

## HLAVNÉ PROBLÉMY SÚČASNEJ FYZIKY

**Július Krempaský**

Katedra fyziky, FEI STU, Il'kovičova 3, 812 19 Bratislava

**Abstrakt:** *V súčasnosti sme dosť často svedkami optimistického konštatovania, že fyzika pracuje už na vytvorení tzv. teórie všetkého, ktorá by mala dať kompetentnú odpoveď na všetky otázky týkajúce sa anorganického a čiastočne aj živého sveta.. Realita je však iná nielenže sa nádej na skoré vypracovanie takej teórie postupne skôr vytráca ako posilňuje, ale ukazuje sa, že spektrum doteraz uspokojuivo nevyriešených, resp. zatiaľ vôbec neriešených problémov, je ešte stále dosť široké a ich počet sa nezmenšuje, ale naopak skôr rastie. Je preto zmysluplná otázka, čím žije súčasná špičková fyzika a aké nádeje sa nám rysujú na riešenie jej súčasných veľkých problémov. To je náplňou predkladaného príspevku.*

**Kľúčové slová:** teória všetkého, teória relativity, kvantová teória, tmavá hmota, tmavá energia, higgsony a xióny, antropický princíp, fyzikálne vákuum, deterministický chaos, fraktálova štruktúra.

### Úvod

Pri vyučovaní fyziky na školách ale aj pri rozličných prednáškach pre širšiu verejnosť sa veľmi často vyskytuje otázka, čím sa zapodieva súčasná špičková komunita. Odpoveď na túto otázku nie je jednoduchá a závisí najmä od profilu jednotlivých významných fyzikov. V mnohých odborných i populárnych článkoch sa zvyčajne stretávame s vetou :“Hlavnými problémami súčasnej fyziky sú ...“ a veta pokračuje výčtom tých problémov súčasnej fyziky, ktoré sú podľa autora článku najvýznamnejšie a najdôležitejšie. Niektorí vidia tých ešte nevyriešených dôležitých problémov relatívne málo, iní ich vedia vymenovať celú škálu. Napríklad známy fyzik a popularizátor F. Tipler vymenováva v jednom zo svojich článkov tieto tri hlavné problémy: 1. „Posledná“ štruktúra fyzikálnej reality, 2. Podstata priestoru a času a 3. Podstata hmoty. V inom vedeckom článku sa stretneme tiež s tromi hlavnými ale inakšie formulovanými problémami: 1. Podstata tmavej energie, 2. Vyparovanie čiernych dier a 3. Extra-dimenzie.

Pre známeho fyzika G. Kane-a (KANE,G. 2005) je ústredným problémom fyziky otázka, prečo existujú práve tri rodiny kvarkov a tri rodiny leptonov, keď pre opis nášho sveta úplne postačuje len jedna rodina. V známej monografii (JONES,M.H. and LAMBOURNE, R.A.,2002) sa formuluje osem nosných problémov súčasnej fyziky: 1. Tmavá hmota, 2. Tmavá energia, 3. Uniformita vesmíru, 4. „Rovnosť“ vesmíru, 5. Vznik štruktúr vo vesmíre, 6. Nesymetria látky a antilátky,7. Podstata „Veľkého tresku“ a 8. Antropický princíp.

Vidíme, že výpočet hlavných problémov súčasnej fyziky sa líši tak čo obsahu ako aj čo do počtu. Zdá sa však, že najúplnejšie a aj najvšeobecnejšie formuluje hlavné problémy súčasnej fyziky známy autor Lee Smolin vo svojej najnovšej publikácii „The Trouble with Physics“ (SMOLIN,L., 2006). Podľa neho je ich päť a majú nasledovné znenie:

1. Teória všetkého – zjednotenie všeobecnej teórie relativity a kvantovej fyziky.
2. Kompletizácia štandardného modelu častíc a síl.
3. Realistická interpretácia kvantovej fyziky.
4. Hodnoty fyzikálnych konštánt.
5. Podstata tmavej hmoty a tmavej energie.

### Vlastnosti „dobrej“ teórie

Nie každú teóriu, ktorá dáva výsledky v súlade s pozorovaním a experimentom, možno považovať za „dobrú teóriu“. Môže ísť o intuitívne vykonštruovaný prístup, ktorý sa pre určitý okruh problémov osvedčil, ktorý však nevyplýva zo všeobecných a spoľahlivo

overených princípov. Z tohto hľadiska rozdeľujeme fyzikálne teórie na fundamentálne a konštruktívne. Príkladom teórie prvého typu môže byť heliocentrická teória, ktorá spočíva na fundamentálnom poznatku, že planéty sa otáčajú okolo Slnka a na Newtonových mechanických princípoch. Naproti tomu geocentrická teória je konštruktívna, pretože sa nezakladá na experimentálne overenom fakte a kalkuluje s určitými hypotetickými „epicyklami“, ktoré reálne neexistujú, avšak ich uváženie umožnilo objasniť niektoré aspekty pohybu planét a formulovať dokonca aj viaceré prognózy.

Fundamentálnou teóriou je aj Einsteinova teória relativity, ale len čiastočne je fundamentálnou teóriou aj kvantová teória. Je síce založená na reálne existujúcom kvantovaní určitých fyzikálnych veličín, ale jej matematický formalizmus (v Schrodingerovej reprezentácii) založený na záhadnej vlnovej funkcii je dômyselne vykonštruovaný. Aj preto sa A. Einstein až do svojej smrti s touto formou kvantovej fyziky nedokázal zmieriť, a to aj napriek tomu, že fakticky bol jeden z jej objaviteľov. Cieľom súčasných fyzikov je hľadanie takej „teórie všetkého“, ktorá by mala punc fundamentálnosti.

Ďalšie požiadavky kladené na „dobré“ teórie bolo by možné formulovať takto: 1. dobrá teória nesmie byť závislá od „pozadia“ a 2. nesmie poskytovať nekonečnú pre reálne fyzikálne veličiny. Ako „pozadie“ možno označiť časo-priestor, v rámci ktorého sa uskutočňuje skúmaná dynamika objektov. Je určený hodnotami zložiek metrického tenzora. Ak pri konštrukcii nejakej teórie musíme vopred definovať tento rámec, hovoríme, že teória je závislá od pozadia. V tomto zmysle je nezávislou od pozadia Einsteinova všeobecná teória relativity, pretože tá si sama definuje aj štruktúru časo-priestoru. Tento poznatok je obsiahnutý v známom konštatovaní, že „rozloženie hmoty určuje, ako sa deformuje časo-priestor a ten spätne určuje, ako sa má v ňom hmota pohybovať“. Takúto vlastnosť nevykazuje nielen súčasná kvantová teória, ale ako sa dozvieme, ani v súčasnosti veľmi preferované skúmaná teória strún či superstrún.

S ohľadom na uvedené poznatky možno sa dosť kriticky vyjadriť k súčasným pokusom o uspokojujúce vyriešenie hlavného problému č. 1 a čiastočne aj problému č. 3.

### Strunové teórie

V úsilí o elimináciu „nekonečien“ z fyzikálnych teórií sa podarilo vyšpecifikovať vhodný model fundamentálnych častíc založený na predstave o strunách. Mal by to byť útvar podobný jednorozmernej strune s dostatočne vysokým vnútorným pnutím, ktoré zabezpečuje, že pri nízkych energiách sa tento objekt vďaka nemu „zmršťuje“ v podstate na bodový útvar, ale pri vysokých energiách sa rozťahne, takže sa javí ako nebodový, čím zabraňuje vznik nežiadúcich nekonečien. V snahe o zakotvenie aj teórie gravitácie do „teórie všetkého“ sa ako nutná požiadavka objavil postulát o tzv. „supersymetrii“ nášho fyzikálneho sveta. Mal by spočívať v tom, že by všetky fermióny mali mať svojich partnerov medzi bozónmi a naopak. Takúto vlastnosť by mali vyjadrovať navrhované názvy supersymetrických častíc: predponou „s“ by sa mali vyznačiť partneri fermiónov a koncovkou „ina“ partneri bozónov. V tejto konvencii by sa napr. partneri elektrónov mali nazývať „selektróny“ a partneri fotónov „fotiná“.

Ďalšou prekvapujúcou požiadavkou v súvislosti so spomenutým zakomponovaním aj gravitácie do „teórie všetkého“ bola požiadavka multirozmernosti nášho sveta, čo značí, že náš reálny svet by mal mať viac rozmerov ako štyri (tri priestorové a jeden časový).

Uvedené dva postuláty vynikajúco poslúžili teoretikom pri úsilí o zjednotenie všeobecnej teórie relativity (čiže v podstate teórie gravitácie) s kvantovou teóriou, avšak nad týmto úspechom visí ako ťažký otáznik smutné konštatovanie L. Smolina ...“ zatiaľ je stav taký, že žijeme v trojrozmernom a nesupersymetrickom svete“.

K nedostatkom uvedenej veľmi intenzívne rozvíjanej nádejnej teórie strún (ši superstrún) možno však uviesť ešte aj ďalšie:

- Ak sa zo začiatku hovorilo o jednej teórii strún, postupne sa ukázalo, že ich môže byť päť. neskôr že ich môže byť veľmi veľa, ba dokonca až nespočítateľne mnoho.
- Teória obsahuje 18 až 20 vstupných konštánt, ktoré treba stanoviť meraním.
- Teória strún v podstate nedokáže formulovať nijaký konkrétny výstup, ktorý by bolo možné experimentálne preskúmať a tak získať dôkaz o jej správnosti.
- Strunové teórie v rozpracovanej podobe nie sú nezávislé od pozadia.

S ohľadom na uvedené skutočnosti sa pôvodný optimizmus spojený s rozpracovaním strunových teórií začína postupne meniť na skepsu vedúcu až k pochybnosti, či nejaká „teória všetkého“ môže vôbec existovať.

### **Higgsony a axióny**

Možno konštatovať, že poznatky fyzikov súvisiace so skúmaním štruktúry nášho sveta, jednotlivými elementárnymi časticami a ich vzájomnou interakciou, dospeli do vytvorenia tzv. štandardného modelu, ktorý sa ukázal ako nezvyčajne úspešný. Zdá sa však, že k jeho úplnej kompletizácii chýbajú ešte dva druhy častíc: 1. častice zodpovedné za existenciu pokojových hmotností  $W$  a  $Z$  bozónov (a možno aj ostatných elementárnych častíc) 2. častice zodpovedné za existenciu tmavej hmoty. Oficiálny názov prvých z nich je „higgsony“ a skupina druhých sa označuje nálepkou „WIMP-y“ (slabo interagujúce častice).

Higgsony by mali byť častice tvoriace tzv. Higgsovo pole, v ktorom by nosiče slabej sily mali získavať nenulovú pokojovú hmotnosť. K ich zavedeniu dovedla fyzika P. Higgsa analógia s pozorovaním šírenia fotónov elektromagnetického poľa v supravodičoch. Pri vstupe do nich sú fotóny (čímisi) brzdené a napokon úplne zastavené, takže elektromagnetické pole sa do supravodiča prakticky nedostane (známy Meissnerov jav). Podobne by sa mali správať aj  $W$  a  $Z$  bozóny pri interakcii s Higgsovým poľom. Ukázalo sa však, že ak by to naozaj malo takto fungovať, potom by častice tohto poľa (higgsony) museli mať hmotnosť ležiacu za hranicou hmotnosti bežných častíc, akými sú napr. protóny a neutróny, čiže v energetickej oblasti rádu TeV. Preto bolo potrebné postaviť obrovský urýchľovač (LHC) v Spojenom európskom laboratóriu (CERN-e) pri Ženeve, ktorý je práve v štádiu spúšťania a od ktorého sa očakáva, že by existenciu higgsonov mohol experimentálne potvrdiť.

Pokiaľ ide o WIMP-y, všeobecne sa očakáva, že by mali byť podstatou zatiaľ ešte záhadnej tmavej hmoty, ktorej prítomnosť vo vesmíre je už viac-menej nespochybniteľne preukázaná. Známi fyzici, nositelia Nobelovej ceny za fyziku, S. Weinberg a F. Wilczek navrhli pre častice z kategórie WIMP-ov názov „axión“. (Ako sami uvádzajú stimuloval ich k tomu názov čistiacieho prášku, ktorý „bieli“ tmavé miesta v prádle, čím chceli dokumentovať snahu o „vybielenie“ našich nejasností súvisiacich s existenciou tmavej hmoty. Všeobecne sa očakáva, že by spomínaný LHC urýchľovač mohol experimentálne potvrdiť aj existenciu týchto častíc.

### **Ako je to s kvantovou fyzikou?**

Kvantová fyzika je pre fyzikov doteraz jednou veľkou záhadou. Napriek tomu, že funguje vynikajúco a v dokonalej zhode s experimentom, mnohí fyzici (včítane takých veľikánov, akými bol napr. A. Einstein) ju nepovažovali (a stále nepovažujú) za „úplnú“ teóriu, pretože jej chýba základný atribút každej filozoficko-logickej vedy – kauzalita. Na otázku, prečo sa svet správa podľa nej, nevieme v podstate doteraz jasne odpovedať.

Už začiatkom 20. rokov minulého storočia prišiel L. de Broglie s teóriou tzv. skrytých parametrov, ale v roku 1932 sa objavil slávny von Neumanov dôkaz, podľa ktorého skryté parametre neexistujú. Začiatkom 50. rokov však tento dôkaz spochybnil D. Bohm (BOHM, D., 1952) a v poslednom čase prišiel s modifikovanou teóriou skrytých parametrov A. Valentini (VALENTINI, A., v tlači). Existuje teda úsilie o hľadanie akejsi

kauzálnej a deterministickej verzii kvantovej teórie, ktorá by dokázala odvodiť Schrodingerovu rovnicu na základe reálnych príčin. Jednou z možností je oprieť sa o existenciu fyzikálneho vákua a procesy v ňom prebiehajúce. Takéto pokusy sa už uskutočnili, ale uznávaní teoretickí fyzici zatiaľ takéto prístupy neposudzujú priaznivo. S napätím sa očakáva, čo v tejto oblasti prinesie budúcnosť. Jedno sa však zdá byť isté – nech sa objaví akákoľvek kauzálna teória ako alternatíva súčasnej kvantovej teórie, tú terajšiu bude musieť obsahovať v celej šírke, pretože ona dokonale opisuje všetko dianie v mikrosvete.

### **Antropický princíp**

Len málokto z filozofických koncepcií tak veľmi rozbúrila hladinu polemík vo fyzikálnej komunite, ako koncepcia zvaná „antropický princíp“. Hádám najvýstižnejšie charakterizuje jeho podstatu výrok známeho fyzika J. Wheelera: „Nie človek je adaptovaný na vesmír, ale naopak, vesmír je adaptovaný na človeka“. Tým sa chce naznačiť, že náš vesmír nie je jeden z možných a náhodne „vybraných“ fenoménov, ale že bol nesmierne citlivo vyselektovaný a naprogramovaný tak, aby sa v ňom mohol v určitom čase objaviť inteligentný pozorovateľ. Úžas vzbudzuje najmä poznatok, že keby hocikto z hlavných ríadiacich konštant vesmírnej dynamiky mala aj len nepatrne pozmenenú hodnotu, takýto pozorovateľ by sa v ňom nemohol vyskytovať.

Samotný názov „antropický princíp“ použil ako prvý B. Carter. Zpočiatku sa tento princíp formuloval väčšinou len ako tzv. slabý antropický princíp, obsahom ktorého bolo tvrdenie, že vesmír je usporiadaný tak, že v niektorom vhodnom mieste môže vytvoriť podmienky pre vznik života. J. A. Wheeler formuloval v roku 1977 tzv. silný antropický princíp, podľa ktorého sa v niektorej lokalite vesmíru život musel objaviť. F. Tipler (BARROW, J.D. and TIPLER, F.J., 1986) zas hovorí o tzv. finálnom antropickom princípe, podľa ktorého keď už niekde vo vesmíre život vznikol, tak v ňom zostane natrvalo.

V tom, či antropický princíp treba brať vážne, alebo či ho považovať len za určité východisko z núdze, sa poprední fyzici líšia. Odporcovia myšlienky antropického princípu argumentujú najmä tým, že keď sa napokon vypracuje túžobne očakávaná teória všetkého, dostaneme kompetentné odpovede na otázky, prečo je náš vesmír taký aký je. Jeden z najznámejších zástancov tejto skupiny fyzikov, už spomínaný S. Weinberg, keď si uvedomil, že nádeje na vypracovania takej teórie sa postupne menia na skepsu, napísal: „Nakoniec sa predsa len budeme musieť oprieť o antropický princíp“.

Iný významný fyzik-kozmológ A. Linde napísal: „Tí, ktorým sa antropický princíp nepáči, jednoducho ignorujú skutočnosť. Tento krátky exkurz do problematiky antropického princípu možno uzavrieť citátom A. Einsteina, ktorý dokazuje, že už dávno pred jeho oficiálnym

zverejnením sa jeho podstata v myšliach iných fyzikov už objavila. Ten citát znie: „Ktovie, či Boh mal pri kreácii sveta vôbec nejakú alternatívu?“

### **Tmavá hmota a tmavá energia**

O tmavej hmote, ktorej obsah vo vesmíre sa odhaduje asi na 23%, sme už hovorili v súvislosti s axiómom. Objavujú sa síce aj pokusy vyhnúť sa tomuto postulátu vhodnou modifikáciou Newtonovho gravitačného zákona (tzv. teória MOND – „Modifikovaná Newtonova dynamika“), s ktorou prišiel fyzik M. Milgrom v roku 1983 (MILGROM, M., 1983), ale väčšina fyzikov dáva prednosť existencii tmavej hmoty. Zvláštnosťou teórie MOND je postulát, že pre malé zrýchlenia príslušná sila nie je úmerná hmotnosti ale len jej odmocnine. Aj keď v určitých prípadoch dosiahla aj dobrý súhlas s pozorovaním, veľké nádeje sa do nej nekladajú, a to najmä preto, že je v rozpore s teóriou relativity.

Ešte komplikovanejšia situácia je v spojitosti s tmavou energiou. O nej vieme len to, že tvorí asi 2/3 všetkej vesmírnej energie, že je zdrojom negatívneho tlaku a že spôsobuje

zrýchľovanie rozpínania vesmíru. Jej existencia sa väčšinou spája so slávnou Einsteinovou kozmologickou konštantou, avšak pripúšťajú sa aj iné „exotické“ zdroje. Pokusy o výpočet jej hustoty založené najmä na tzv. kvantových fluktuáciách vedú k nezmyselnému výsledku – vypočítaná hodnota o vyše sto rádov prevyšuje nameranú hodnotu! V literatúre sa prakticky vôbec nespomína podľa môjho názoru nádejná cesta k vysvetleniu tejto záhady. Ruský fyzik G.I. Šipov v umelo vytvorenej „teórii fyzikálneho vákua“ (ŠIPOV, G.I., 1993) ukazuje, že vo vákuu môžu paralelne vedľa seba existovať kladná aj záporná energia, ktoré sa môžu takmer dokonale kompenzovať. Výsledkom tejto kompenzácie môže byť neuveriteľne malá hodnota nameranej kozmologickej konštanty. Isté však je, že na uspokojivé vysvetlenie problému tmavej energie si budeme musieť ešte (možno aj veľmi dlho) počkať.

### **Možné cesty k vysvetleniu najväčších záhad**

Čím ďalej tým viac sa začínajú oči fyzikov upierať na fenomén zvaný „fyzikálne vákuum“, v ktorom – ako sme už uviedli – sídli asi 2/3 všetkej vesmírnej energie. Ak potom náš svet chápeme ako jeden obrovský výtrisk hmoty z neho v čase, do ktorého vkladáme už viac-menej nespochybniteľný „Veľký tresk“, zdá sa celkom logické predpokladať, že aj vlastnosti tejto obrovskej fluktuácie musia byť determinované jeho fundamentálnymi vlastnosťami. Podrobnosti o nich sa možno dozvedieť z publikácie F. Wilczeka (WILCZEK, F., 2008). Na programe dňa by teda malo byť úsilie o hlbšie ich poznanie. O určitých aktivitách v tomto smere pojednáva napríklad článok Krempaský et al. (KREMPASKÝ, J., VALKO, P. HÚŠŤAVA, Š., 2009). V ňom sa na príklade rádioaktívneho rozpadu jódu demonštruje, že chaotický charakter tohto rozpadu vykazuje nie stochasticky ale deterministický chaos, čo poukazuje na fraktálnu dynamiku a teda pravdepodobne aj na fraktálnu štruktúru fyzikálneho vákua. To by mohlo viesť nielen k vysvetleniu, prečo sa strunový model elementárnych častíc osvedčuje ako dobrá báza pre zatiaľ len pripravovanú „teóriu všetkého“, ale aj k vysvetleniu veľkej záhady tzv. problému hierarchie. Jeho podstatou je otázka, prečo fyzikálne vákuum vygenerovalo (a stále generuje) nie ľubovoľné, ale len veľmi ostro separované skupiny elementárnych častíc.

Na spomenutej ceste k riešeniu spomínaných záhad však leží prakticky neprekonateľná prekážka – posunutie našich znalosti o jeden rad hlbšie nás stálo niekoľko miliárd dolárov, na priame experimentálne skúmanie fyzikálneho vákua nám však chýba ešte 18 rádov!. Je preto isté, že veda sa na tomto poli bude musieť opierať vždy len o nepriame metódy skúmania.

### **Záver**

Cieľom príspevku bolo najmä poukázať na to, že optimizmus súvisiaci s nádejou na skoré vypracovanie „teórie všetkého“ sa v súčasnosti viac-menej vytráca a namiesto očakávania, že fyzika prakticky speje k svojmu závere, sa na programe dňa vynorujú nové a nečakane vážne problémy. Takmer sa opakuje dramatická situácia z konca 19. storočia, keď sa na zasadnutí Francúzskej akadémie vied prehlásilo, že fyzika je už „ukončená veda“. Zakrátko na to však M. Planck ukázal, že nielenže nie je ukončená, ale že ju treba vybudovať odznova. Ak v súčasnosti konštatujeme s veľkým sklamaním, že aj to všetko, čo už vieme a na čo sme aj primerane hrdí, sa vzťahuje približne len na 5% všetkej reality, musíme si skromne priznať, že podstatná časť práce na vybudovaní kompletnej fyziky nás ešte len čaká. Podstatnú časť reality (v podobe tmavej energie a tmavej hmoty) predstavuje v súčasnosti „trinástu komnatu“, od ktorej kľúčik zatiaľ ešte len hľadáme.

### **Literatúra**

- BARROW, J.D. and TIPLER, F.J.: The anthropic Cosmological Principle. Oxford OUP, 1986.  
BOHM, D., Phys. Rev. 85 (1952), 166.  
JONES, M.H. and LAMBOURN, R.A.: Introduction to Galaxies and Cosmology. The Open University Cambridge, Univ. Press, 2003.  
KANE, G., Sci. Amer. , 2005, č. 7.  
KREMPASKÝ, J., VALKO, P., HÚŠŤAVA, Š. Zborník „Tvorivý učiteľ fyziky II“, SFS , Equilibria s.r.o., Košice, 2009.  
MILGROM, M., Astrophys. J., 270 (1983), 365.  
SMOLIN, L.: The Trouble with Physics. Český preklad: Fyzika v potížich. ARGO/DOKOŘAN, Praha, 2009.  
ŠIPOV, G.J.: Teorija fizičeskogo vakuuma. HT – Centr, Moskva, 1993.  
VALENTINI, A.: Pilot-Wave Theory of Physics and Cosmology. Cambridge Univ. Press., at press .  
WILCZEK, F.: The Lightness of Being. Basic Books, New York, 2008.

### **Adresa autora**

Prof. Július Krempaský, DrSc.  
Slov. techn. univerzita, Fak. elektr. a inf.  
Il'kovičova 3  
812 19 Bratislava