[Measuring the vertical age structure of the Galactic disc using asteroseismology and SAGA](#)". *MNRA*, 2016, Volume 455, 987
- • Brian D. Fields, [The Primordial Lithium Problem](#)
- • André Balogh; Rudolf A. Treumann. "[Physics of Collisionless Shocks: Space Plasma Shock Waves](#)". 2013. Section 7.4 "The Injection Problem". p. 362.
- • *Panel on Atomic, Molecular, and Optical Physics, Physics Survey Committee, Board on Physics and Astronomy, National Research Council (1986). [Atomic, Molecular, and Optical Physics](#). National Academies Press.* p. 63. ISBN [9780309594561](#).
- • Kenneth Chang (July 29, 2008). "[The Nature of Glass Remains Anything but Clear](#)". *The New York Times*
- • *P.W. Anderson* (1995). "Through the Glass Lightly". *Science* **267** (5204): 1615. doi:[10.1126/science.267.5204.1615-e](https://doi.org/10.1126/science.267.5204.1615-e). The deepest and most interesting unsolved problem in solid state theory is probably the theory of the nature of glass and the glass transition.
- • [Cryogenic electron emission phenomenon has no known physics explanation](#). Physorg.com. Retrieved on 2011-10-20.
- • Meyer, H. O. (1 March 2010). "Spontaneous electron emission from a cold surface". *EPL (Europhysics Letters)* **89** (5): 58001. doi:[10.1209/0295-5075/89/58001](https://doi.org/10.1209/0295-5075/89/58001).
- • Storey, B. D.; Szeri, A. J. (8 July 2000). "Water vapour, sonoluminescence and sonochemistry". *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* **456** (1999): 1685–1709. doi:[10.1098/rspa.2000.0582](https://doi.org/10.1098/rspa.2000.0582).
- • Wu, C. C.; Roberts, P. H. (9 May 1994). "A Model of Sonoluminescence". *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* **445** (1924): 323–349. doi:[10.1098/rspa.1994.0064](https://doi.org/10.1098/rspa.1994.0064).
- • Goldstein, Melvyn L. (2001). "Major Unsolved Problems in Space Plasma Physics". *Astrophysics and Space Science* **277** (1/2): 349–369. Bibcode:[2001Ap&SS.277..349G](#). doi:[10.1023/A:1012264131485](https://doi.org/10.1023/A:1012264131485).
- • Yoshida, Beni (2011). "[Feasibility of self-correcting quantum memory and thermal stability of topological order](#)". *Annals of Physics* **326** (10): 2566. arXiv:[1103.1885](#). Bibcode:[2011AnPhy.326.2566Y](#). doi:[10.1016/j.aop.2011.06.001](https://doi.org/10.1016/j.aop.2011.06.001). Retrieved 8 April 2012.
- • Podolsky, Dmitry. "[Quantum Hall effect. One open question](#)". NEQNET. Retrieved 23 April 2012.
- • Schlein, Benjamin. "[Graduate Seminar on Partial Differential Equations in the Sciences - Energy and Dynamics of Boson Systems](#)". Hausdorff Center for Mathematics. Retrieved 23 April 2012.
- • Mukherjee, Prabir K. (1998). "[Landau Theory of Nematic-Smectic-A Transition in a Liquid Crystal Mixture](#)". *Molecular Crystals & Liquid Crystals* **312**: 157–164. doi:[10.1080/10587259808042438](https://doi.org/10.1080/10587259808042438). Retrieved 28 April 2012.

- • A. Yethiraj, "[Recent Experimental Developments at the Nematic to Smectic-A Liquid Crystal Phase Transition](#)", Thermotropic Liquid Crystals: Recent Advances, ed. A. Ramamoorthy, Springer 2007, chapter 8.
- • Norris, David J. (2003). "The Problem Swept Under the Rug". In Klimov, Victor. [Electronic Structure in Semiconductors Nanocrystals: Optical Experiment \(in Semiconductor and Metal Nanocrystals: Synthesis and Electronic and Optical Properties\)](#). CRC Press. p. 97. ISBN 9780203913260.
- • Cen, Jianyong; Yuan, Ping; Xue, Simin (17 January 2014). "[Observation of the Optical and Spectral Characteristics of Ball Lightning](#)". [Physical Review Letters \(American Physical Society\)](#) **112** (35001). doi:[10.1103/PhysRevLett.112.035001](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.112.035001). Retrieved 19 January 2014.
- • Ball, Philip (17 January 2014). "[Focus: First Spectrum of Ball Lightning](#)". [Focus \(American Physical Society\)](#). doi:[10.1103/Physics.7.5](https://doi.org/10.1103/Physics.7.5). Retrieved 19 January 2014.
- • Charles Francis; Erik Anderson (2012). "XHIP-II: Clusters and associations". [arXiv:1203.4945 \[astro-ph.GA\]](#).
- • Turyshev, S.; Toth, V.; Kinsella, G.; Lee, S. C.; Lok, S.; Ellis, J. (2012). "Support for the Thermal Origin of the Pioneer Anomaly". [Physical Review Letters](#) **108** (24): 241101. [arXiv:1204.2507](#). Bibcode:[2012PhRvL.108x1101T](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.108x1101T). doi:[10.1103/PhysRevLett.108.241101](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.108.241101). PMID 23004253.
- • Overbye, Dennis (23 July 2012). "[Mystery Tug on Spacecraft Is Einstein's 'I Told You So'](#)". [The New York Times](#). Retrieved 24 January 2014.
- • "[The MKI and the discovery of Quasars](#)". [Jodrell Bank Observatory](#). Retrieved 2006-11-23.

65. • [Hubble Surveys the "Homes" of Quasars](#) Hubblesite News Archive, 1996-35

External links

- [What don't we know?](#) Science journal special project for its 125th anniversary: top 25 questions and 100 more.
- [List of links to unsolved problems in physics, prizes and research.](#)
- [Ideas Based On What We'd Like to Achieve](#)
- [2004 SLAC Summer Institute: Nature's Greatest Puzzles](#)
- [Dual Personality of Glass Explained at Last](#)
- [What we do and don't know](#) Review on current state of physics by Steven Weinberg, November 2013
- [The crisis of big science](#) Steven Weinberg, May 2012
- [The 10 Biggest Unsolved Problems in Physics](#) Johan Hansson, March 2015