# Teória strún

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

**Teória strún** je jednou z možných [teórií všetkého](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_v%C5%A1etk%C3%A9ho) zjednocujúcou [všeobecnú teóriu relativity](http://sk.wikipedia.org/wiki/V%C5%A1eobecn%C3%A1_te%C3%B3ria_relativity) a [kvantovú mechaniku](http://sk.wikipedia.org/wiki/Kvantov%C3%A1_mechanika). Teória strún predpokladá, že základnými stavebnými kameňmi hmoty nie sú bezrozmerné [častice](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C4%8Castica), ale [jednorozmerné](http://sk.wikipedia.org/wiki/Rozmer) uzavreté alebo otvorené struny, ktorých rôzne [vibrácie](http://sk.wikipedia.org/wiki/Vibr%C3%A1cia) zodpovedajú rôznym druhom častíc. [Interakcie](http://sk.wikipedia.org/wiki/Interakcia) v rámci strunovej teórie sa redukujú na spájanie a rozpájanie strún. Ďalším objektom vyskytujúcim sa v teórii strún sú [D-brány](http://sk.wikipedia.org/wiki/D-br%C3%A1na). Strunové teórie vyžadujú dodatočné priestorové dimenzie. Ich existencia je postulovaná, pričom nepozorovanie týchto dimenzií je zabezpečené mechanizmom kompaktifikácie do malých veľkosti.

Existuje päť odlišných teórií strún, ktoré sú ale pevne zviazané pomocou duaálnych transformácii do jednotnej [M-teórie](http://sk.wikipedia.org/wiki/M-te%C3%B3ria)objavenej v rámci druhej strunovej revolúcii v roku [1995](http://sk.wikipedia.org/wiki/1995). [M-teória](http://sk.wikipedia.org/wiki/M-te%C3%B3ria) predpovedá jedenásť rozmerný vesmír oproti súčasným štyrom známym dimenziám. Jedna z dimenzií je [časová](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cas_%28fyzika%29) a desať zvyšných je [priestorových](http://sk.wikipedia.org/wiki/Priestor).

**Teória strún** je zatiaľ jednou z najviac rozvinutých fyzikálnych hypotéz vysvetľujúcich pojmy ako [hmota](http://sk.wikipedia.org/wiki/Hmota_%28fyzika%29), priestor a čas. Struny a superstruny sú podľa tejto teórie základom reality týchto troch pojmov. Povedané kvantitatívnou logikou, struna je základnou jednotkou, ktorá umožňuje existenciu priestoru. Je to vibrujúca forma [energie](http://sk.wikipedia.org/wiki/Energia). Existencia uzavretých strún je podľa niektorých fyzikov príčinou toho, že [gravitácia](http://sk.wikipedia.org/wiki/Gravit%C3%A1cia) je tak slabá sila v porovnaní s napríklad rádovo slabšou[elektromagnetickou](http://sk.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetizmus) silou. Uzavreté struny, z ktorých sú niektoré (čo je dané ich vibrovaním) nositeľmi gravitácie majú schopnosť uniknúť z nášho rozmeru do iného a tým sa dramaticky znižuje gravitačný efekt v našej [realite](http://sk.wikipedia.org/wiki/Skuto%C4%8Dnos%C5%A5_%28realita%29).

##

##

## Obsah

 [[skryť](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn)]

* [1 Princíp](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#Princ.C3.ADp)
* [2 Prehľad](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#Preh.C4.BEad)
* [3 Základné vlastnosti](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#Z.C3.A1kladn.C3.A9_vlastnosti)
	+ [3.1 Obálka sveta](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#Ob.C3.A1lka_sveta)
	+ [3.2 Dualita](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#Dualita)
	+ [3.3 Extra dimenzie](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#Extra_dimenzie)
		- [3.3.1 Kompaktné dimenzie](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#Kompaktn.C3.A9_dimenzie)
		- [3.3.2 Scenár univerzálnej svetovej brány](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#Scen.C3.A1r_univerz.C3.A1lnej_svetovej_br.C3.A1ny)
		- [3.3.3 Efekt skrytých dimenzií](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#Efekt_skryt.C3.BDch_dimenzi.C3.AD)
	+ [3.4 D-brány](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#D-br.C3.A1ny)
* [4 Kalibračno-gravitačná dualita](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#Kalibra.C4.8Dno-gravita.C4.8Dn.C3.A1_dualita)
	+ [4.1 Opis duality](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#Opis_duality)
	+ [4.2 Príklady a intuícia](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#Pr.C3.ADklady_a_intu.C3.ADcia)
	+ [4.3 Kontakt s experimentom](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#Kontakt_s_experimentom)
* [5 Problémy a rozpory](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#Probl.C3.A9my_a_rozpory)
	+ [5.1 Je teória strún prediktívna?](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#Je_te.C3.B3ria_str.C3.BAn_predikt.C3.ADvna.3F)
	+ [5.2 Močarina](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#Mo.C4.8Darina)
	+ [5.3 Nezávislosť na pozadí](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#Nez.C3.A1vislos.C5.A5_na_pozad.C3.AD)
	+ [5.4 Prerušenie supersymetrie](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#Preru.C5.A1enie_supersymetrie)
	+ [5.5 Rozloženie strunovej teórie](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#Rozlo.C5.BEenie_strunovej_te.C3.B3rie)
	+ [5.6 Ďalšie kritériá testovateľnosti](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#.C4.8Eal.C5.A1ie_krit.C3.A9ri.C3.A1_testovate.C4.BEnosti)
* [6 História](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#Hist.C3.B3ria)
* [7 Referencie](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#Referencie)
* [8 Literatúra](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#Literat.C3.BAra)
* [9 Externé odkazy](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#Extern.C3.A9_odkazy)

##

##

## Princíp

Podstatou strunových teórii je predpoklad, že hmota je prejavom rôznych vibrácií objektov nazývaných struny. Ich veľkosť je tak malá, že pokiaľ by sme si predstavili atóm rovnako veľký ako našu [slnečnú sústavu](http://sk.wikipedia.org/wiki/Slne%C4%8Dn%C3%A1_s%C3%BAstava), struny by boli veľké len asi ako strom. Na mikroúrovni, v tzv. [kvantovom svete](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Kvantov%C3%BD_svet&action=edit&redlink=1) bolo potrebné vyriešiť hlavne problém neurčitosti ([Heisenbergov princíp neurčitosti](http://sk.wikipedia.org/wiki/Princ%C3%ADp_neur%C4%8Ditosti)). Prepojenie týchto dvoch svetov umožnila teória strún, ktorá hovorí, že všetko vo vesmíre je vyplnené extrémne malými vibrujúcimi strunami energie, pričom však struny môžu taktiež nadobúdať extrémne veľké rozmery, kedy sa hovorí už o [membránach](http://sk.wikipedia.org/wiki/Membr%C3%A1na), či rovno [bránach](http://sk.wikipedia.org/wiki/Br%C3%A1na), ktoré môžu byť priamo vesmírom samotným, čiže pri uznaní možnosti[paralelných vesmírov](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Paraleln%C3%BD_vesm%C3%ADr&action=edit&redlink=1) je táto úvaha v množnom čísle. Popularizátorom teórie strún je americký astrofyzik [Brian Greene](http://sk.wikipedia.org/wiki/Brian_Greene).

Greene stručne uvádza, že struna je vlastne tým, čo priamo prepája kvantový svet a makrosvet tým, že kvantovú neurčitosť a chaotičnosť "stlmuje" svojou imanentnou integračnou charakteristikou, pričom vytvára akési tunely ustáleneho stavu a práve tieto tunely sú vlastne podstatou superstrún, membrán či brán, ktoré v konečnom dôsledku tvoria vlastne vesmír ako celok, nachádzajúci sa v nejakej vyššej štruktúre. Teória strún vychádza z fyzikálne overených vlastností vesmíru – aspoň na úrovni teoretickej fyziky – ako aj zo schopnosti vysvetliť prepojenie veľmi malého a veľmi veľkého priestoru v tzv. kvantovej teórii vesmíru a gravitáciu, ktorá je inak len všeobecne vysvetľovaná ako zakrivenie priestoru hmotnými subjektami, pričom bez strún ako základného pletiva vesmíru by bol prenos gravitačnej či akejkoľvek inej energie v podstate nemožný, resp. teoreticky by zostával len popísaný, no nie vysvetlený. Teória strún, či teória všetkého založená na akceptácii existencie strún spája tzv. [Štandardný model](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0tandardn%C3%BD_model) vyvinutý americkým fyzikom [Stevenom Weinbergom](http://sk.wikipedia.org/wiki/Steven_Weinberg) a vysvetľujúci fungovanie troch základných samostatných síl – elekromagnetickej, [silnej jadrovej sily](http://sk.wikipedia.org/wiki/Siln%C3%A1_interakcia_hmotn%C3%BDch_objektov) a [slabej jadrovej sily](http://sk.wikipedia.org/wiki/Slab%C3%A1_interakcia_hmotn%C3%BDch_objektov) s pôsobením gravitácie, v jadre ktorej je struna ako nositeľ gravitácie, nahrádzajúca dovtedy hypotetickú [nehmotnú časticu](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Nehmotn%C3%A1_%C4%8Dastica&action=edit&redlink=1).

Ďalším významným vedcom v oblasti teórie strún je [Edward Witten](http://sk.wikipedia.org/wiki/Edward_Witten) , americký teoretický fyzik. Witten pri skúmaní tzv. superstrún navrhol jednotiacu teóriu strún, tzv. M-teóriu, kde vysvetľuje problém nezrovnalostí v rôznych nezávislých teóriách všetkého, ktorých bolo pôvodne päť. Rozpracoval [teorém pozitívnej energie](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Teor%C3%A9m_pozit%C3%ADvnej_energie&action=edit&redlink=1) , ktorý hovorí, že za predpokladu dominantnej energetickej podmienky, masa asymptoticky plochého priestoročasu je ne-negatívna, vrátane problematiky[spinorov](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Spinor&action=edit&redlink=1) vo všeobecnej teórii relativity. Venuje sa otázkam [supersymetrie](http://sk.wikipedia.org/wiki/Supersymetria) a [Morseho teórii](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Morseho_te%C3%B3ria&action=edit&redlink=1), ktorá analyzuje [topológiu](http://sk.wikipedia.org/wiki/Topol%C3%B3gia)mnohosti štúdiom diferenciálnych funkcií . Supersymetria hovorí, že každá [elementárna častica](http://sk.wikipedia.org/wiki/Element%C3%A1rna_%C4%8Dastica) má vždy svoju partnerskú časticu, ktorá sa od svojho partnera líši polovicou [spinu](http://sk.wikipedia.org/wiki/Spin) (tzv. superpartneri), t. j. pre každý [bozón](http://sk.wikipedia.org/wiki/Boz%C3%B3n) existuje vždy korešpondujúci [fermión](http://sk.wikipedia.org/wiki/Fermi%C3%B3n) .

Samotná M-teória v súlade s teóriou strún predpokladá, že existuje až 11 dimenzií priestoru, a hovorí o dynamike nízkej[entropie](http://sk.wikipedia.org/wiki/Entropia), t. j. o interakcii [supergravitácie](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Supergravit%C3%A1cia&action=edit&redlink=1) , s dvoj- a päťdimenzionálnymi membránami.

Podrobný výklad (preklad z anglickej Wikipedia)

**Teória strún** je teória vo vývoji v oblasti [časticovej fyziky](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C4%8Casticov%C3%A1_fyzika), ktorá sa pokúša zjednotiť [kvantovú mechaniku](http://sk.wikipedia.org/wiki/Kvantov%C3%A1_mechanika) a [všeobecnú relativitu](http://sk.wikipedia.org/wiki/V%C5%A1eobecn%C3%A1_relativita).[[1]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-1) Teória strún hovorí, že [elektróny](http://sk.wikipedia.org/wiki/Elektr%C3%B3n) a [kvarky](http://sk.wikipedia.org/wiki/Kvark) vnútri [atómov](http://sk.wikipedia.org/wiki/At%C3%B3m) nie sú objektami s nulovými dimenziami, ale skôr jednorozmerné oscilujúce linky ("struny"), ktoré majú len dĺžku, ale nie výšku či šírku. Teória tvrdí, že tieto struny môžu vibrovať, čím dávajú pozorovaným časticiam ich [vôňu](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=V%C3%B4%C5%88a_(%C4%8Dasticov%C3%A1_fyzika)&action=edit&redlink=1), [náboj](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=N%C3%A1boj_(%C4%8Dasticov%C3%A1_fyzika)&action=edit&redlink=1), [hmotnosť](http://sk.wikipedia.org/wiki/Hmotnos%C5%A5) a [spin](http://sk.wikipedia.org/wiki/Spin_%28fyzika%29). Najranejší strunový model, [bozónické struny](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Boz%C3%B3nick%C3%A1_strunov%C3%A1_te%C3%B3ria&action=edit&redlink=1), zahŕňal len [bozóny](http://sk.wikipedia.org/wiki/Boz%C3%B3n), hoci tento pohľad sa vyvinul do [teórie superstrún](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_superstr%C3%BAn), ktorá tvrdí, že spojenie je ("supersymetrické"), t. j. že existuje medzi [bozónmi](http://sk.wikipedia.org/wiki/Boz%C3%B3n) a [fermiónmi](http://sk.wikipedia.org/wiki/Fermi%C3%B3n), dvomi fundamentálnymi rozdielnymi typmi častíc. Teória strún si taktiež vyžaduje existenciu niekoľkých dodatočných, nepozorovateľných dimenzií vesmíru, ktoré sa pridávajú k našim trom priestorovým dimenziám (výška, šírka a dĺžka) a štvrtej dimenzii času. [M teória](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=M_te%C3%B3ria&action=edit&redlink=1) napríklad vyžaduje, aby[priestoročas](http://sk.wikipedia.org/wiki/Priestoro%C4%8Das) mal jedenásť dimenzií.[[2]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-arxiv2-2)

Teória má svoj pôvod v [duálnom rezonančnom modeli](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Du%C3%A1lny_rezonan%C4%8Dn%C3%BD_model&action=edit&redlink=1) – prvýkrát navrhnutom v r. 1969 [Gabrielom Venezianom](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Gabriele_Veneziano&action=edit&redlink=1), ktorý popísal silne interagujúce [hadróny](http://sk.wikipedia.org/wiki/Hadr%C3%B3n) ako struny. Odvtedy sa pojem *teória strún* rozvinul, aby zahrnul akúkoľvek zo skupín príbuzných [teórií superstrún](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_superstr%C3%BAn). Dá sa povedať, že "struny" už nie sú viac považované za fundamentálne pre teóriu, ktorú je možné formulovať taktiež ako [body](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Maticov%C3%A1_te%C3%B3ria_str%C3%BAn&action=edit&redlink=1) alebo [povrchy](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=AdS/CFT&action=edit&redlink=1). Bolo rozvinutých päť veľkých teórií strún, každá s inou matematickou štruktúrou, pričom každá svojím spôsobom najlepšie popisovala iné fyzikálne okolnosti. Hlavnými rozdielmi medzi jednotlivými teóriami boli principiálne počty dimenzií v ktorých sa struny vyvíjali, ako aj ich charakteristiky (niektoré boli otvorené slučky, iné uzavreté slučky, ap.), ale všetky tieto teórie sa zdali byť správne. V polovici 90-tych rokov, strunový teoretický fyzik [Edward Witten](http://sk.wikipedia.org/wiki/Edward_Witten) z [Institute for Advanced Study](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Institute_for_Advanced_Study&action=edit&redlink=1) usúdil, že päť veľkých verzií teórie strún v skutočnosti mohli popisovať jeden a ten istý fenomén z rôznej perspektívy. Wittenova výsledná [M-teória](http://sk.wikipedia.org/wiki/M-te%C3%B3ria), navrhnutá ako zjednotenie všetkých predchádzajúcich superstrunových teórií tvrdí, že struny sú jednodimenzionálne "krajce" dvojdimenzionálnych membrán vibrujúcich v 11-dimenzionálnom priestore.

Ako výsledok mnohých vlastností a princípov zdieľaných týmito prístupmi (ako je [holografický princíp](http://sk.wikipedia.org/wiki/Holografick%C3%BD_princ%C3%ADp)), ich vzájomnou logickou konzistenciou a faktom, ktorý niektorí zahrnuli do [štandardného modelu časticovej fyziky](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=%C5%A0tandardn%C3%BD_model_%C4%8Dasticovej_fyziky&action=edit&redlink=1), mnoho veľkých žijúcich fyzikov (ako sú [Edward Witten](http://sk.wikipedia.org/wiki/Edward_Witten), [Juan Maldacena](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Juan_Maldacena&action=edit&redlink=1) a [Leonard Susskind](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Leonard_Susskind&action=edit&redlink=1)) je presvedčených, že teória strún je krokom smerom k správnemu fundamentálnemu popisu vesmíru.[[3]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-amsci-3)[[4]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-frontline-4)[[5]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-tsl-5)[[6]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-nature-6) Teória strún je prvým kandidátom pre [teóriu všetkého](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_v%C5%A1etk%C3%A9ho) (TOE), spôsob popisu známych [fundamentálnych síl](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Fundament%C3%A1lne_interakcie&action=edit&redlink=1) ([gravitačnej](http://sk.wikipedia.org/wiki/Gravit%C3%A1cia), [elektromagnetizmu](http://sk.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetizmus), [slabej sily](http://sk.wikipedia.org/wiki/Slab%C3%A1_interakcia), [silnej sily](http://sk.wikipedia.org/wiki/Siln%C3%A1_interakcia)), hmoty ([kvarkov](http://sk.wikipedia.org/wiki/Kvark) a[leptónov](http://sk.wikipedia.org/wiki/Lept%C3%B3n)) v matematicky úplnom systéme. Ale prominentní fyzici ako sú [Richard Feynman](http://sk.wikipedia.org/wiki/Richard_Feynman) a [Sheldon Lee Glashow](http://sk.wikipedia.org/wiki/Sheldon_Lee_Glashow)kritizovali teóriu strún za to, že neposkytla žiadne kvantitatívne experimentálne predpovede.[[7]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-7)[[8]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-newyorker-8) Ako akákoľvek iná teória gravitácie, všeobecne sa predpokladá, že testovanie teórie priamo by si vyžadovalo extrémne drahé technické riešenia. Hoci priame experimentálne testovanie Teórie strún zahŕňa veľké výskumy a vývoj systémov, existuje niekoľko nepriamych experimentov, ktoré môže čiastočne potvrdiť Teóriu strún. [Supersymetria](http://sk.wikipedia.org/wiki/Supersymetria) (myšlienka rozvinutá začiatkom 70. rokov počas výskumov na Teórii strún) je teoreticky ustanovená prostredníctvom Teórie strún a zdá sa, že sa rozvíja do súčasnej experimentálne pochopenej Fyziky vysokých energií ([Časticová fyzika](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C4%8Casticov%C3%A1_fyzika)) (Supersymetria by snáď mohla byť objavená v[CERNe](http://sk.wikipedia.org/wiki/CERN), kde sú skúmané energie, ktoré by mohli motivovať objavenie sa supersymetrických častíc). Taktiež existencia dodatočných kompaktifikovaných dimenzií ([Calabi-Yau priestorovosť](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Calabi-Yau_priestorovos%C5%A5&action=edit&redlink=1)) by pravdepodobne mohla byť objavená v CERNe permeáciou [gravitónu](http://sk.wikipedia.org/wiki/Gravit%C3%B3n) do vyššieho dimenzionálneho priestoru ([Membrána (M-Teória)](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Membr%C3%A1na_(M-Te%C3%B3ria)&action=edit&redlink=1)).

## Prehľad

Teória strún tvrdí, že [elektróny](http://sk.wikipedia.org/wiki/Elektr%C3%B3n) a [kvarky](http://sk.wikipedia.org/wiki/Kvark) vnútri [atómu](http://sk.wikipedia.org/wiki/At%C3%B3m) nie sú 0-rozmerné objekty, ale 1-dimenzionálne struny. Tieto struny sa môžu pohybovať a vibrovať, dávajúc pozorovaným časticiam ich [vôňu](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=V%C3%B4%C5%88a_(%C4%8Dasticov%C3%A1_fyzika)&action=edit&redlink=1), [náboj](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=N%C3%A1boj_(fyzika)&action=edit&redlink=1), [hmotnosť](http://sk.wikipedia.org/wiki/Hmotnos%C5%A5) a [spin](http://sk.wikipedia.org/wiki/Spin_%28fyzika%29). Teórie strún taktiež zahŕňajú objekty všeobecnejšie ako len struny, nazývané [brány](http://sk.wikipedia.org/wiki/Br%C3%A1na). Slovo *brána*, odvodené od "membrána", sa odkazuje na varietu vzájomne prepojených objektov, ako sú [D-brány](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=D-br%C3%A1ny&action=edit&redlink=1), [čierne p-brány](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=%C4%8Cierne_p-br%C3%A1ny&action=edit&redlink=1) a [Neveu-Schwarzove 5-násobné brány](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=NS5-br%C3%A1na&action=edit&redlink=1). Ide o rozšírené objekty, ktoré sú nabitými zdrojmi pre [diferenciálnu formu](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Diferenci%C3%A1lna_forma&action=edit&redlink=1) zovšeobecnenia [vektorového potenciálu](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Vektorov%C3%BD_potenci%C3%A1l&action=edit&redlink=1)[elektromagnetického poľa](http://sk.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_pole). Tieto objekty sú vzájomne prepojené prostredníctvom systému dualít. [Čierna diera](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cierna_diera)-ako čierne p-brány sú identifikované s [D-bránami](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=D-br%C3%A1ny&action=edit&redlink=1), ktoré sú koncovými bodmi pre struny a táto identifikácia sa nazýva [kalibračno-gravitačná dualita](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#Kalibra.C4.8Dn.C3.A1-gravita.C4.8Dn.C3.A1_dualita). Výskum v tejto ekvivalencii viedol k novým poznatkom ohľadom [kvantovej chromodynamiky](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Kvantov%C3%A1_chromodynami&action=edit&redlink=1), základnej teórie [silnej jadrovej sily](http://sk.wikipedia.org/wiki/Siln%C3%A1_interakcia).[[9]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-autogenerated2-9)[[10]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-autogenerated1-10)[[11]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-autogenerated3-11)[[12]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-autogenerated4-12) Struny vytvárajú uzavreté slučky, až kým sa nestretnú s [D-bránami](http://sk.wikipedia.org/wiki/D-br%C3%A1na), kde sa môžu otvoriť do 1-dimenzionálnych liniek. Koncové body strún sa nemôžu odtrhnúť od D-brány, ale môžu sa okolo nej kĺzať.

Keďže o teórii strún sa všeobecne predpokladá, že je konzistentná s[kvantovou gravitáciou](http://sk.wikipedia.org/wiki/Kvantov%C3%A1_gravit%C3%A1cia), mnoho vedcov dúfa, že ide o správny popis nášho vesmíru, čím sa táto teória stáva [teóriou všetkého](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_v%C5%A1etk%C3%A9ho). Existujú známe konfigurácie, ktoré popisujú všetky pozorované základné sily a hmotu, ale s nulovou [kozmologickou konštantou](http://sk.wikipedia.org/wiki/Kozmologick%C3%A1_kon%C5%A1tanta) a niektorými novými poľami.[[13]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-13) Existujú tiež iné konfigurácie s odlišnými hodnotami kozmologickej konštanty, ktoré sú tzv. [metastabilné](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Metastabiln%C3%A9&action=edit&redlink=1), ale dlhotrvajúce. Toto vedie mnohých vedcov k presvedčeniu, že existuje najmenej jedno metastabilné riešenie, ktoré je kvantitatívne identické so [štandardným modelom](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0tandardn%C3%BD_model), s malou kozmologickou konštantou, ktorá obsahuje [tmavú hmotu](http://sk.wikipedia.org/wiki/Tmav%C3%A1_hmota) a priechodný mechanizmus pre[kozmickú infláciu](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Kozmick%C3%A1_infl%C3%A1cia&action=edit&redlink=1). Nie je zatiaľ známe, či teória strún má takéto riešenie, ako ani to, koľko voľnosti teória ponecháva pre výber detailov.

Úplná teória zatiaľ nemá uspokojivé definície pre všetky okolnosti, keďže struny sú najpriamočiarejšie definované prostredníctvom [perturbačnej teórie](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Perturba%C4%8Dn%C3%A1_te%C3%B3ria(kvantov%C3%A1_mechanika)&action=edit&redlink=1). Kompletná [kvantová mechanika](http://sk.wikipedia.org/wiki/Kvantov%C3%A1_mechanika) brán vyššej dimenzie sa nedefinuje ľahko a vlastnosti teórie strún pokiaľ ide o kozmologické usporiadanie (časovo-závislé prostredie) ešte nie sú plne vypracované. taktiež nie je jasné, či existuje nejaký princíp, podľa ktorého teória strún vyberá svoj [vákuový stav](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=V%C3%A1kuov%C3%BD_stav&action=edit&redlink=1), priestoročasovú konfiguráciu, ktorá určuje vlastnosti nášho vesmíru (pozri[topológia teórie strún](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Topol%C3%B3gia_te%C3%B3rie_str%C3%BAn&action=edit&redlink=1)).

## Základné vlastnosti

Teória strún môže byť formulovaná pokiaľ ide o [akčný](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Akcia_(fyzika)&action=edit&redlink=1) princíp, buď ako[Nambu-Gotova akcia](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Nambu-Gotova_akcia&action=edit&redlink=1) alebo [Polyakovovova akcia](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Polyakovovova_akcia&action=edit&redlink=1), ktorá popisuje, ako sa struny pohybujú v priestore a čase. Pri absencii externých interakcií, strunová dynamika sa riadi napätím a kinetickou energiou, ktoré v kombinácii produkujú osciláciu. [Kvantová mechanika](http://sk.wikipedia.org/wiki/Kvantov%C3%A1_mechanika) strún implikuje tieto oscilácie ako diskrétne vibračné módy, [spektrum](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Energetick%C3%A9_spektrum&action=edit&redlink=1) teórie.

Pri vzdialenostiach presahujúcich rádium strún, každý oscilačný mód sa správa ako rozdielny druh častice, so svojou hmotnosťou, spinom a nábojom určeným strunovou dynamikou. Rozdeľovanie a spájanie strún korešponduje s emisiami a absorpciou častice, čo vytvára interakcie medzi časticami.

Analógiou pre módy strún je gitarová struna produkujúca množstvo rozličných hudobných tónov. Analogicky, rôzne tóny korešpondujú s rôznymi časticami. Jediným rozdielom je, že gitarová struna je len 2-dimenzionálna a môžete ňou pohybovať nahor a nadol. V skutočnosti by gitarové struny boli každou dimenziou a struny by mohli vibrovať akýmkoľvek smerom, čo by znamenalo, že častice by sa mohli pohybovať nielen v našej dimenzii, ale aj v iných dimenziách.

Teória strún obsahuje ako *otvorené* struny, ktorú majú dva samostatné koncové body, tak *uzavreté* struny, ktoré tvoria kompletnú slučku. Tieto dva rôzne [typy strún](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Strunov%C3%A1_(fyzika)&action=edit&redlink=1) sa správajú mierne odlišným spôsobom, čo dáva dve odlišné spektrá. Napríklad, vo väčšine teórií strún, jedným uzavretým strunovým módom je [gravitón](http://sk.wikipedia.org/wiki/Gravit%C3%B3n), a jedným otvoreným strunovým módom [fotón](http://sk.wikipedia.org/wiki/Fot%C3%B3n). Pretože dva konce otvorenej struny sa môžu vždy stretnúť a spojiť, vytvoriac uzavretú strunu, strunové teórie bez uzavretých strún neexistujú.

Najranejší strunový model [bozónických strun](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Boz%C3%B3nick%C3%A1_(te%C3%B3ria_str%C3%BAn)&action=edit&redlink=1), zahŕňal iba [bozóny](http://sk.wikipedia.org/wiki/Boz%C3%B3n). Tento model popisuje, v dostatočne nízkych energiách,[kvantovo-gravitačnú](http://sk.wikipedia.org/wiki/Kvantov%C3%A1_gravit%C3%A1cia) teóriu, ktorá taktiež zahŕňa (ak sú obsiahnuté aj otvorené struny) [kalibračné polia](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Kalibra%C4%8Dn%C3%A9_polia&action=edit&redlink=1), ako napríklad fotón (alebo, všeobecnejšie, akúkoľvek [kalibračnú teóriu](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Kalibra%C4%8Dn%C3%A1_te%C3%B3ria&action=edit&redlink=1)). Ale, tento model nie je bez problémov. Navyše, teória je zásadne nestabilná, a to v dôsledku rozkladu (prinajmenšom čiastočne) priestoročasu samotného. Na dôvažok, ako vyplýva z názvu, spektrum častíc obsahuje len bozóny, častice ktoré sa, ako napríklad fotón, riadia istými vymedzenými pravidlami správania. Stručne povedané, bozóny sú príčinou radiácie, ale nie hmoty, ktorá je tvorená fermiónmi. Zisťovanie toho, ako môže teória strún obsahovať [fermióny](http://sk.wikipedia.org/wiki/Fermi%C3%B3n) je vo svojom základe vedené objavením [supersymetrie](http://sk.wikipedia.org/wiki/Supersymetria), matematických vzťahov medzi bozónmi a fermiónmi. Teórie strún, ktoré obsahujú fermionické vibrácie sú známe ako[superstrunové teórie](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_superstr%C3%BAn); niekoľko rôznych druhov bolo popísaných, ale všetky sa dnes považujú za rôzne limity [M-teórie](http://sk.wikipedia.org/wiki/M-te%C3%B3ria).

Niektoré kvalitatívne vlastnosti kvantových strún možno pochopiť jednoduchým spôsobom. Napríklad, kvantové struny majú napätie, veľmi podobné bežným strunám urobených z [dvojvlákna](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Dvojvl%C3%A1kno&action=edit&redlink=1); toto napätie sa považuje za fundamentálny parameter teórie. Napätie kvantovej struny je úzko prepojené na jej veľkosť. Uvažujme o uzavretej strune, ktorá sa pohybuje v priestore bez externých síl. Jej napätie bude mať tendenciu ku kontrakcii na stále menšiu slučku. Klasická intuícia hovorí, že by sa mohlo scvrknúť na bod, ale toto by porušilo [Heisenbergov](http://sk.wikipedia.org/wiki/Werner_Heisenberg) [princíp neurčitosti](http://sk.wikipedia.org/wiki/Princ%C3%ADp_neur%C4%8Ditosti). Charakteristická veľkosť strunovej slučky bude rovnováha medzi silou napätia, ktorá ju zmenšuje a efektom neurčitosti, ktorý ju udržiava "napnutú". V dôsledku toho, minimálna veľkosť struny je v závislosti na strunovom napätí.

### Obálka sveta

Pohyb bodovej častice je možné popísať náčrtom grafu jej pozície (v jednej alebo dvoch dimenziách) oproti času. Výsledný obrázok popisuje [svetovú linku](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Svetov%C3%BA_linku&action=edit&redlink=1) častice (jej 'históriu') v [priestoročase](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Priestoro%C4%8Dase&action=edit&redlink=1). Analogicky, podobný popis grafom je možný pre postup *struny* v čase; struna (jednorozmerný objekt — linka) sleduje povrch (dvojrozmerného [priestoru](http://sk.wikipedia.org/wiki/Priestor)), známeho ako[obálka sveta](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Ob%C3%A1lka_sveta&action=edit&redlink=1). Rôzne módy struny (reprezentujúce rôzne častice ako sú [fotón](http://sk.wikipedia.org/wiki/Fot%C3%B3n) alebo [gravitón](http://sk.wikipedia.org/wiki/Gravit%C3%B3n)) sú povrchové vlny tohto priestoru.

[Uzavreté struny](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Strunov%C3%A1_(fyzika)&action=edit&redlink=1) vyzerajú ako malé slučky, a tak ich svetová obálka vyzerá ako rúrka, alebo, všeobecnejšie, [Riemannov povrch](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Riemannov_povrch&action=edit&redlink=1) (2-dimenzionálne [orientovaný priestor](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Orientovate%C4%BEnos%C5%A5&action=edit&redlink=1) bez hraníc (t. j. bez hrán). Otvorená struna vyzerá ako krátka linka, a tak je svetová obálka vyzerá ako prúžok, alebo, všeobecnejšie, [Riemannov povrch](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Riemannov_povrch&action=edit&redlink=1), ktorý je ohraničený.

Struny sa môžu rozpájať a spájať. Toto sa odráža vo forme ich svetovej obálky (presnejšie, v jej [topológii](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Topol%C3%B3gii&action=edit&redlink=1)). Napríklad, ak sa uzavretá struna rozpojí, jej svetová obálka bude vyzerať ako jednoduchá rúrka rozpojená na dve (často nazývaná *nohavice* — pozri obr. napravo). Ak sa rozpojí uzavretá struna a jej dve časti sa neskôr spoja, jej svetová obálka bude vyzerať ako jednoduchá rúrka rozdelená na dve neskôr spojené, čo tiež vyzerá ako [torus](http://sk.wikipedia.org/wiki/Torus) napojený na dve rúrky (jedna predstavujúca vchádzajúcu strunu a druhá vychádzajúcu). Otvorená struna robiaca to isté bude mať svetovú obálku vyzerajúcu ako kruh pripojený na dva prúžky.

Proces deliacej sa struny (alebo spájajúcej sa struny) je globálny a nie lokálny proces svetovej obálky: lokálne, svetová obálka vyzerá rovnako všade a nie je možné určiť jeden bod svetovej obálky, kde sa delí. Preto tieto procesy sú integrálnou súčasťou teórie a sú popísané rovnakou dynamikou ako kontrola strunových módov.

V niektorých strunových teóriách (a to pre uzavreté struny v [type I](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Struna_Typu_I&action=edit&redlink=1) a niektorých verziách [bozónických strún](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Boz%C3%B3nick%C3%A1_strunov%C3%A1_te%C3%B3ria&action=edit&redlink=1)), sa struny môžu deliť a spájať v opačnom smere ako v [Möbiusovom prúžku](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=M%C3%B6biusov_pr%C3%BA%C5%BEok&action=edit&redlink=1) alebo u [Kleinovej fľaše](http://sk.wikipedia.org/wiki/Kleinova_f%C4%BEa%C5%A1a)). Tieto teórie sa nazývajú*neorientované*. Formálne, svetová obálka u týchto teórií je [ne-orientovateľným povrchom](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Orientovate%C4%BEnos%C5%A5&action=edit&redlink=1).

### Dualita

*Bližšie informácie v článkoch:* [*Strunová dualita*](http://sk.wikipedia.org/wiki/Strunov%C3%A1_dualita)*,* [*S-dualita*](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=S-dualita&action=edit&redlink=1)*,* [*T-dualita*](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=T-dualita&action=edit&redlink=1) *a* [*U-dualita*](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=U-dualita&action=edit&redlink=1)

Koncom 80. rokov boli strunoví teoretici presvedčení, že existuje päť rôznych teórií strún: otvorená [typ I](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Struna_typu_I&action=edit&redlink=1), uzavretá [typ I](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Struna_typu_I&action=edit&redlink=1), uzavretá [typ IIA](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Struna_typu_IIA&action=edit&redlink=1), uzavretá [typ IIB](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Struna_typu_IIB&action=edit&redlink=1), a teória pre dve vône [heterotickej struny](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Heterotick%C3%A1_struna&action=edit&redlink=1) ([SO(32)](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Special_orthogonal_group&action=edit&redlink=1) a [*E*8×*E*8](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=E8_(mathematics)&action=edit&redlink=1)).[[14]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-14) Myslelo sa, že z týchto piatich teórií len jedna je správna [teória všetkého](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_v%C5%A1etk%C3%A9ho), a že táto teória bola teóriou s nízkym energetickým limitom, s desiatimi priestoročasovými dimenziami [kompaktifikovanými](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Kompaktifik%C3%A1cia_(fyzika)&action=edit&redlink=1) na štyri, čo sa rovnalo fyzike pozorovanej v našom dnešnom svete. Dnes panuje názor, že tento obrázok nebol správny a že týchto päť teórií strún je vzájomne prepojených, akokeby išlo o špeciálne prípady nejakej fundamentálnejšej teórie (ktorá sa považuje za [M-teóriu](http://sk.wikipedia.org/wiki/M-te%C3%B3ria)). Tieto teórie sú prepojené prostredníctvom transformácií nazývaných duality. Ak sú dve teórie prepojené dualitnou trasformáciou, znamená to, že prvá teória sa nejakým spôsobom môže transformovať tak aby vyzerala ako druhá teória. Dve teórie sú potom duálne vzájomne pokiaľ ide o ich transformáciu. Povedané ináč, tieto dve teórie sú matematicky odlišné popisy tohto istého javu.

Tieto duality prepájajú kvantity, o ktorých sa tiež myslelo, že sú nezávislé. Mierky veľkých a malých vzdialeností, ako aj silná a slabá sila, sú kvantity, ktoré boli vždy poznačené veľmi rozdielnymi limitami správania sa fyzikálneho systému ako v klasickej teórii poľa, tak v kvantovej časticovej fyzike. Ale struny môžu zastrieť rozdiely medzi veľkým a malým, silným a slabým a takto sa týchto päť veľmi odlišných teórií strún mohlo vzájomne prepojiť. T-duality sa týkajú rozdielov u veľkých a malých vzdialeností, kým S-duality sa týkajú rozdielov medzi silnou a slabou silou. U-duality prepájajú T-duality a S-duality.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Strunové teórie |  |  |
| Typ | Dimenzia časopriestrou | Popis |
| Bozonická | 26 | Teória zahŕňajúca iba [bozóny](http://sk.wikipedia.org/wiki/Boz%C3%B3n), neprítomnosť [fermiónov](http://sk.wikipedia.org/wiki/Fermi%C3%B3n) znamená prítomnosť iba síl a neprítomnosť hmoty, struny môžu byť otvorené alebo uzavreté; hlavným nedostatkom je prítomnosť častíc s imaginárnou hmotnosťou , tzv [Tachyónov](http://sk.wikipedia.org/wiki/Tachy%C3%B3n) , ktoré narúšaju stabilitu teórie. |
| I | 10 | I Teória zahŕňajúca [supersymetriu](http://sk.wikipedia.org/wiki/Supersymetria) medzi silami a hmotou, popis zahŕňa tak uzavreté ako aj otvorené struny, nie su prítomné [tachyóny](http://sk.wikipedia.org/wiki/Tachy%C3%B3n), grupa symetrie je [SO(32)](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=%C5%A0peci%C3%A1lna_ortonorm%C3%A1lna_grupa&action=edit&redlink=1). |
| IIA | 10 | Teória zahŕňajúca [supersymetriu](http://sk.wikipedia.org/wiki/Supersymetria) medzi silami a hmotou, popis zahŕňa tak uzavreté ako aj otvorené struny, voľné konce strún viazané na [D-brány](http://sk.wikipedia.org/wiki/D-br%C3%A1na) , nie su prítomné [tachyóny](http://sk.wikipedia.org/wiki/Tachy%C3%B3n), nehmotné [fermióny](http://sk.wikipedia.org/wiki/Fermi%C3%B3n) nie sú [chirálne](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Chiralita&action=edit&redlink=1). |
| IIB | 10 | Teória zahŕňajúca [supersymetriu](http://sk.wikipedia.org/wiki/Supersymetria) medzi silami a hmotou, popis zahŕňa tak uzavreté ako aj otvorené struny, voľné konce strún viazané na [D-brány](http://sk.wikipedia.org/wiki/D-br%C3%A1na) , nie su prítomné [tachyóny](http://sk.wikipedia.org/wiki/Tachy%C3%B3n), nehmotné [fermióny](http://sk.wikipedia.org/wiki/Fermi%C3%B3n) sú [chirálne](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Chiralita&action=edit&redlink=1). |
| HO | 10 | Teória zahŕňajúca [supersymetriu](http://sk.wikipedia.org/wiki/Supersymetria) medzi silami a hmotou, prítomné su len uzavreté heterotické struny, čo znamená prítomnosť rozdielne sa správajúcich strún pohybujúcich sa do ľava a strún pohybujúcich sa do prava, grupa symetrie je [SO(32)](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=%C5%A0peci%C3%A1lna_ortonorm%C3%A1lna_grupa&action=edit&redlink=1). |
| HE | 10 | Teória zahŕňajúca [supersymetriu](http://sk.wikipedia.org/wiki/Supersymetria) medzi silami a hmotou, prítomné su len uzavreté heterotické struny , čo znamená rozdielne správanie sa strún pohybujúcich sa do ľava voči strunám pohybujúcim sa do prava, grupa symetrie je [*E*8×*E*8](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=E8_(matematika)&action=edit&redlink=1) |

Všimnite si, že typ IIA a typ IIB teórií strún umožňujú pohyb cez 10-dimenzionálny priestoročas (nazývaný jadro), kým otvorené struny majú konce pripojené na D-brány, ktoré sú membránami nižšej dimenzionality (ich rozmery sú nepárne — 1, 3, 5, 7 or 9 — v type IIA a párne — 0, 2, 4, 6 or 8 — v type IIB, vrátane časového smerovania).

### Extra dimenzie

Zaujímavou črtou teórie strún je, že obsahuje predpovede o extra dimenziách. Počet dimenzií nie je fixovaný žiadnym konzistentným kritériom, ale riešenia [plochého priestoročasu](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Ploch%C3%BD_priestoro%C4%8Das&action=edit&redlink=1) predsa len existujú v tzv. "kritických dimenziách". Kozmologické riešenia existujú v širšej variete dimenzionalít a tieto sa líšia rôznymi dimenziami—presnejšie rôznymi hodnotami "efektíveho centrálneho náboja", rátajúcim stupne voľnosti, ktoré sa redukujú na dimenzionalitu v slabo zakrivených režimoch—sú prepojené dynamickými vzťahmi.[[15]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-15)

Jednou z takýchto teórií je 12-rozmerová [M-teória](http://sk.wikipedia.org/wiki/M-te%C3%B3ria), ktorá požaduje, že [priestoročas](http://sk.wikipedia.org/wiki/Priestoro%C4%8Das) musí mať 11 dimenzií,[[2]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-arxiv2-2) v protiklade k obyčajným trom priestorovým dimenziám a štvrtej dimenzii času. Pôvodné teórie strún z 80-tych rokov popisujú špeciálne prípady M-teórie, kde jedenásta dimenzia je veľmi malý kruh alebo priamka a ak sú tieto formulácie považované za základné, potom teória strún požaduje desať rozmerov. Ale teória taktiež popisuje vesmíry ako je ten náš, so štyrmi pozorovateľnými dimenziami, ako aj vesmíry až s desiatimi plochými priestorovými rozmermi a taktiež prípady, kedy pozícia v niektorých z dimenzií nie je popísané reálnym číslom, ale úplne iným typom matematickej kvantity. A tak pojem priestoročasu nie je fixovaný strunovou teóriou: najlepšie je ho myslieť ako rôzny v rôznych okolnostiach.[[16]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-16)

Nič v [Maxwellovej](http://sk.wikipedia.org/wiki/James_Clerk_Maxwell) teórii [elektromagnetizmu](http://sk.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetizmus) alebo [Einsteinovej](http://sk.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein) [teórii relativity](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_relativity) nedáva tento druh predpovedí; tieto teórie vyžadujú vloženie dodatočných dimenzií "oboma rukami", a tento počet je fixný a nezávislý na potenciálnej energii. Teória strún dovoľuje vztiahnuť počet rozmerov na skalár potenciálnej energie. Technicky, toto sa deje kvôli tomu, že pre každý samostatný počet predpovedaných dimenzií existuje [kalibračná anomália](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Kalibra%C4%8Dn%C3%A1_anom%C3%A1lia&action=edit&redlink=1), a kalibračná anomália môže byť vyvážená zahrnutím netriviálnej potenciálnej energie do rovnice pre riešenie pohybu. Ďalej, absencia potenciálnej energie v "kritickej dimenzii" vysvetľuje, prečo sú možné riešenia plochého priestoročasu.

Toto je možné pochopiť lepšie konštatovaním, že [fotón](http://sk.wikipedia.org/wiki/Fot%C3%B3n) zahrnutý v konzistentnej teórii (technicky, častica nesúca náboj vzťahujúci sa na neporušenú [kalibračnú symetriu](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Kalibra%C4%8Dn%C3%A1_symetria&action=edit&redlink=1)) musí byť [nehmotná](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Zvy%C5%A1n%C3%A1_hmotnos%C5%A5&action=edit&redlink=1). Hmotnosť fotónu, ktorá je predpovedaná teóriou strún závisí od energie strunového módu, ktorý reprezentuje fotón. Táto energia zahŕňa príspevok z [Casimirovho efektu](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Casimirov_efekt&action=edit&redlink=1), a to z kvantovej fluktuácie v strune. Veľkosť tohto príspevku závisí na počte dimenzií, keďže pre väčší počet dimenzií existuje viac možných fluktuácií v strunovej pozícii. Preto, fotón v plochom priestoročase bude nehmotný—a teória konzistentná—len pre konkrétny počet dimenzií.[[17]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-17)

Keď sa urobí prepočet, kritická dimenzionalita nie je štyri ako by sme sa mohli domnievať (tri osi priestoru a jedna času). Podsúčet X sa rovná vzťahu fotónovej fluktuácie v lineárnej dimenzii. Strunové teórie plochého priestoročasu sú 26-dimenzionálne v bozónickom prípade, kým superstrunové teórie a M-teórie zahŕňajú 10 alebo 11 dimenzií pre ploché riešenia. U bozónických strunových teórií, 26 dimenzií pochádza od Polyakovovej rovnice.[[18]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-18) Počínajúc akoukoľvek dimenziou väčšou ako štyri, je nevyhnutné uvažovať, ako sa tieto redukujú na štvor-dimenzionálny [priestoročas](http://sk.wikipedia.org/wiki/Priestoro%C4%8Das).

####

####

#### **Kompaktné dimenzie**

Na vyriešenie tohto očividného nesúladu boli navrhnuté dva spôsoby. Prvým je[kompaktifikovať](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Kompaktifik%C3%A1cia_(fyzika)&action=edit&redlink=1) extra dimenzie t. j. šesť alebo sedem extra dimenzii, ktoré sú tak malé, že sú nezistiteľné súčasnými experimentami.

Pre zachovanie vysokého stupňa supersymetrie, tieto kompaktifikácie musia byť veľmi špeciálne, ako je reflektované v ich [holonómii](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Holon%C3%B3mia&action=edit&redlink=1). 6-dimenzionálna priestorovosť musí mať SU(3) štruktúru, zvláštny prípad ([beztorznosti](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Torzn%C3%BD_tenzor&action=edit&redlink=1)), ktorá je SU(3) holonómiou, čím sa stáva [Calabi-Yauovým priestorom](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Calabi-Yauov_priestor&action=edit&redlink=1), a 7-dimenzionálna priestorovosť musí mať štruktúru [G2i](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=G2_rozmanitos%C5%A5&action=edit&redlink=1), s G2 holonómiou, ktorá je opäť špecifický, jednoduchý priestor. Takéto priestory boli študované pri pokusoch prirovnať teóriu strún k 4-rozmernému[štandardnému modelu](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=%C5%A0tandardn%C3%BD_Model&action=edit&redlink=1), čiastočne v dôsledku výpočtovej jednoduchosti, ktorá bola možná predpokladom o supersymetrii. Neskorší pokrok bol urobený konštruovaním realistickejších kompaktifikácií bez stupňa voľnosti Calabi-Yau alebo bez G2 priestorovostí.

Štandardnou analógiou pre toto je uvažovanie o viacrozmernom priestore ako o hadici. Ak je hadica nazeraná z dostatočnej vzdialenosti, zdá sa, že má len jeden rozmer, dĺžku. Skutočne, predstame si guľu, ktorá je dostatočne malá, aby sa vošla do hadice. Hodiac takúto guľu do hadice, táto by sa viac-menej pohybovala len jedným smerom; v akomkoľvek experimente, ktorý robíme hádzaním gúľ do hadice by jediný dôležitý pohyb bol jednorozmerný, a to pozdĺžne. Ale, ako sa človek približuje k hadici, zisťuje, že obsahuje aj ďalší rozmer, priemer. A tak, mravec idúci vnútri nej by sa pohyboval v dvoch dimenziách (a mucha vletiaca doň v troch). Táto "extra dimenzia" je viditeľná len z relatívnej blízkosti hadice, alebo ak do nej "vhodíme" dostatočne malé objekty. Podobne, extra kompaktné dimenzie sú "viditeľné" len pri extrémne malých vzdialenostiach, alebo experimenovaním s častiacami s extrémne malou [vlnovou dĺžkou](http://sk.wikipedia.org/wiki/Vlnov%C3%A1_d%C4%BA%C5%BEka) (rádu polomeru kompaktnej dimenzie), čo v [kvantovej mechanike](http://sk.wikipedia.org/wiki/Kvantov%C3%A1_mechanika) znamená veľmi vysoké enerie (pozri [dualita vlnovej častice](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Dualita_vlnovej_%C4%8Dastice&action=edit&redlink=1)).

#### **Scenár univerzálnej svetovej brány**

Ďalšom možnosťou je, že sme "uväznení" v dimenzionálnom (t. j. tri dimenzie priestoru plus dimenzia času) podpriestore plného vesmíru. Ak sú takéto podmnožiny výnimočnými sústavami v rámci priestoru s väčším počtom dimenzií, potom typicky existujú vhodne umiestnená hmota a Yang-Millsove kalibračné polia.[[19]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-19) Tieto "výnimočné súbory" sú v Calabi-Yauovom priestore *n*-množiny a môžu byť popísané ako podpriestory bez lokálnych deformácií, podobné prasklinám na kuse papiera alebo v kryštáli, kde sa susedný priestor významne líši od výnimočného podpriestoru samotného. Ale, až do práce Randallovej a Sundruma,[[20]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-20) nebolo známe, že gravitácia tiež môže byť vhodne lokalizovaná na podpriestor; ich dôkaz je, že takýto kozmický scenár je realistický. Navyše, priestoročas môže byť taktiež stratifikovaný, obsahujúc straty (vrstvy) rôznych dimenzií, aby sme mohli obývať 3+1 dimenzionálnu vrstvu; takéto geometrie sa vyskytujú prirodzene ako Calabi-Yauove kompaktifikácie.[[21]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-21) Takéto podpriestory sú tzv. [D-bránami](http://sk.wikipedia.org/wiki/D-br%C3%A1na), a preto takéto modely sú známe ako [teórie bránového sveta](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Br%C3%A1nov%C3%A1_kozmol%C3%B3gia&action=edit&redlink=1).

#### **Efekt skrytých dimenzií**

V každom prípade, gravitácia pôsobiaca v skrytých dimenziách ovplyvňuje ostatné negravitačné sily ako je elektromagnetizmus. Kaluzova raná práca demonštrovala, že všeobecná relativita v piatich dimenziách v zásade predpovedá existenciu elektromagnetizmu. Ale, kvôli povahe [Calabi-Yauovej rozmanitosti](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Calabi-Yauova_rozmanitos%C5%A5&action=edit&redlink=1), žiadne nové sily sa neobjavujú z malých vzdialeností, no ich tvar má zásadný vplyv na to, ako sa sily medzi strunami javia v našom štvorrozmernom vesmíre. V zásade je preto možné dedukovať povahu týchto extra dimenzií požadovaním konzistencie so [štandardným modelom](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0tandardn%C3%BD_model), ibaže toto zatiaľ nie je praktická možnosť. Je tiež možné extrahovať informácie týkajúce sa skrytých dimenzií testami precíznosti gravitácie, ale dosiaľ tieto len udali horné obmedzenia ohľadom veľkosti takýchto skrytých dimenzií.

### D-brány

*Bližšie informácie v hlavnom článku:* [*D-brane*](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=D-brane&action=edit&redlink=1)

Ďalšou kľúčovou črtou teórie strún je existencia of D-brán. Ide o membrány rozličnej dimenzionality (od nula dimenziálnej membrány — čo je fakticky bod — cez 2-dimenzionálne membrány, 3-dimenzionálne objemy atď.). D-brány sú definované faktom, že sú k nim pripojené [hranice](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Hranica_(topol%C3%B3gia)&action=edit&redlink=1) [svetovej obálky](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Svetovej_ob%C3%A1lky&action=edit&redlink=1). A tak D-brány môžu emitovať a absorbovať uzavreté struny; preto môžu mať hmotnosť (keďže emitujú [gravitóny](http://sk.wikipedia.org/wiki/Gravit%C3%B3n)) a — v [superstrunových teóriách](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Superstrunov%C3%A1_te%C3%B3ria&action=edit&redlink=1) — tiež [náboj](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=N%C3%A1boj_(fyzika)&action=edit&redlink=1) (keďže môžu emitovať uzavreté struny, ktorú sú kalibračnými bozónmi). Z pohľadu otvorených strún, D-brány sú objektami, ku ktorým sú pripojené konce otvorených strún. Hovorí sa, že otvorené struny pripojené na D-bránu na nej "existujú", a dávajú dôvod na [kalibračné teórie](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Kalibra%C4%8Dn%C3%A1_te%C3%B3ria&action=edit&redlink=1) "existujúce" na nej (keďže jeden z módov otvorených strún je [kalibračný bozón](http://sk.wikipedia.org/wiki/Kalibra%C4%8Dn%C3%BD_boz%C3%B3n) ako je fotón). V prípade D-brány tu bude jeden typ kalibračného bozónu a budeme mať [Abeliansku](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Abelianska_skupina&action=edit&redlink=1) kalibračnú teóriu (s kalibračným bozónom [fotónom](http://sk.wikipedia.org/wiki/Fot%C3%B3n)). Ak existuje viacero paralelných D-brán, potom bude existovať viacero typov kalibračných bozónov, ktoré sú príčinou vzniku [Neabelianskej kalibračnej teórie](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Neabelianska_kalibra%C4%8Dn%C3%A1_te%C3%B3ria&action=edit&redlink=1).

D-brány sú tak gravitačnými zdrojmi, na ktorých je postavená kalibračná teória. Táto kalibračná teória je [prepojená](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Prepojenie_(fyzika)&action=edit&redlink=1) na[gravitáciu](http://sk.wikipedia.org/wiki/Gravit%C3%A1cia) (ktorá údajne existuje v *zhluku*), takže obyčajne je každý z týchto dvoch rôznych uhlov pohľadu neúplný.

## Kalibračno-gravitačná dualita

Kalibračno-gravitačná dualita je v istých prípadoch zbiehajúca sa dualita medzi kvantovou teóriou gravitácie a [kalibračná teória](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Kalibra%C4%8Dn%C3%A1_te%C3%B3ria&action=edit&redlink=1) v nižšom počte dimenzií. To znamená, že každý predpovedaný fenomén a kvantita v jednej teórii má analógiu v inej teórii, so "slovníkom" prekladajúcim jednu teóriu do druhej.

### Opis duality

V istých prípadoch [kalibračná teória](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Kalibra%C4%8Dn%C3%A1_te%C3%B3ria&action=edit&redlink=1) ohľadom D-brán je [rozpojenie](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Napojenie_(fyzika)&action=edit&redlink=1) od [gravitácie](http://sk.wikipedia.org/wiki/Gravit%C3%A1cia) nachádzajúcej sa v zhluku; a tak otvorené struny pripojené k D-bránam ne[interagujú](http://sk.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1kladn%C3%A1_interakcia) s uzavretými strunami. Takáto situácia sa nazýva *rozpojovací limit*. V týchto prípadoch, D-brány majú dva nezávislé alternatívne popisy. Ako je popísané vyššie, z pohľadu uzavretých strún, D-brány sú gravitačné zdroje, a tak máme gravitačnú teóriu priestoročasu s poľami pozadia. Z pohľadu otvorených strún, fyzika D-brán je popísaná vhodnou kalibračnou teóriou. Preto v takýchto prípadoch je často uvádzané, že gravitačná teória priestoročasu s vhodnými poľami pozadia je duálna (t. j. fyzikálne ekvivalentná) ku kalibračnej teórii hranice tohto priestoročasu (keďže podpriestor naplnený s D-bránami je hranicou tohto priestoročasu). Doteraz, táto dualita nebola v žiadnom z prípadov dokázaná, takže panuje taktiež nezhoda medzi strunovými teoretikmi pokiaľ ide o duality aplikované na rôzne modely.

### Príklady a intuícia

Najznámejším príkladom a prvým, ktorý budeme študovať je dualita medzi Typom IIB [superstruny](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Strunov%C3%A1_(fyzika)&action=edit&redlink=1) na *AdS5* *S5*([produktovom priestore](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Produktov%C3%BD_priestor&action=edit&redlink=1) päť-dimenzionality [Anti de Sitterov priestor](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Anti_de_Sitterov_priestor&action=edit&redlink=1) päť-sféry na jednej strane, a *N* = 4 [supersymmetrickou](http://sk.wikipedia.org/wiki/Supersymetria)[Yang-Millsovovou teóriou](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Yang-Millsova_te%C3%B3ria&action=edit&redlink=1) na štvor-dimenzionálnej hranici Anti de Sitterovho priestoru (buď v plochom štvor-dimenzionálnom priestoročase *R3,1* alebo troj-[sfére](http://sk.wikipedia.org/wiki/Sf%C3%A9ra) s časom *S3* *R*). Toto je známe ako [AdS/CFT correspondence](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=AdS/CFT_correspondence&action=edit&redlink=1)[[22]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-22)[[23]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-23), názov často používaný pre kalibračno-gravitačnú dualitu vo všeobecnosti.

Túto dualitu si možno predstaviť nasledovne: predpokladajme, že existuje priestoročas s gravitačným zdrojom, napríklad[extrémna čierna diera](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Extr%C3%A9mna_%C4%8Dierna_diera&action=edit&redlink=1).[[24]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-24) Keď sú častice veľmi vzdialené od tohto zdroja, sú popísané uzavretými strunami (t. j. gravitačnou teóriou, alebo obyčajne [supergravitáciou](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Supergravit%C3%A1cia&action=edit&redlink=1)). Ako sa častice približujú ku gravitačnému zdroju, stále ich alternatívne možné popísať prostredníctvom uzavretých strún, resp. objektami podobnými [QCD strunami](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=QCD_struny&action=edit&redlink=1),[[25]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-25)

Struny v Seiberg-Dualovej teórii]"</ref>[[26]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-26)[[27]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-27) , ktoré sú zložené z [kalibračných bozónov](http://sk.wikipedia.org/wiki/Kalibra%C4%8Dn%C3%BD_boz%C3%B3n) ([gluónov](http://sk.wikipedia.org/wiki/Glu%C3%B3n)) a ostatných stupňov voľnosti [kalibračnej teórie](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Kalibra%C4%8Dn%C3%A1_te%C3%B3ria&action=edit&redlink=1).[[28]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-28) Takže, ak je možné (pri *rozpojovacom limite*) popísať gravitačný systém ako dve samostatné oblasti — jedna (*zhluk*) veľmi vzdialené od zdroja, a druhá blízko zdroja — potom druhá oblasť môže byť tiež popísaná kalibračnou teóriou D-brán. Táto druhá oblasť (blízko zdroja) sa nazýva *limit blízko horizontu* , keďže obyčajne existuje[horizont udalosti](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Horizont_udalosti&action=edit&redlink=1) okolo (alebo v) gravitačnom zdroji.

V gravitačnej teórii, jedným zo smerov v priestoročase je radiálny smer, ktorý ide od gravitačného zdroja preč (smerom od zhluku). Kalibračná teória existuje len na D-bráne samotnej, a tak nezahŕňa radiálny smer: je v priestoročase s o jednou dimenziou menej v porovnaní s gravitačnou teóriou (v skutočnosti, je v priestoročase identickom k hranici horizontu udalosti gravitačnej teórie). Predstavme si teraz, ako sú tieto dve teórie ekvivalentné:

Fyzika gravitačnej teórie horizontu udalosti zahŕňa len stavy [v škrupine](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=V_%C5%A1krupine&action=edit&redlink=1) (obvyklé v teórii strún), kým teória poľa zahŕňa tiež[korelačnú funkciu](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Korela%C4%8Dn%C3%A1_funkcia&action=edit&redlink=1) mimo škrupinu. Stavy v škrupine v gravitačnej teórii horizontu udalosti je možné myslieť ako popisujúce len častice prichádzajú zo zhluku do oblasti horizontu udalosti, interagujúce medzi sebou navzájom. V kalibračnej teórii sú tieto "projektované" na hranicu, takže častice, ktoré prídu do zdroja z rôznych smerov budú mať v tejto teórii kvantovú fluktuáciu (mimo škrupiny) ďaleko navzájom od seba, kým častice prichádzajúce k zdroju takmer z rovnakej vzdialenosti budú mať (mimo škrupinovú) kvantovú fluktuáciu navzájom blízko k sebe. A tak uhol medzi prichádzajúcimi časticami v gravitačnej teórii sa prekladá do škálovej vzdialenosti medzi kvantovou fluktuáciou v kalibračnej teórii. Uhol medzi prichádzajúcimi časticami v gravitačnej teórii sa vzťahuje k radiálnej vzdialenosti od gravitačného zdroja, v ktorej častice interagujú: čím väčší je uhol, tým bližšie ku zdroju musia častice byť, aby mohli interagovať navzájom. Na druhej strane, škála vzdialenosti medzi kvantovými fluktuáciami v [kvantovej teórii poľa](http://sk.wikipedia.org/wiki/Kvantov%C3%A1_te%C3%B3ria_po%C4%BEa) má vzťah (inverzný) k energetickej škále v tejto teórii, a tak malý polomer v gravitačnej teórii sa prekladá na nízkoenergetickú škálu v kalibračnej teórii (t. j. IR režim teórie poľa), kým veľký polomer v gravitačnej teórii sa prekladá na vysokoenergetickú škálu v [kalibračnej teórii](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Kalibra%C4%8Dn%C3%A1_te%C3%B3ria&action=edit&redlink=1) (t. j. UV režim teórie poľa).

Jednoduchý príklad tohto princípu je, že ak v gravitačnej teórii existuje nastavenie, v ktorom [dilatačné](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Dilat%C3%A1cia&action=edit&redlink=1) pole (určujúce silu[napojenia](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Napojenie_(fyzika&action=edit&redlink=1)) klesá s polomerom, potom jeho teória poľa bude [asymptoticky voľná](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Asymptotick%C3%A1_sloboda&action=edit&redlink=1), t. j. jeho napojenie sa bude zoslabovať vo vysokých energiách.

### Kontakt s experimentom

Matematika strunovej teórie môže viesť k novým poznatkom ohľadom [kvantovej chromodynamiky](http://sk.wikipedia.org/wiki/Kvantov%C3%A1_chromodynamika), [kalibračnej teórie](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Kalibra%C4%8Dn%C3%A1_te%C3%B3ria&action=edit&redlink=1) s jej fundamentálnou teóriou [silnej jadrovej sily](http://sk.wikipedia.org/wiki/Siln%C3%A1_interakcia). Panuje presvedčenie, že bude objavená gravitačná teória duálna ku kvantovej chromodynamike.[[29]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-29) Matematická technika od tejto strunovej teórie (the [AdS/CFT correspondence](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=AdS/CFT_correspondence&action=edit&redlink=1)) bola použitá na popis kvalitatívnych vlastností [kvark-gluónovej plazmy](http://sk.wikipedia.org/wiki/Kvark-glu%C3%B3nov%C3%A1_plazma) v relativistických kolíziách ťažkých iónov;[[9]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-autogenerated2-9)[[10]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-autogenerated1-10)[[11]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-autogenerated3-11)[[12]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-autogenerated4-12) the physics, ale, ide výlučne o štandardnú kvantovú chromodynamiku, ktorá bola kvantitatívne modelovaná [lattice QCD](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Lattice_QCD&action=edit&redlink=1) metódami s dobrými výsledkami.[[30]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-30) Bola navrhnutá tiež ďalšia potenciálna forma dôkazu pre teóriu strún. Bolo by ňou objavenie veľkých[kozmických strún](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Kozmick%C3%A9_struny&action=edit&redlink=1) v priestore, sformovaných, keď Big Bang "rozšíril" niektoré struny do astronomických rozmerov. Ostatné teórie však predpovedajú kozmické struny s rozdielnymi fyzikálnymi danosťami (topologické defekty v rôznych poliach. Nový fenomén konzistentný s verziami o teórii strún môže byť pozorovaný s novobudovaným [Veľkým Hadrónovým urýchľovačom](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Ve%C4%BEk%C3%BD_Hadr%C3%B3nov%C3%BD_ur%C3%BDch%C4%BEova%C4%8D&action=edit&redlink=1). Boli by ním indikácie o anomálne veľkej sile gravitácie na mikroskopickej úrovni, čo by bolo v súlade s bránami interagujúcimi medzi extra dimenziami prostredníctvom [unikania gravitónov](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Graviton&action=edit&redlink=1) z jednej do druhej. Objav[supersymetrie](http://sk.wikipedia.org/wiki/Supersymetria) by tiež mohol byť považovaný za dôkaz, keďže teória strún bola prvou teóriou, ktorá ho požadovala, hoci sú aj iné teórie, ktoré obsahujú supersymetriu. Absencia supersymetrických častíc na energetických hladinách prístupných pre LHC by nemusela znamenať koniec teórie strún, keďže supersymetria by mohla existovať, ale mimo dosah akcelerátoru.

## Problémy a rozpory

Hoci teória strún pochádza z fyziky, niektorí fyzici tvrdia, že jej v súčasnosti netestovateľný status znamená, že by mala byť skôr klasifikovaná ako systematická sústava pre budovanie modelov v protiklade k fyzikálnej teórii.[[31]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-31) Niektorí idú ešte ďalej a hovoria, že teória strún ako [teória všetkého](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_v%C5%A1etk%C3%A9ho) je zlyhaním.[[32]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-Wrong-32)[[33]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-Smolin-33) Toto viedlo k verejnej debate v roku 2007,[[34]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-34)[[35]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-35), kde jeden komentátor vyjadril svoj názor takto:

"Počas obdobia vyše jednej generácie, fyzici naháňali výhonok zvaný teória strún. Začiatok tohto znamenal koniec toho, čo znamenalo trištvrte storočia pokroku. Tucty konferencií o teórii strún, stovky doktorátov, tisíce štúdií. Avšak, napriek všetkej tejto aktivite, ani jedna testovateľná predpoveď, ani jedna teoretická hádanka nebola vyriešená. V skutočnosti, neexistuje žiadna iná teória, ktorá by bola tak rozsiahlym súborom kalkulácií naznačujúcich, že teória môže byť pravdivá. A, ak aj je, táto teória má toľko verzií, že jej praktické použitie je vylúčené: Teória ničoho." -- Jim Holt.[[36]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-36)

### Je teória strún prediktívna?

Teória strún ako [teória všetkého](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_v%C5%A1etk%C3%A9ho) bola kritizovaná ako nevedecká, pretože je tak ťažké ju experimentálne testovať. Kontrovezie sa týkajú dvoch vlastností: #Všeobecne je rozšírená predstava, že akákoľvek teória [kvantovej gravitácie](http://sk.wikipedia.org/wiki/Kvantov%C3%A1_gravit%C3%A1cia) by si vyžadovala extrémne vysoké energie na priame overenie, vyššie ako rozsahy pri ktorých sa robia súčasné experimenty ako [Veľký hadrónový urýchľovač](http://sk.wikipedia.org/wiki/Ve%C4%BEk%C3%BD_hadr%C3%B3nov%C3%BD_ur%C3%BDch%C4%BEova%C4%8D)[[37]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-37) môže dosiahnuť.

1. Teória strún, ako je v súčasnosti chápaná, má veľké množstvo rovnako možných riešení, zvaných strunové vákuá,[[38]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-KKLT-38) a tieto vákuá by mohli byť dostačne rozdielne na vysvetlenie takmer všetkých fenoménov, ktoré môžeme pozorovať pri nižších energiách. Ak sú tieto vlastnosti správne, teória strún ako teória všetkého by mala malú alebo žiadnu [schopnosť predpovedať](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Schopnos%C5%A5_predpoveda%C5%A5&action=edit&redlink=1) v porovnaní s fyzikálnymi experimentami častíc nižších energií.[[39]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-39)[[40]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-40) Pretože je tak ťažké teóriu testovať, niektorí teoretickí fyzici postavili otázku, či je vôbec možné ju volať [vedeckou teóriou](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria). Sem patria [Peter Woit](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Peter_Woit&action=edit&redlink=1), [Lee Smolin](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Lee_Smolin&action=edit&redlink=1), [Philip Warren Anderson](http://sk.wikipedia.org/wiki/Philip_Warren_Anderson),[[41]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-41) [Sheldon Glashow](http://sk.wikipedia.org/wiki/Sheldon_Glashow),[[42]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-42) [Lawrence Krauss](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Lawrence_Krauss&action=edit&redlink=1),[[43]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-43) and [Carlo Rovelli](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Carlo_Rovelli&action=edit&redlink=1).[[44]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-44) Všetko modely strunových teórií sú kvantovo mechanické, Lorentzove invarianty, unitárne a obsahujúce Einsteinovu [všeobecnú relativitu](http://sk.wikipedia.org/wiki/V%C5%A1eobecn%C3%A1_relativita) ako nízkoenergetický limit.[[45]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-45) Preto pre falzifikáciu teórie strún by stačilo falzifikovať kvantovú mechaniku, Lorentzove invariancie alebo všeobecnú relativitu.[[46]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-46) A tak teória strún je falzifikovateľná a vyhovuje definícii vedeckej teórie podľa Popperovských kritérií. Ale, pre ustanovenie presvedčivého potenciálu pre verifikovanie teórie strún, predpoveď by mala byť špecifická a nie zdieľaná akýmkoľvek teoretickým modelom kvantového poľa alebo všeobecnou relativitou. Jedným z takýchto unikátnych predpokladov je *strunová harmómia*: pri dostatočne vysokých energiách—pravdepodobne blízko kvantovo gravitačne škály—strunag-ako prirodzenosť častíc by začala byť zrejmá. Mali by existovať ťažšie kópie všetkých častíc korešpondujúce s vyššími vibračnými stavmi struny. Ale nie je jasné, ako vysoké sú tieto energie. V najpravdepodobnejšom prípade by boli 1014 times vyššie ako tie, ktoré sú dnes prístupné pre [urýchľovač častíc](http://sk.wikipedia.org/wiki/Ur%C3%BDch%C4%BEova%C4%8D_%C4%8Dast%C3%ADc),[LHC](http://sk.wikipedia.org/wiki/Ve%C4%BEk%C3%BD_hadr%C3%B3nov%C3%BD_ur%C3%BDch%C4%BEova%C4%8D), kvôli čomu sú tieto predpovede netestovateľné akýmkoľvek časticovým urýchľovačom v dohľadnej budúcnosti.

### Močarina

Na odpoveď na tieto obavy, [Cumrun Vafa](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Cumrun_Vafa&action=edit&redlink=1) a ďalší spochybnili myšlienku teórie strún, že je kompatibilná so všetkým. Navrhujú, aby pravdepodobnejšie teória fyziky nízkych energií bola v [močarinách](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=(fyzika)mo%C4%8Dar%C3%ADn&action=edit&redlink=1). Močariny sú súborom teórií, ktoré by mohli byť pravdivé, ak by nebol problém s gravitáciou, ale ktoré nie sú kompatibilné so strunovou teóriou. Príklad teórie v močiari je kvantová elektrodynamika v limite veľmi malého elektrónového náboja. Tento limit dokonale vyhovuje teórii kvantového poľa — v tomto limite sa teória prenikania vlastne stále zlepšuje. Ale v teórii strún, v momente, kedy náboj najľahšej častice začne mať menšiu hmotnosť ako je hmotnosť v prirodzených jednotkách, teória sa stáva nekonzistentnou. Dôvodom je, že dve takto nabité masívne častice sa budú vzájomne priťahovať viac ako elektrostaticky odpudzovať a mohli by byť použité na výrobu čiernej diery. Ak neexistujú žiadne ľahko nabité častice, tieto čierne diery by sa nemohli efektívne rozkladať, čo zahraňuje rôznym hypotetickým variantám alebo zvyškom (aby sa mohli sformovať). Štúdiom príkladov a z analýzy vyparovanie čiernej diery sa teraz akceptuje, že teórie s malým nábojovým kvantom musia pochádzať z ľahko nabitých častíc. Toto jediné platí vnútri teórie strún—neexistujú žiadne obmedzenia v [teórii kvantového poľa](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_kvantov%C3%A9ho_po%C4%BEa). To znamená, že objav novej kalibračnej skupiny s malým kvantom náboja a len ťažko nabitými častiacami by mohli sfalzifikovať strunovú teóriu. Keďže tento argument je veľmi obecný—spočívajúci len na vyparovaní čiernej diery a[holografickom princípe](http://sk.wikipedia.org/wiki/Holografick%C3%BD_princ%C3%ADp), bolo navrhnuté, aby tento predpoklad platil pre akúkoľvek konzistentnú holografickú teóriu kvantovej gravitácie, hoci fráza "konzistentná holografickú teóriu kvantovej gravitácie" by rovnako mohla byť synonymická s "teóriou strún".

Je treba poznamenať, že všetky základné črty [štandardného modelu](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0tandardn%C3%BD_model) môžu byť zakomponované do teórie strún, aby štandardný model nebol močarinou. Toto obsahuje črty ako neabelianske kalibračné skupiny a chirálne fermióny, ktoré je ťažké zakomponovať do nestrunovej teórie kvantovej gravitácie.[[chýba zdroj](http://sk.wikipedia.org/wiki/Pomoc%3AReferencie)]

### Nezávislosť na pozadí

*Bližšie informácie v hlavnom článku:* [*Nezávislosť na pozadí*](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Nez%C3%A1vislos%C5%A5_na_pozad%C3%AD&action=edit&redlink=1)

Ďalšia, staršia forma kritiky je, že strunová teória je závislá na pozadí — strunová teória popisuje perturbačné expanzie na fixnom pozadí priestoročasu. Hoci teória má istú nezávislosť na pozadí — topologická zmena je v nej začatý proces a výmena gravitónov je ekvivalentná k zmene na pozadí — matematické kalkulácie v teórii závisia na výbere pozadia ako počiatočného bodu. To preto, že ako mnoho [teórií kvantového poľa](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_kvantov%C3%A9ho_po%C4%BEa), mnoho teórií strún je stále formulovaných[perturbačne](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Perturba%C4%8Dn%C3%A1_te%C3%B3ria(kvantov%C3%A1_mechanika)&action=edit&redlink=1), ako [divergentné série](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Divergentn%C3%A9_s%C3%A9rie&action=edit&redlink=1) aproximácií. Hoci neperturbačné techniky značne pokročili — vrátane konjektúrnych kompletných definícií v [priestoročase](http://sk.wikipedia.org/wiki/Priestoro%C4%8Das) uspokojujúc isté asymptoty — plná [neperturbačná](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Neperturba%C4%8Dn%C3%A1&action=edit&redlink=1) definícia teórie stále chýba. Niektorí vidia nezávislosť na základe ako fundamentálnu požiadavku teórie kvantovej graviácie, a to obzvlášť keďže[všeobecná relativita](http://sk.wikipedia.org/wiki/V%C5%A1eobecn%C3%A1_relativita) je už sama na základe nezávislá. Niektorí dúfajú, že [M-teória](http://sk.wikipedia.org/wiki/M-te%C3%B3ria), alebo a [neperturbačné](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Neperturba%C4%8Dn%C3%A9&action=edit&redlink=1) ošetrenie strunovej teórie ([teória strunového poľa](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Te%C3%B3ria_strunov%C3%A9ho_po%C4%BEa&action=edit&redlink=1) bolo myslené neperturbačne v 80. rokoch) a má formuláciu nezávislú na pozadí.

### Prerušenie supersymetrie

*Bližšie informácie v hlavnom článku:* [*Supersymetria*](http://sk.wikipedia.org/wiki/Supersymetria)

Centrálnym problémom pre aplikovanie je, že najlepšie pochopené základy strunovej teórie používajú veľa zo supersymetrického základu teórie, čo má za výsledok časovo invariantný priestoročas: v súčasnosti sa teória nedokáže vysporiadať s časovo podmieneným kozmologickým pozadím. Ale bolo navrhnutých niekoľko modelov na vysvetlenie prerušenia supersymetrie, najzaujímavejší je KKLT model,[[38]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-KKLT-38), ktorý zahŕňa brány a fluktuácie na vytvorenie metastabilnej kompaktifikácie.

### Rozloženie strunovej teórie

Vákuová štruktúra teórie, nazvaná [Rozloženie strunovej teórie](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Rozlo%C5%BEenie_strunovej_te%C3%B3rie&action=edit&redlink=1), nie je dobre pochopená. Strunová teória obsahuje nekonečný počet samostatných metastabilných vákuí a možno až 10500 alebo viac ich korešponduje s vermírom, ktorý je podobný tomu nášmu — so štyrmi dimenziami, vysokou planckovou škálou, kalibračnými skupimai a chirálnymi fermiónmi. Každá z nich korešponduje s iným možným vesmírom, s inými súborom častíc a síl.[[38]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-KKLT-38) Aký princíp, ak vôbec nejaký, je možné použiť na výber spomedzi týchto vákuí je otvorenou otázkou. Kým neexistujú žiadne kontinuálne parametre v teórii samotnej, existuje veľký súbot možných vesmírov, ktoré sa od seba môžu vzájomne radikálne odlišovať.

Niektorí fyzici sú presvedčení, že je to dobrá vec, pretože to môže umožniť prirodzené [antropické vysvetlenie](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Antropick%C3%BD_princ%C3%ADple&action=edit&redlink=1)pozorovaných hodnôt [fyzikálnych konštánt](http://sk.wikipedia.org/wiki/Fyzik%C3%A1lna_kon%C5%A1tanta), obzvlášť malej hodnoty [kozmologickej konštanty](http://sk.wikipedia.org/wiki/Kozmologick%C3%A1_kon%C5%A1tanta).[[47]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-47)[[48]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-48) Tvrdí sa, že väčšina vesmírov obsahuje hodnoty pre fyzikálne konštanty, ktoré nevedú k obývateľným vesmírom (prinajmenšom pre ľudí), a tak pravdepodobne žijeme v "najpriateľskejšom" vesmíre. Tento princíp je už zakomponovaný na vysvetlenie existencie života na Zemi ako výsledku pre život priaznivej orbity okolo slnka strednej veľkosti spomedzi nekonečného počtu možných orbít (ako aj relatívne stabilného umiestnenia v galaxii). Ale, kozmologická verzia antropického prinícpu zostáva vysoko kontroverzná, pretože by bolo ťažké ak nie nemožné pre [Poppera](http://sk.wikipedia.org/wiki/Karl_Popper) ju [falzifikovať](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Valid%C3%A1cia&action=edit&redlink=1); a tak mnohí to neuznávajú za vedecký podložené.

### Ďalšie kritériá testovateľnosti

Mnoho fyzikov silne oponuje myšlienke, že teória strún nie je falzifikovateľná, medzi nimi [Sylvester James Gates](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Sylvester_James_Gates&action=edit&redlink=1): "A tak, nabudúce, ak vám niekto povie, že strunová teória nie je testovateľná, pripomeňte im, [AdS/CFT](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=AdS/CFT&action=edit&redlink=1) spojenie ..."[[49]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-49) [AdS/CFT](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=AdS/CFT&action=edit&redlink=1)vzťahuje strunovú teóriu na kalibračnú teóriu a umožňuje kontakt s experimentami nízkych energií v [kvantovej chromodynamike](http://sk.wikipedia.org/wiki/Kvantov%C3%A1_chromodynamika). Tento typu strunovej teórie, ktorý popisuje len silné interakcie, je oveľa menej kontroverzný dnes, kedy existujú strunové teórie všetkého (hoci pred 20 rokmi to bolo naopak).

Na dôvažok, Gates poznamenáva, že [veľká unifikačná](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Ve%C4%BEk%C3%A1_unifika%C4%8Dn%C3%A1_te%C3%B3ria&action=edit&redlink=1) prirodzenosť v strunových teóriách všetkého vyžaduje, aby sa prepájacie konštanty všetkých štyroch síl stretávali v jednom bode renormalizácie preškálovania skupiny. Toto je tiež falzifikovateľný argument, ale nie je obmedzený len na strunovú teóriu, no je zdieľaný [veľkými unifikačnými teóriami](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Ve%C4%BEk%C3%A1_unifika%C4%8Dn%C3%A1_te%C3%B3ria&action=edit&redlink=1).[[50]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-50)[LHC](http://sk.wikipedia.org/wiki/Ve%C4%BEk%C3%BD_hadr%C3%B3nov%C3%BD_ur%C3%BDch%C4%BEova%C4%8D) bude použitý jednak pre testovanie [AdS/CFT](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=AdS/CFT&action=edit&redlink=1), ako aj pre kontrolu, či nedochádza k elektroslabosilnej unifikácii, ako sa to predpovedá.[[51]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-51)

## História

*Bližšie informácie v hlavnom článku:* [*História strunovej teórrie*](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Hist%C3%B3ria_strunovej_te%C3%B3rrie&action=edit&redlink=1)

Niektoré zo štruktúr opätovne zavedených do strunovej teórie vznikli po prvý raz oveľa skôr ako časť programu klasickej unifikácie začatej [Albertom Einsteinom](http://sk.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein). Prvý, kto pridal [piatu dimenziu](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=P%C3%A4%C5%A5dimenzion%C3%A1lny_priestor&action=edit&redlink=1) ku [všeobecnej relativite](http://sk.wikipedia.org/wiki/V%C5%A1eobecn%C3%A1_relativita) bol nemecký matematik[Theodor Kaluza](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Theodor_Kaluza&action=edit&redlink=1) v r. 1919, ktorý poznamenal, že gravitácia v piatich dimenziách popisuje ako gravitáciu, tak elektromagnetizmus v štyroch. V r. 1926, švédsky fyzik [Oskar Klein](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Oskar_Klein&action=edit&redlink=1) podal [fyzikálnu interpretáciu](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Kaluza-Kleinova_te%C3%B3ria&action=edit&redlink=1) nepozorovateľnej dimenzie--- je zabalená do malého kruhu. Einstein zaviedol [nesymetrický geometrický tenzor](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Antisymetrick%C3%BD_tenzor&action=edit&redlink=1)[[*chýba objasnenie*](http://sk.wikipedia.org/wiki/Pomoc%3AObjasnenie)], zatiaľ čo omnoho neskôr Brans a Dicke pridali skalárny komponent ku gravitácii. Tieto myšlienky by sa mali v rámci strunovej teórie oživiť, keď budú požadované konzistenčnými podmienkami.

Strunová teória bola pôvodne vyvinutá počas 60-tych a začatkom 70-tych rokov ako nikdy nie úplne úspešná teória[hadrónov](http://sk.wikipedia.org/wiki/Hadr%C3%B3n), [subatomických častíc](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Subatomick%C3%A9_%C4%8Dastice&action=edit&redlink=1) ako sú [protón](http://sk.wikipedia.org/wiki/Prot%C3%B3n) a [neutrón](http://sk.wikipedia.org/wiki/Neutr%C3%B3n), ktoré sú podriadené [silnej interakcii](http://sk.wikipedia.org/wiki/Siln%C3%A1_interakcia). V 60-tych rokoch, [Geoffrey Chew](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Geoffrey_Chew&action=edit&redlink=1) a [Steven Frautschi](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Steven_Frautschi&action=edit&redlink=1) objavili, že [mezóny](http://sk.wikipedia.org/wiki/Mez%C3%B3n) vytvárajú rodiny zvané [Reggeho trajektórie](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Reggeho_trajekt%C3%B3rie&action=edit&redlink=1), s hmotnosťami vztiahnutými na spiny spôsobom, ktorý neskôr pochopili [Yoichiro Nambu](http://sk.wikipedia.org/wiki/Yoichiro_Nambu), [Holger Bech Nielsen](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Holger_Bech_Nielsen&action=edit&redlink=1) a [Leonard Susskind](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Leonard_Susskind&action=edit&redlink=1) ako vzťahy, ktoré sa očakávajú od rotujúcich strún. Chew obhajoval vytvorenie teórie pre interakcie týchto trajektórií, ktoré nepredpokladajú, že by mali byť zložené zo nejakých fundamentálnych častíc, ale boli by konštruované svojimi interakciami z [vlastnými podmienkami konzistencie](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Zav%C3%A1dzaj%C3%BAci_model&action=edit&redlink=1) na [S-matici](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=S-matica&action=edit&redlink=1). [S-maticový prístup](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Te%C3%B3ria_S-matice&action=edit&redlink=1) začal [Werner Heisenberg](http://sk.wikipedia.org/wiki/Werner_Heisenberg) v 1940-tych rokoch ako spôsob konštruovania teórie, ktorá sa nespolieha na lokálne pojmy priestoru a času, ktoré sa, ako bol Heisenberg presvedčený, rozdeľujú na jadrovú škálu. Kým škála bola mimo o mnoho stupňov rozsahu, prístup, ktorý obhajoval ideálne vyhovoval pre teóriu kvantovej gravitácie.

Pracujúc s experimentálnymi údajmi, R. Dolen, D. Horn a C. Schmid[[52]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-52) rozvinuli niektoré [sumárne pravidlá](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Sum%C3%A1rne_pravidl%C3%A1&action=edit&redlink=1) pre výmenu hadrónov. Keď sa častica a antičastica rozídu, virtuálne častice sa môžu vymeniť dvomi kvalitatívne rozdielnymi spôsobmi. V s-kanáli, dve častice annihilujú, aby vytvorili dočasné prechodné stavy, ktoré sa rozpadajú do konečných stavov častícs. V t-kanáli si častice vymieňajú stavy emisiami a absorpciou. V teórii poľa, dva príspevky sa zrátajú, jeden dávajúci kontinuálny príspevok pozadia, iný dávajú maximálne stavy pri istých energiách. V údajoch bolo jasné, že vrcholy uberali pozadiu--- autori to interpretovali tak, že t-kanálový príspevok bol duálny pre s-kanál jeden, čo znamenalo, že oba popisovali celú amplitúdu a zahŕňali druhý.

Výsledok bol široko publikovaný [Murray Gell-Mannom](http://sk.wikipedia.org/wiki/Murray_Gell-Mann), čo viedlo [Gabriele Veneziano](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Gabriele_Veneziano&action=edit&redlink=1) pre skonštruovanie amplitúdy rozdelenia, ktorá mala vlastnosti Dolen-Horn-Schmidovej duality, neskôr premenovanej na dualitu svetovej obálky. Amplitúda potrebovala póly, kde sa častice objavujú, na priamych trajektóriách, a existuje špeciálna matematická funkcia, ktorej póly sú rovnomerne umiestnené na polovici reálnej línie--- [Gama funkcia](http://sk.wikipedia.org/wiki/Gama_funkcia)--- ktorá bola široko použitá v Reggeho teórii. Manipuláciou kombinácií Gamma funkcií, Veneziano dokázal nájsť konzistentnú amplitúdu rozdelenia s pólmi na priamych líniách, s väčšinou pozitívnymi reziduami, ktoré poslúchali dualitu a mali vhodné Reggeho škálovanie pri vysokých energiách. Amplitúda by mohla vyhovovať takmer lúčovému rozmiestneniu dát, ako aj inými Reggeho typom, a mali navrhnuté integrálne zastúpenie, ktoré by mohlo byť použité pre zovšeobecnenie.

Počas nasledovných rokov, stovky fyzikov pracovala s skompletizovanie základného programu pre tento model, s mnohými prekvapeniami. Veneziano sám objavil, že pre amplitúdu rozdelenia častice, ktorá sa objavuje v teórii, zrejmá podmienkami sebakonzistencie, najľahšia častica musí byť [tachyón](http://sk.wikipedia.org/wiki/Tachy%C3%B3n). [Miguel Virasoro](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Miguel_Angel_Virasoro&action=edit&redlink=1) a Joel Shapiro našli inú amplitúdu, dnes chápanú ako uzatvorené struny, kým [Ziro Koba](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Ziro_Koba&action=edit&redlink=1) a [Holger Nielsen](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Holger_Bech_Nielsen&action=edit&redlink=1) zovšeobecnili Venezianove integrálne zastúpenie multičasticového rozdelenia. Veneziano a [Sergio Fubini](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Sergio_Fubini&action=edit&redlink=1) zaviedli operátorový formalizmus pre výpočet amplitúdy rozdelenia, ktorý bol predchodcom konformnej teórie, svetovej obálky, kým Virasoro pochopil, ako odstrániť póly s nesprávnymi reziduami za použitia obmedzené stavov. [Claud Lovelace](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Claud_Lovelace&action=edit&redlink=1) vypočítal slučkovú amplitúdu, a poznamenal, že, že existuje inkonzistencia pokiaľ dimenzia teórie nie je 26. [Charles Thorn](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Charles_Thorn&action=edit&redlink=1), [Peter Goddard](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Peter_Goddard&action=edit&redlink=1) a [Richard Brower](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Richard_Brower&action=edit&redlink=1) ďalej dokázali, že neexistujú žiadne nesprávne prestupujúce stavy v dimenzii menšej či rovnej 26.

V r. 1969 [Yoichiro Nambu](http://sk.wikipedia.org/wiki/Yoichiro_Nambu), [Holger Bech Nielsen](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Holger_Bech_Nielsen&action=edit&redlink=1) a [Leonard Susskind](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Leonard_Susskind&action=edit&redlink=1) zistili, že teória by mohla byť popísaná v priestore a čase pojmami strún. Amplitúdy rozdelenia boli odvodené systematicky od akčného princípu, ktorý rozvinuli [Peter Goddard](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Peter_Goddard&action=edit&redlink=1),[Jeffrey Goldstone](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Jeffrey_Goldstone&action=edit&redlink=1), [Claudio Rebbi](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Claudio_Rebbi&action=edit&redlink=1) a [Charles Thorn](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Charles_Thorn&action=edit&redlink=1), pričom udali priestoročasový rámec pre uhlové operátory, zavedené Venezianom a Fubinim a geometrickú interpretáciu pre [Virasorove podmienky](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Virasorova_algebra&action=edit&redlink=1).

V r. 1970, [Pierre Ramond](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Pierre_Ramond&action=edit&redlink=1) pridal k modelu fermióny, čo ho viedlo k sformulovaniu dvoj-dimenzionálnej supersymetrie na zrušenie nevhodných stavov. [John Schwarz](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=John_Henry_Schwarz&action=edit&redlink=1) a [André Neveu](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Andr%C3%A9_Neveu&action=edit&redlink=1) pridali ďalší sektor do fermiónovej teórie o niečo neskôr. Vo fermiónových teóriách, kritická dimenzia bola 10. [Stanley Mandelstam](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Stanley_Mandelstam&action=edit&redlink=1) formuloval konformnú teóriu svetovej obálky ako pre bozón tak fermión, čím vytvoril teoretický integrál cesty dvoj-dimenzionálneho poľa na vygenerovanie operátorového formalizmu. [Michio Kaku](http://sk.wikipedia.org/wiki/Michio_Kaku) a [Keiji Kikkawa](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Keiji_Kikkawa&action=edit&redlink=1) podali inú formuláciu bozónických strún, ako [teóriu strunového poľa](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Te%C3%B3ria_strunov%C3%A9ho_po%C4%BEa&action=edit&redlink=1), s nekonečným počtom časticových typov a s poľami preberajúcimi hodnoty nie na bodoch, ale na slučkách a krivkách.

V r. 1974, [Tamiaki Yoneya](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Tamiaki_Yoneya&action=edit&redlink=1) objavil, že všetky známe strunové teórie zahŕňali nehmotnú časticu spinu dva, ktorá sa správala podľa správnych [Wardových identít](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Wardov%C3%A9_identity&action=edit&redlink=1) a nazvali ju gravitón. John Schwarz a [Joel Scherk](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Joel_Scherk&action=edit&redlink=1) prišli k rovnakému záveru a urobili smelý skok k návrhu, že strunová teória je teóriou gravitácie a nie teóriou hadrónov. Opätovne zaviedli [Kaluza–Kleinovú teóriu](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Kaluza%E2%80%93Kleinov%C3%A1_te%C3%B3ria&action=edit&redlink=1) ako spôsob zreálnenia extra dimenzií. V rovnakom čase, [kvantová chromodynamika](http://sk.wikipedia.org/wiki/Kvantov%C3%A1_chromodynamika) bola uznaná ako správna teória hadrónov, posunúc tak pozornosť fyzikov a očividne ponechajúc zavádzací program v [smetnom koši histórie](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Smetn%C3%BD_k%C3%B4%C5%A1_hist%C3%B3rie&action=edit&redlink=1).

Strunová teória sa dostala z koša, ale počas nasledujúcej dekády všetky práce teórie boli úplne ignorované. Napriek tomu, teória pokračovala v rozvoji stabilným tempom vďaka práci niekoľkých zanietencov. [Ferdinando Gliozzi](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Ferdinando_Gliozzi&action=edit&redlink=1), Joel Scherk, a [David Olive](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=David_Olive&action=edit&redlink=1) si v roku 1976 uvedomili, že originálne Ramondove a Neveu Schwarzove strungy boli samostatne inkonzistentné a bolo treba ich skombinovať. Výsledná teória nemala tachyón, a bola preukázaná ako priestoročasová supersymetria Johnom Schwarzom a [Michaelom Greenom](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Michael_Green_(fyzik)&action=edit&redlink=1) v r. 1981. V rovnakom roku, [[Alexander Markovich Polyakov|Alexander Polyakov]] dal teórii modernú smeromo integrálnu formuláciu, a rozsiahle pokračoval v rozvoji konformnej teórie poľa. V r. 1979, [Daniel Friedan](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Daniel_Friedan&action=edit&redlink=1) ukázal, že rovnice pohybu strunovej teórie, ktoré sú zovšeobecneniami[Einsteinových rovníc](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Einsteinove_rovnice&action=edit&redlink=1) [všeobecnej relativity](http://sk.wikipedia.org/wiki/V%C5%A1eobecn%C3%A1_relativita), objavených z rovníc [Renormalizačnej skupiny](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Renormaliza%C4%8Dn%C3%A1_skupina&action=edit&redlink=1) pre teóriu dvoj-dimenzionálneho poľa. Schwarz a Green objavili T-dualitu a skonštruovali dve rôzne superstrunové teórie--- IIA a IIB korelované podľa T-duality, a teórie typu I s otvorenými strunami. Konzistenčné podmienky boli tak silné, že celá teória bol takmer úplne deterministická, len s niekoľkými distrétnymi možnosťami.

Začiatkom 80-tych rokov, [Edward Witten](http://sk.wikipedia.org/wiki/Edward_Witten) objavil, že väčšina teórií kvantovej gravitácie nebola schopná zakomponovať[chiralitu](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Chiralita_(phyzika)&action=edit&redlink=1) fermiónov ako je neutríno. Toto ho viedlo k spolupráci s [Luis Alvarez-Gauméom](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Luis_Alvarez-Gaum%C3%A9&action=edit&redlink=1) na štúdium porušení zákonov konzervácie v gravitačných teóriách s [anomáliami](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Gravita%C4%8Dn%C3%A1_anom%C3%A1lia&action=edit&redlink=1), uzatvárajúc, že strunové teórie typu I sú nekonzistné. Green a Schwarz objavili príspevok k anomálii, ktorý Witten a Alvarez-Gaumé nepostrehli, ktorý obmedzil kalibračnú skupinu strunovej teórie typu I na (32). Pri postupnom chápaní výpočtov, Edward Witten začal byť presvedčený, že strunová teória je naozaj konzistentnou teóriou gravitácie, a stal sa jej známym obhajcom. V rokoch 1984 až 1986, stovky fyzikov začalo pracovať na tomto poli a toto sa niekedy nazýva [prvá superstrunová revolúcia](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Prv%C3%A1_superstrunov%C3%A1_revol%C3%BAcia&action=edit&redlink=1).

Počas tohto obdobia, [David Gross](http://sk.wikipedia.org/wiki/David_Gross), [Jeffrey Harvey](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Jeffrey_Harvey&action=edit&redlink=1), [Emil Martinec](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Emil_Martinec&action=edit&redlink=1), a [Ryan Rohm](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Ryan_Rohm&action=edit&redlink=1) objavili [heterotické struny](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Heterotick%C3%A9_struny&action=edit&redlink=1). Kalibračnou skupinou týchto uzavretých strún boli dve skupiny [E8](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=E8_(matematika)&action=edit&redlink=1), a ktorákoľvek z nich mohla ľahko a prirodzene zahrnúť štandardný model. [Philip Candelas](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Philip_Candelas&action=edit&redlink=1), [Gary Horowitz](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Gary_Horowitz&action=edit&redlink=1), [Andrew Strominger](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Andrew_Strominger&action=edit&redlink=1) a Edward Witten zistili, že Calabi-Yauove priestory sú kompaktifikácie, ktoré chránia realistický objem supersymetrie, kým [Lance Dixon](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Lance_Dixon&action=edit&redlink=1) a ostatní vypracovali fyzikálne vlastnosti[orbitálov](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Orbit%C3%A1ly&action=edit&redlink=1), špecifické geometrické singularity dovolené v strunovej teórii. [Cumrun Vafa](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Cumrun_Vafa&action=edit&redlink=1) zovšeobecnil T-dualitu od kruhov po arbitrárne dimenzie, vytvoriac matematické pole [zrkadlovej symetrie](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Zrkadlov%C3%A1_symetria_(strunov%C3%A1_te%C3%B3ria)&action=edit&redlink=1). [David Gross](http://sk.wikipedia.org/wiki/David_Gross) a [Vipul Periwal](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Vipul_Periwal&action=edit&redlink=1) objavili, že strunová perturbačná teória je divergentná spôsobom, ktorý naznačoval, že nové neperturbačné objekty chýbali.

V 90-tych rokoch, [Joseph Polchinski](http://sk.wikipedia.org/wiki/Joseph_Polchinski) zistil, že teória potrebuje vyššiedimenzionálne objekty, zvané [D-brány](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=D-br%C3%A1ny&action=edit&redlink=1) a identifikoval ich s riešeniami supergravitácie čierne diery. Tieto boli pochopené ako nové objekty navrhnuté perturbačnými divergenciami, a otvorili nové pole pre bohatú matematickú štruktúru. Rýchlo sa stalo zrejmým, že D-brány a ostatné p-brány, nielen struny, tvoria hmotný obsah strunových teórií, a bola objavená fyzikálna interpretácia strún a brán--- sú typom čiernej diery. [Leonard Susskind](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Leonard_Susskind&action=edit&redlink=1) zahrnul [holografický princíp](http://sk.wikipedia.org/wiki/Holografick%C3%BD_princ%C3%ADp) [Gerardus ’t Hoofta](http://sk.wikipedia.org/wiki/Gerardus_%E2%80%99t_Hooft) do strunovej teórie, identifikujúc dlhé vysokoexcitované strunové stavy s obyčajnými termálnymi stavmi čiernych dier. Ako bolo navrhnuté 't Hooftom, fluktuácie horizontu čiernej diery, teória svetovej obálky alebo svetového objemu, popisuje nielen stupne voľnosti čiernej diery, ale taktiež všetkých blízkych objektov. V r. 1995, na výročnej konferencii strunových teoretikov na University of Southern California (USC), [Edward Witten](http://sk.wikipedia.org/wiki/Edward_Witten) predniesol prejav o strunovej teórii, ktorý v zásade zjednotil päť strunových teórií, ktoré v tom čase existovali, čím sa zrodila nová 11-dimenzionálna teória zvaná [M-teória](http://sk.wikipedia.org/wiki/M-te%C3%B3ria). M-teória bola tiež predchodcom v práci [Paula Townsenda](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Paul_Townsend&action=edit&redlink=1) približne v rovnakom čase. Horúčkovitá aktivita, ktorá v tom čase začala sa tiež niekedy nazýva [druhá superstrunová revolúcia](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Druh%C3%A1_superstrunov%C3%A1_revol%C3%BAcia&action=edit&redlink=1).

Počas tohto obdobia, [Tom Banks](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Tom_Banks_(fyzik)&action=edit&redlink=1), [Willy Fischler](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Willy_Fischler&action=edit&redlink=1) [Stephen Shenker](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Stephen_Shenker&action=edit&redlink=1) a [Leonard Susskind](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Leonard_Susskind&action=edit&redlink=1) formulovali úplný holografický popis M-teórie ohľadom IIA D0 brán,[[53]](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_note-53) prvá definícia strunovej teórie, ktorá bola plne neperturbačná a bola konkrétnou matematickou realizáciou [holografického princípu](http://sk.wikipedia.org/wiki/Holografick%C3%BD_princ%C3%ADp). [Andrew Strominger](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Andrew_Strominger&action=edit&redlink=1) a [Cumrun Vafa](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Cumrun_Vafa&action=edit&redlink=1) vypočítali entropiu istých konfigurácií D-brán a našli zhodu a poloklasickou odpoveďou pre extrémne nabité čierne diery. [Petr Horava](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Petr_Horava&action=edit&redlink=1) a Edward Witten stanovili 11-dimenzionálnu formuláciu heterotických strunových teórií, a ukázali, že orbitály riešia problém chirality. Witten poznamenal, že efektívny popis fyziky D-brán za nízkych energií je prostredníctvom supersymetrickej kalibračnej teórie, a položil geometrické interpretácie matematických štruktúr v kalibračnej teórii, ktorú on a [Nathan Seiberg](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Nathan_Seiberg&action=edit&redlink=1) objavili už skôr pokiaľ ide o umiestnenie brán.

V r. 1997 [Juan Maldacena](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Juan_Maldacena&action=edit&redlink=1) poznamenal, že excitácie nízkych energií v teórii blízko čiernej diery pozostávajú z objektov blízkych k horizontu, čo pre extrémne nabité čierne diery vyzerá ako [anti de Sitterov priestor](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Anti_de_Sitterov_priestor&action=edit&redlink=1). Poznamenal, že v tomto limite kalibračná teória popisuje strunovú excitáciu blízko brán. A tak teoretizoval, že strunová teória na horizonte blízko geometrie extrémne nabitej čiernej diery, anti-deSitterov priestoročas krát sféra s fluktuáciou, je rovnako dobre popísaná prostredníctvom nízkoenergetickej limitujúcej [kalibračnej teórie](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Kalibra%C4%8Dn%C3%A1_te%C3%B3ria&action=edit&redlink=1), *N=4* supersymetrickej [Yang-Millsovaej teórie](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Yang-Millsova_te%C3%B3ria&action=edit&redlink=1). Táto hypotéza, ktorá sa nazýva [AdS/CFT korešpondencia](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=AdS/CFT_kore%C5%A1pondencia&action=edit&redlink=1), bola ďalej rozvinutá [Edwardom Wittenom](http://sk.wikipedia.org/wiki/Edward_Witten), a [Stevenom Gubserom](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Steven_Gubser&action=edit&redlink=1),[Igorom Klebanovom](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Igor_Klebanov&action=edit&redlink=1) a [Alexandrom Polyakovom](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Alexander_Markovich_Polyakov&action=edit&redlink=1), a je dnes široko akceptovaná. Je to konkrétny výsledok [holografického princípu](http://sk.wikipedia.org/wiki/Holografick%C3%BD_princ%C3%ADp), ktorý má ďalekosiahle dôsledky [čierne diery](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cierna_diera), [lokalitu](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Princ%C3%ADp_lokality&action=edit&redlink=1) a [informácie](http://sk.wikipedia.org/wiki/Inform%C3%A1cia) vo fyzike, ako aj pre povahu gravitačných interakcií. Prostredníctvom tohto vzťahu strunová teória ukázala, že je prepojená s kalibračnými teóriami ako [kvantová chromodynamika](http://sk.wikipedia.org/wiki/Kvantov%C3%A1_chromodynamika) a toto viedlo ku kvantitatívnejšiemu pochopeniu správania sa [hadrónov](http://sk.wikipedia.org/wiki/Hadr%C3%B3n), čo priviedli strunovú teóriu späť k jej koreňom.

## Referencie

1. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-1) Sunil Mukhi(1999)"[Teória strún: Detailný úvod](http://theory.tifr.res.in/~mukhi/Physics/string2.html)"
2. ↑ [Jump up to:***a***](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-arxiv2_2-0) [***b***](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-arxiv2_2-1) M. J. Duff, James T. Liu and R. Minasian [Eleven Dimensional Origin of String/String Duality: A One Loop Test](http://arxiv.org/PS_cache/hep-th/pdf/9506/9506126v2.pdf) Center for Theoretical Physics, Department of Physics, Texas A&M University
3. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-amsci_3-0) [Joseph Polchinski, "Všetko je v strunách?", *Americký vedec*, Január-Február 2007 Volume 95, č. 1](http://www.americanscientist.org/bookshelf/pub/all-strung-out)
4. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-frontline_4-0) ["On the right track. Interview with Professor Edward Witten.", *Frontline*, Volume 18 - vydanie 03, Feb. 03 - 16, 2001](http://www.hinduonnet.com/fline/fl1803/18030830.htm)
5. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-tsl_5-0) [Leonard Susskind, "Zadrž! Toto plavidlo sa len vydalo na cestu...", *Times Higher Education*, 25 August 2006](http://www.timeshighereducation.co.uk/story.asp?storyCode=204991&sectioncode=26)
6. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-nature_6-0) [Geoff Brumfiel, "Our Universe: Outrageous fortune",*Nature*, Nature 439, 10-12 (5 January 2006) | doi:10.1038/439010a; Published online 4 January 2006](http://www.nature.com/nature/journal/v439/n7072/full/439010a.html)
7. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-7) ["NOVA - The elegant Universe"](http://www.pbs.org/wgbh/nova/elegant/view-glashow.html)
8. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-newyorker_8-0) [Jim Holt, "Unstrung", *The New Yorker*, October 2, 2006](http://www.newyorker.com/archive/2006/10/02/061002crat_atlarge)
9. ↑ [Jump up to:***a***](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-autogenerated2_9-0) [***b***](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-autogenerated2_9-1) H. Nastase, *The RHIC fireball as a dual black hole*, BROWN-HET-1439, [arXiv:hep-th/0501068](http://arxiv.org/abs/hep-th/0501068), January 2005,
10. ↑ [Jump up to:***a***](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-autogenerated1_10-0) [***b***](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-autogenerated1_10-1) H. Nastase, *More on the RHIC fireball and dual black holes*, BROWN-HET-1466, [arXiv:hep-th/0603176](http://arxiv.org/abs/hep-th/0603176), March 2006,
11. ↑ [Jump up to:***a***](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-autogenerated3_11-0) [***b***](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-autogenerated3_11-1) H. Liu, K. Rajagopal, U. A. Wiedemann, *An AdS/CFT Calculation of Screening in a Hot Wind*, MIT-CTP-3757, [arXiv:hep-ph/0607062](http://arxiv.org/abs/hep-ph/0607062) July 2006,
12. ↑ [Jump up to:***a***](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-autogenerated4_12-0) [***b***](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-autogenerated4_12-1) H. Liu, K. Rajagopal, U. A. Wiedemann, *Calculating the Jet Quenching Parameter from AdS/CFT*, Phys.Rev.Lett.97:182301,2006 [arXiv:hep-ph/0605178](http://arxiv.org/abs/hep-ph/0605178)
13. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-13) Burt A. Ovrut (2006). "A Heterotic Standard Model".*Fortschritte der Physik* 54-(2-3): 160–164.
14. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-14) S. James Gates, Jr., Ph.D., [Superstring Theory: The DNA of Reality](http://www.teach12.com/ttcx/coursedesclong2.aspx?cid=1284) "Lecture 23 - Can I Have that Extra Dimension in the Window?", 0:04:54, 0:21:00.
15. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-15) Simeon Hellerman and Ian Swanson(2006): "[Dimension-changing exact solutions of string theory](http://arxiv.org/PS_cache/hep-th/pdf/0612/0612051v3.pdf)".; Ofer Aharony and Eva Silverstein(2006):"[Supercritical stability, transitions and (pseudo)tachyons<http://arxiv.org/PS_cache/hep-th/pdf/0612/0612031v2.pdf>]".
16. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-16) Polchinski, Joseph (1998). *String Theory*, Cambridge University Press.
17. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-17) Kalkuláciu počtu dimenzií možno obísť pridaním [stupňov voľnosti](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Stupne_vo%C4%BEnosti_(fyzika_a_ch%C3%A9mia)&action=edit&redlink=1), ktoré kompenzujú "chýbajúcu" kvantovú fluktuáciu. Avšak, tento stupeň voľnosti sa správa rovnako k [priestoročasovým](http://sk.wikipedia.org/wiki/Priestoro%C4%8Das) dimenziám len v niektorých aspektoch, a výsledná teória nie je [Lorentzov invariant](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Lorentzov_invariant&action=edit&redlink=1), a má iné charakteristiky, ktoré sa neobjavujú v reálnom svete. Toto je známe ako [*lineárna dilatácia*](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Line%C3%A1rna_dilat%C3%A1cia&action=edit&redlink=1) alebo[nekritická struna](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Nekritick%C3%A1_struna&action=edit&redlink=1).
18. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-18) "Quantum Geometry of Bosonic Strings – Revisited"
19. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-19) Pozri napríklad T. Hübsch, "[A Hitchhiker’s Guide to Superstring Jump Gates and Other Worlds](http://web.archive.org/20101207045114/homepage.mac.com/thubsch/HSProc.pdf)", in Proc. SUSY 96 Conference, R. Mohapatra and A. Rasin (eds.), Nucl. Phys. (Proc. Supl.) 52A (1997) 347-351
20. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-20) L. Randall and R. Sundrum, "[Alternatíva ku kompaktifikácii](http://arxiv.org/pdf/hep-th/9906064)" Phys. Rev. Lett. 83 (1999) 4690-4693
21. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-21) P. Aspinwall, D. Morrison and B. Greene, "[Calabi-Yauov moduli priestor, zrkadliaci mnohosť a priestorovo-časovú topologickú zmenu v strunovej teórii](http://arxiv.org/pdf/hep-th/9309097)", Nucl. Phys. B416 (1994) 414-480
22. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-22) J. Maldacena, *Veľký N limit superkonformných teórií poľa a supergravitácie*,[arXiv:hep-th/9711200](http://arxiv.org/abs/hep-th/9711200)
23. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-23) Aharony, O., S.S. Gubser, J. Maldacena, H.Ooguri, Y. Oz (2000). "[Large N Field Theories, String Theory and Gravity](http://arxiv.org/abs/hep-th/9905111)" (subscription required). *Phys. Rept.* 323: 183–386. [DOI](http://sk.wikipedia.org/wiki/Digital_Object_Identifier):[10.1016/S0370-1573(99)00083-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0370-1573%2899%2900083-6)..
24. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-24) Robbert Dijkgraaf,Erik Verlinde a Herman Verlinde(1997)"[5D Čierne diery a matrixové struny](http://arxiv.org/PS_cache/hep-th/pdf/9704/9704018v2.pdf)"
25. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-25) Minoru Eto,Koji Hashimoto a Seiji Terashima(2007)]"[QCD String as Vortex](http://arxiv1.library.cornell.edu/PS_cache/arxiv/pdf/0706/0706.2005v1.pdf)
26. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-26) Harvey B.Meyer(2005)"[Zakrivenia svetovej obálky QCD struny](http://arxiv.org/PS_cache/hep-th/pdf/0506/0506034v1.pdf)"
27. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-27) Koji Hashimoto(2007)"[Cosmic Strings, QCD Strings and D-branes](http://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~kiasyk2/slides/hashimoto.pdf)"
28. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-28) Piljin Yi(2007)"[Príbeh o baryónoch v gravitácii duálnej QCD](http://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~gc2007/pdf/yi.pdf)"
29. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-29) For example: T. Sakai and S. Sugimoto, *Hadrónová fyzika nízkych energií vholografike QCD*, Prog.Theor.Phys.113:843-882,2005, [arXiv:hep-th/0412141](http://arxiv.org/abs/hep-th/0412141), December 2004
30. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-30) Pozri napríklad [Recent Results](http://www.physics.indiana.edu/~sg/milc/results.pdf) z MILC výskumného programu na [MILC Collaboration homepage](http://www.physics.indiana.edu/~sg/milc.html)
31. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-31) David Gross, [Perspectives](http://video.tau.ac.il/Lectures/Exact_Sciences/Physics/stringfest/OnDemand.html?11), String Theory: Achievements and Perspectives - A conference
32. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-Wrong_32-0) [Peter Woit's *Not Even Wrong* weblog](http://www.math.columbia.edu/~woit/wordpress/?cat=2)
33. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-Smolin_33-0) [Lee Smolin's *The Trouble With Physics* webpage](http://www.thetroublewithphysics.com/)
34. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-34) e.g. John Baez a odpovede na skupinovom weblogu [The n-Category Cafe](http://golem.ph.utexas.edu/category/2007/02/this_weeks_finds_in_mathematic_7.html)
35. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-35) [John Baez weblog](http://math.ucr.edu/home/baez/week246.html)
36. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-36) [Unstrung: The New Yorker](http://www.newyorker.com/archive/2006/10/02/061002crat_atlarge)
37. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-37) Elias Kiritsis(2007)"[String Theory in a Nutshell](http://press.princeton.edu/chapters/s8456.pdf)"
38. ↑ [Jump up to:***a***](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-KKLT_38-0) [***b***](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-KKLT_38-1) [***c***](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-KKLT_38-2) S. Kachru, R. Kallosh, A. Linde and S. P. Trivedi,*de Sitter Vacua in String Theory*, Phys.Rev.D68:046005,2003, [arXiv:hep-th/0301240](http://arxiv.org/abs/hep-th/0301240)
39. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-39) P. Woit (Columbia University), *String theory: An Evaluation*,February 2001, [arXiv:physics/0102051](http://arxiv.org/abs/physics/0102051)
40. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-40) P. Woit, [Je teória strún testovateľná?](http://www.math.columbia.edu/~woit/testable.pdf) INFN Rome March 2007
41. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-41) "strunová teória je prvou vedou za stovky rokov, ktorá je robená predbaconianskym spôsobom, bez adekvátnych experimentálnych ukazovateľov", [New York Times](http://sk.wikipedia.org/wiki/New_York_Times), 4 January 2005
42. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-42) "Pokiaľ neexistuje žiaden experiment, ktorý by bolo možné urobiť, ani žiadne pozorovania, ktoré by ukázali, ´mýlite sa'. Teória je v bezpečí, v permanentnom bezpečí"[NOVA interview](http://pbs.org/wgbh/nova/elegant/view-glashow.html))
43. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-43) "Strunová teória ešte len musí dosiahnuť svoj prvý úspech vo vysvetlení alebo predikcii čohokoľvek merateľného" [New York Times](http://sk.wikipedia.org/wiki/New_York_Times), 8 November 2005)
44. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-44) see his *Dialog on Quantum Gravity*, [arXiv:hep-th/0310077](http://arxiv.org/abs/hep-th/0310077))
45. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-45) J. Polchinski, *Teória strún*, Cambridge University Press, Cambridge, UK (1998)
46. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-46) N. Comins, W. Kaufmann, *Objav vesmíru: Od hviezd po planéty*, W.H. Freeman & Co., p. 357 (2008)
47. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-47) N. Arkani-Hamed, S. Dimopoulos and S. Kachru,*Predictive Landscapes and New Physics at a TeV*,[arXiv:hep-th/0501082](http://arxiv.org/abs/hep-th/0501082), SLAC-PUB-10928, HUTP-05-A0001, SU-ITP-04-44, January 2005
48. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-48) L. Susskind *Antropické zloženie strunej teórie*,[arXiv:hep-th/0302219](http://arxiv.org/abs/hep-th/0302219), February 2003
49. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-49) S. James Gates, Jr., Ph.D., Superstrunová teória: DNA realita "Prednáška 21 - Môžu 4D sily (bez graviácie) mať rady struny?", 0:26:06-0:26:21, cf. 0:24:05-0:26-24.
50. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-50) Idem, "Lecture 19 - Do-See-Do and Swing your Superpartner Part II" 0:16:05-0:24:29.
51. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-51) Idem, Lecture 21, 0:20:10-0:21:20.
52. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-52) Dolen, Horn, Schmid "Finite-Energy Sum Rules and Their Application to ?N Charge exchange"<http://prola.aps.org/abstract/PR/v166/i5/p1768_1>
53. [Jump up↑](http://sk.wikipedia.org/wiki/Te%C3%B3ria_str%C3%BAn#cite_ref-53) Banks, Fischler, Shenker and Susskind "M Teória ako Matrix Model: Splývanie" <http://arxiv.org/abs/hep->th/9610043v3

## Literatúra

* [DAVIES, Paul](http://sk.wikipedia.org/wiki/Paul_Davies); Julian R. Brown(Eds.) (July 31 1992). *Superstrings: A Theory of Everything?*, Reprint, Cambridge: Cambridge University Press. [ISBN 0-521-43775-X](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/052143775X).\*Gefter, Amanda (December 2005). [*Is string theory in trouble?*](http://www.newscientist.com/article/mg18825305.800-is-string-theory-in-trouble.html?full=true).[*New Scientist*](http://sk.wikipedia.org/wiki/New_Scientist). prístup: December 19, 2005. – An interview with [Leonard Susskind](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Leonard_Susskind&action=edit&redlink=1), the theoretical physicist who discovered that string theory is based on one-dimensional objects and now is promoting the idea of [multiple universes](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Multiverse_(science)&action=edit&redlink=1).\*[Green, Michael](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Michael_Green_(physicist)&action=edit&redlink=1) (September 1986). [*Superstrings*](http://www.damtp.cam.ac.uk/user/mbg15/superstrings/superstrings.html). *Scientific American*. prístup: December 19, 2005.\*[GREENE, Brian](http://sk.wikipedia.org/wiki/Brian_Greene) (October 20 2003). [*The Elegant Universe: Superstrings, Hidden Dimensions, and the Quest for the Ultimate Theory*](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=The_Elegant_Universe&action=edit&redlink=1), Reissue, New York: W.W. Norton & Company. [ISBN 0-393-05858-1](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/0393058581).| [GREENE, Brian](http://sk.wikipedia.org/wiki/Brian_Greene) (2004). [*The Fabric of the Cosmos: Space, Time, and the Texture of Reality*](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=The_Fabric_of_the_Cosmos:_Space,_Time,_and_the_Texture_of_Reality&action=edit&redlink=1). New York: Alfred A. Knopf. [ISBN 0-375-41288-3](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/0375412883).
* [GRIBBIN, John](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=John_Gribbin&action=edit&redlink=1) (1998). *The Search for Superstrings, Symmetry, and the Theory of Everything*. London: Little Brown and Company. [ISBN 0-316-32975-4](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/0316329754).\* [HALPERN, Paul](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Paul_Halpern&action=edit&redlink=1) (2004). *The Great Beyond: Higher Dimensions, Parallel Universes, and the Extraordinary Search for a Theory of Everything*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc..[ISBN 0-471-46595-X](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/047146595X).
* HOOPER, Dan (2006). *Dark Cosmos: In Search of Our Universe's Missing Mass and Energy*. New York: HarperCollins.[ISBN 978-0-06-113032-8](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/9780061130328).\* [KAKU, Michio](http://sk.wikipedia.org/wiki/Michio_Kaku) (April 1994). *Hyperspace: A Scientific Odyssey Through Parallel Universes, Time Warps, and the Tenth Dimension*. Oxford: Oxford University Press. [ISBN 0-19-508514-0](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/0195085140).\*[Klebanov, Igor](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Igor_Klebanov&action=edit&redlink=1) and[Maldacena, Juan](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Juan_Maldacena&action=edit&redlink=1) (January 2009). [Solving Quantum Field Theories via Curved Spacetimes](http://ptonline.aip.org/journals/doc/PHTOAD-ft/vol_62/iss_1/28_1.shtml). [*Physics Today*](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Physics_Today&action=edit&redlink=1).\*[MUSSER, George](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=George_Musser&action=edit&redlink=1) (2008). *The Complete Idiot's Guide to String Theory*. Indianapolis: Alpha. [ISBN 978-1-59-257702-6](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/9781592577026).\*[RANDALL, Lisa](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Lisa_Randall&action=edit&redlink=1) (September 1 2005). [*Warped Passages*](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Warped_Passages&action=edit&redlink=1)*: Unraveling the Mysteries of the Universe's Hidden Dimensions*. New York: Ecco Press. [ISBN 0-06-053108-8](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/0060531088).\* [SUSSKIND, Leonard](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Leonard_Susskind&action=edit&redlink=1) (December 2006). [*The Cosmic Landscape*](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Leonard_Susskind&action=edit&redlink=1)*: String Theory and the Illusion of Intelligent Design*. New York: Hachette Book Group/Back Bay Books.[ISBN 0-316-01333-1](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/0316013331).\* [Taubes, Gary](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Gary_Taubes&action=edit&redlink=1) (November 1986). "Everything's Now Tied to Strings" *Discover Magazine* vol 7, #11. (Popular article, probably the first ever written, on the [first superstring revolution](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=First_superstring_revolution&action=edit&redlink=1).)\* [VILENKIN, Alex](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Alex_Vilenkin&action=edit&redlink=1) (2006). *Many Worlds in One: The Search for Other Universes*. New York: Hill and Wang. [ISBN 0-8090-9523-8](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/0809095238).\*[Witten, Edward](http://sk.wikipedia.org/wiki/Edward_Witten) (June 2002). [*The Universe on a String*](http://www.sns.ias.edu/~witten/papers/string.pdf). (PDF) [*Astronomy Magazine*](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Astronomy_Magazine&action=edit&redlink=1). prístup: December 19, 2005. – An easy nontechnical article on the very basics of the theory.Two nontechnical books that are critical of string theory:
* [SMOLIN, Lee](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Lee_Smolin&action=edit&redlink=1) (2006). [*The Trouble with Physics*](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=The_Trouble_with_Physics&action=edit&redlink=1)*: The Rise of String Theory, the Fall of a Science, and What Comes Next*. New York: Houghton Mifflin Co.. [ISBN 0-618-55105-0](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/0618551050).\* [WOIT, Peter](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Peter_Woit&action=edit&redlink=1) (2006). *Not Even Wrong - The Failure of String Theory And the Search for Unity in Physical Law*. London: Jonathan Cape &: New York: Basic Books. [ISBN 0-224-07605-1](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/0224076051) & [ISBN 978-0-465-09275-8](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/9780465092758).
* Becker, Katrin, Becker, Melanie, and [John H. Schwarz](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=John_H._Schwarz&action=edit&redlink=1) (2007) *String Theory and M-Theory: A Modern Introduction* . Cambridge University Press. [ISBN 0-521-86069-5](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/0521860695)
* Binétruy, Pierre (2007) *Supersymmetry: Theory, Experiment, and Cosmology*. Oxford University Press. [ISBN 978-0-19-850954-7](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/9780198509547).
* Dine, Michael (2007) *Supersymmetry and String Theory: Beyond the Standard Model*. Cambridge University Press.[ISBN 0-521-85841-0](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/0521858410).
* [Paul H. Frampton](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Paul_Frampton&action=edit&redlink=1) (1974). *Dual Resonance Models*. Frontiers in Physics. [ISBN 0-805-32581-6](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/0805325816).
* Gasperini, Maurizio (2007) *Elements of String Cosmology*. Cambridge University Press. [ISBN 978-0-521-86875-4](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/9780521868754).
* [Michael Green](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Michael_Green_(physicist)&action=edit&redlink=1), [John H. Schwarz](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=John_H._Schwarz&action=edit&redlink=1) and [Edward Witten](http://sk.wikipedia.org/wiki/Edward_Witten) (1987) *Superstring theory*. Cambridge University Press. The original textbook.
	+ *Vol. 1: Introduction*. [ISBN 0-521-35752-7](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/0521357527).
	+ *Vol. 2: Loop amplitudes, anomalies and phenomenology*. [ISBN 0-521-35753-5](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/0521357535).
* Kiritsis, Elias (2007) *String Theory in a Nutshell*. Princeton University Press. [ISBN 978-0-691-12230-4](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/9780691122304).
* JOHNSON, Clifford (2003). *D-branes*. Cambridge: Cambridge University Press. [ISBN 0-521-80912-6](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/0521809126).
* [Polchinski, Joseph](http://sk.wikipedia.org/wiki/Joseph_Polchinski) (1998) *String Theory*. Cambridge University Press.
	+ *Vol. 1: An introduction to the bosonic string*. [ISBN 0-521-63303-6](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/0521633036).
	+ *Vol. 2: Superstring theory and beyond*. [ISBN 0-521-63304-4](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/0521633044).
* Szabo, Richard J. (Reprinted 2007) *An Introduction to String Theory and D-brane Dynamics*. Imperial College Press.[ISBN 978-1-86094-427-7](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/9781860944277).
* [Zwiebach, Barton](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Barton_Zwiebach&action=edit&redlink=1) (2004) *A First Course in String Theory*. Cambridge University Press. [ISBN 0-521-83143-1](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/0521831431). Contact author for errata.Technical and critical:
* [PENROSE, Roger](http://sk.wikipedia.org/wiki/Roger_Penrose) (February 22 2005). [*The Road to Reality*](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=The_Road_to_Reality&action=edit&redlink=1)*: A Complete Guide to the Laws of the Universe*. Knopf.[ISBN 0-679-45443-8](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/0679454438).

## Externé odkazy

* [Schwarz, John H.](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=John_H._Schwarz&action=edit&redlink=1) (2000). [Introduction to Superstring Theory](http://arxiv.org/abs/hep-ex/0008017). *arXiv.org e-Print archive*. prístup: December 22, 2005.– Four lectures, presented at the [NATO](http://sk.wikipedia.org/wiki/NATO) Advanced Study Institute on Techniques and Concepts of High Energy Physics, [St. Croix](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=St._Croix&action=edit&redlink=1), [Virgin Islands](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Virgin_Islands&action=edit&redlink=1), in June 2000, and addressed to an audience of graduate students in experimental[high energy physics](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=High_energy_physics&action=edit&redlink=1), survey basic concepts in string theory.
* [Witten, Edward](http://sk.wikipedia.org/wiki/Edward_Witten) (1998). [Duality, Spacetime and Quantum Mechanics](http://online.itp.ucsb.edu/online/plecture/witten/). *Kavli Institute for Theoretical Physics*. prístup: December 16, 2005. – Slides and audio from an Ed Witten lecture where he introduces string theory and discusses its challenges.
* [Kibble, Tom](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Tom_W._B._Kibble&action=edit&redlink=1) (2004). [Cosmic strings reborn?](http://arxiv.org/abs/astro-ph/0410073/). *arXiv.org e-Print archive*. prístup: December 16, 2005. – Invited Lecture at COSLAB 2004, held at Ambleside, Cumbria, United

Kingdom, from 10 to 17 September 2004.

* Marolf, Don (2004). [Resource Letter NSST-1: The Nature and Status of String Theory](http://arxiv.org/abs/hep-th/0311044/). *arXiv.org e-Print archive*. prístup: December 16, 2005. – A guide to the string theory literature.
* Ajay, Shakeeb, Wieland et al. (2004). [The nth dimension](http://thenthdimension.com/). prístup: December 16, 2005. – A comprehensive compilation of materials concerning string theory. Created by an international team of students.
* [Woit, Peter](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Peter_Woit&action=edit&redlink=1) (2002). [*Is string theory even wrong?*](http://www.americanscientist.org/issues/pub/is-string-theory-even-wrong). [*American Scientist*](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=American_Scientist&action=edit&redlink=1). prístup: December 16, 2005. – A criticism of string theory.
* Veneziano, Gabriele, "[The Myth of the Beginning of Time](http://www.sciam.com/article.cfm?chanID=sa006&articleID=00042F0D-1A0E-1085-94F483414B7F0000)", May 2004.
* McKie, Robin, "[Setback as string theory of the universe is de-bunked](http://www.hindu.com/thehindu/holnus/008200610091240.htm)", 2006-10-09.
* Harris, Richard (2006-11-07). [Short of 'All,' String Theorists Accused of Nothing](http://www.npr.org/templates/story/story.php?storyId=6377252). *National Public Radio*. prístup: 2007-03-05.
* [A website dedicated to creative writing inspired by string theory.](http://banyancollege.org/scriblerus/)
* [An Italian Website with various papers in English language concerning the mathematical connections between String Theory and Number Theory.](http://nardelli.xoom.it//stringtheory/)
* GARDNER, George. *Theory of everything put to the test* [online]. tech.blorge.com, 2007-01-24, [cit. 2007-03-03].[Dostupné online.](http://tech.blorge.com/Structure%3A%20/2007/01/24/theory-of-everything-put-to-the-test/)
* Minkel, J. R., "[A Prediction from String Theory, with Strings Attached](http://www.sciam.com/article.cfm?chanId=sa003&articleId=1475A684-E7F2-99DF-355B95296BE6031C)", 2006-03-02.
* [Chalmers, Matthew](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Matthew_Chalmers&action=edit&redlink=1) (2007-09-03). [*Stringscape*](http://physicsworld.com/cws/article/indepth/30940). [*Physics World*](http://physicsworld.com/). prístup: September 6, 2007. — An up-to-date and thorough review of string theory in a popular way.
* Woit, Peter. Not Even Wrong: The Failure of String Theory & the Continuing Challenge to Unify the Laws of Physics, 2006. [ISBN 0-224-07605-1](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/0224076051) (Jonathan Cape), [ISBN 0-465-09275-6](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%A0peci%C3%A1lne%3AKni%C5%BEn%C3%A9Zdroje/0465092756) (Basic Books)
* Schwarz, John (2001). [Early History of String Theory: A Personal Perspective](http://online.itp.ucsb.edu/online/colloq/schwarz1/). prístup: July 17, 2009.
* Prednáška Stevena Weinberga o CERN experimente – LHC [[1]](http://www.youtube.com/watch?v=Zl4W3DYTIKw)
* Interview s Edwardom Wittenom [[2]](http://www.youtube.com/watch?v=iLZKqGbNfck&feature=channel_page)
* Teória strún – stručný výklad s komentárom od Briana Greena od začiatkov po súčasnosť s prezentáciami súčasných najznámejších teoretických fyzikov – Gabriele Veneziano, Leonard Susskind, Steven Weinberg, Edward Witten [[3]](http://www.youtube.com/watch?v=E7FV9aaiwKQ&feature=related)
* [Dialogue on the Foundations of String Theory](http://www.mathpages.com/home/kmath632/kmath632.htm) at MathPages
* [Superstrings! String Theory Home Page](http://www.sukidog.com/jpierre/strings/) – Online tutorial
* [CI.physics. STRINGS newsgroup](http://schwinger.harvard.edu/~sps/) – A moderated newsgroup for discussion of string theory (a theory of quantum gravity and unification of forces) and related fields of high-energy physics.
* [Not Even Wrong](http://www.math.columbia.edu/~woit/blog/) – A blog critical of string theory.
* [Superstring Theory](http://www.perimeterinstitute.ca/en/Outreach/What_We_Research/Superstring_Theory/)
* [[4]](http://www.youtube.com/watch?v=3ey8_fh6100&NR=1) Understanding the Standard Model

Perimeter Institute for Theoretical Physics

* [The Official String Theory Web Site](http://superstringtheory.com/)
* [The Elegant Universe](http://www.pbs.org/wgbh/nova/elegant/) – A Three-Hour Miniseries with [Brian Greene](http://sk.wikipedia.org/wiki/Brian_Greene) by NOVA (original PBS Broadcast Dates: October 28, 8-10 p.m. and November 4, 8-9 p.m., 2003).

Various images, texts, videos and animations explaining string theory.

* [Beyond String Theory](http://www.phys.ens.fr/~troost/beyondstringtheory/) – A project by a string physicist explaining aspects of string theory to a broad audience.
* [Spinning the Superweb: Essays on the History of Superstring Theory](http://www.spinningthesuperweb.blogspot.com/) – A [Science Studies](http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Science_Studies&action=edit&redlink=1)' approach to the history of string theory (an elementary knowledge of string theory is required).