

D. Allan Bromley

Hranice fyziky a jejich role ve společnosti [Dokončení]

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 26 (1981), No. 3, 121--136

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138863>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1981

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

Hranice fyziky a jejich role ve společnosti*)

D. Allan Bromley, New Haven, USA

VIII. Fyzika tekutin

Přesto, že moderní definice ji zahrnuje do fyziky kondenzované fáze, zachovává si fyzika tekutin své fundamentální otázky, překvapení i problémy. Na fundamentální úrovni to byla supratekutost lehkého izotopu hélia (hélium-3 má spin $1/2$ a řídí se tedy Fermiho-Diracovou statistikou), která podstatným způsobem rozšířila porozumění kvantových jevů. Je známo, že kondenzace vzniká párováním jader, ovšem na rozdíl od Cooperových párů v případě supravodivosti kovů, jež jsou v s-stavu, jsou zde tato jádra v relativním p-stavu, tj. stavu s jednotkou momentu hybnosti. Díky této odlišnosti má hélium-3 celou řadu nových vlastností včetně pozoruhodné anizotropie, odrážející makroskopické nasměrování momentů hybnosti jednotlivých párů. V této oblasti zbývá ještě mnoho nevyřešených otázek.

V oblasti klasických tekutin zůstává zásadním nevyřešeným problémem turbulence. Každý, kdo sledoval tok vody za plovoucí lodí, upozoroval, že turbulence sa projevuje na hranici mezi uspořádaným a zcela neuspořádaným pohybem. To ji také činí matematicky tak obtížně zvládnutelnou, neboť ani jednoduché aproximace, ani statistické zprůměrování nevyhovuje. Přitom je turbulence důležitým jevem v denním životě i ve společnosti. Způsobuje hluk letadel, zhoršování stavu chlopní lidského srdce, je zodpovědná za velkou část energetických ztrát v dopravě při vysokých rychlostech a podmiňuje také z velké části naše počasí. Obr. 35**) znázorňuje neturbulentní, laminární proudění v poněkud nezvyklém časovém a prostorovém měřítku. Na obr. 36 je první stadium turbulence proudů vzduchu za válcovou překážkou a obr. 37 ukazuje vývoj turbulentního míšení v místě styku dvou proudění stejné hustoty, která se pohybují jedno nad druhým stejným směrem, ale různými rychlostmi. V důsledku své matematické složitosti a také pro četné praktické aplikace zůstává turbulence dodnes výzvou pro aplikované matematiky a fyziky tekutin.

Mnoho základních myšlenek v této oblasti pochází z prací moskevské skupiny Kolmogorova a Obuchova z r. 1941, s nimiž se ovšem západní Evropa a severní Amerika sezná-

*) Dokončení překladu článku D. A. BROMLEY *The Frontiers of Physics and their Role in Society*, Physica Scripta 19 (1979). Přeložil J. CHÝLA.

© Physica Scripta 1979.

**) Obrázky 35-39 jsou na křídové příloze za stránkou 150. Pozn. red.

milý až po druhé světové válce. Druhá velká mezinárodní vlna zájmu, datovaná kolem r. 1955, se soustředila na vývoj nového přístupu k mechanice tekutin, založeného na časové korelační funkci. V poslední době byly rozsáhlé práce analytické povahy prováděny v SSSR, především v Novosibirsku, zatímco v USA a Velké Británii byla pozornost upřena na numerické metody, využívající stále výkonnějších počítačů. Ačkoliv turbulenci je stále nutno považovat za problém zdaleka ne vyřešený, byly vyvinuty aproximace postačující pro velké množství praktických aplikací. Obzvláště zajímavou aplikací mechaniky tekutin, zahrnující v sobě všechny aspekty tohoto odvětví, je modelování velkých částí atmosféry s cílem získat předpovědi o počasí (krátkodobé předpovědi) a klimatu (dlouhodobé předpovědi). Takové modelování představuje současné řešení ohromného množství vázaných diferenciálních rovnic a využití velmi výkonných počítačů. V USA je tato činnost soustředěna v Princetonu a ve Velké Británii v Cambridge. Na obr. 38 je část počítače v Princetonu a výsledek simulace zemské tropické cirkulace získaný s jeho pomocí. Současné modely jsou dostatečně rafinované, aby byly schopné reprodukovat takové jevy středního dosahu, jako jsou indické monzuny. Co je ještě důležitější, tvoří základ rozsáhlých početních studií takových životně důležitých otázek, jako je obsah CO_2 v atmosféře, zachování vrstvy ozónu atd. Dále dovolují i fascinující studium možných důsledků změn počasí. Např. odstranění Himaláji (žádný lehký kousek!) by značně zlepšilo klima ruských stepí. Byla také nalezena zpětná vazba, která udržuje Saharu pouští. Kdyby bylo nějakým způsobem možné nasytit vodou tuto poušť do hloubky pouhých čtyř palců (opět nic snadného!), tato vazba by, jak ukazují modely, začala působit obráceně a udržela by Saharu jako vlhkou a úrodnou rovinu! Fyzika tekutin teprve nyní začíná útočit na obtížné otázky související s velmi pomalým pohybem tektonických ker zemské kůry na tekutině, která je pod nimi; tento pohyb je způsoben silami z velké části dosud neznámými a může být jedním z příkladů neturbulentního proudění. Až dosud jsem diskutoval proudění a turbulenci v pozemských měřítkách. Jak jasně ukazuje obr. 39, tyto jevy nejsou ovšem omezeny jen na naši planetu a to mne přivádí zpět k astrofyzice.

IX. Astrofyzika

Na obr. 39 je fotografie mlhoviny Kraba, která se objevila na naší obloze poprvé 4. července r. 1054. Měření jasně ukazují, že jde o jeden z pozůstatků výbuchu supernovy, mezi nimiž byl objeven také pulzar téhož jména. Předpokládá se, že pulzar je neutronová hvězda, rotující s frekvencí okolo 30 otáček za sekundu a vysílající k nám s touto frekvencí pulsy záření, obsahující všechny dosud studované vlnové délky.

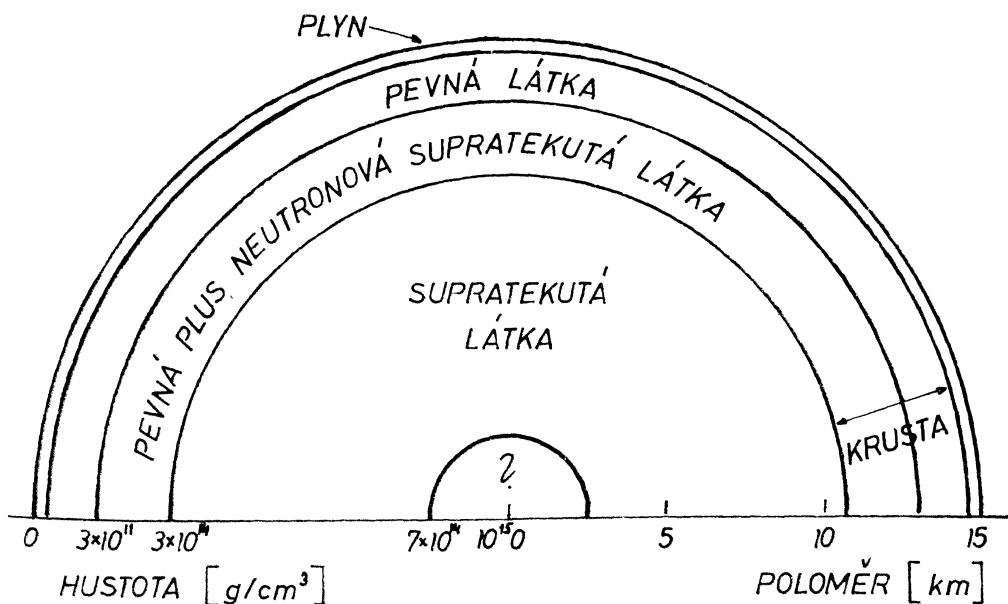
Neutronová hvězda je tak báječný objekt, že i kdyby neexistovala — a my věříme, že existuje — museli bychom si ji téměř vymyslet. Při jeho popisu využíváme všech odvětví moderní i klasické fyziky, nacházejí se v něm nejexotičtější formy hmoty, jaké byly dosud nalezeny. Na obr. 40 je znázorněna naše představa o průřezu takovou neutronovou hvězdou. O pevné krustě se předpokládá, že je složena z nejčistšího železa, jaké existuje ve Vesmíru. Pod ní je tenká vrstva ze supravodivých protonů, která udržuje na povrchu magnetické pole o intenzitě řádově 10^{12} gaussů, což ve spojení s rotací vede

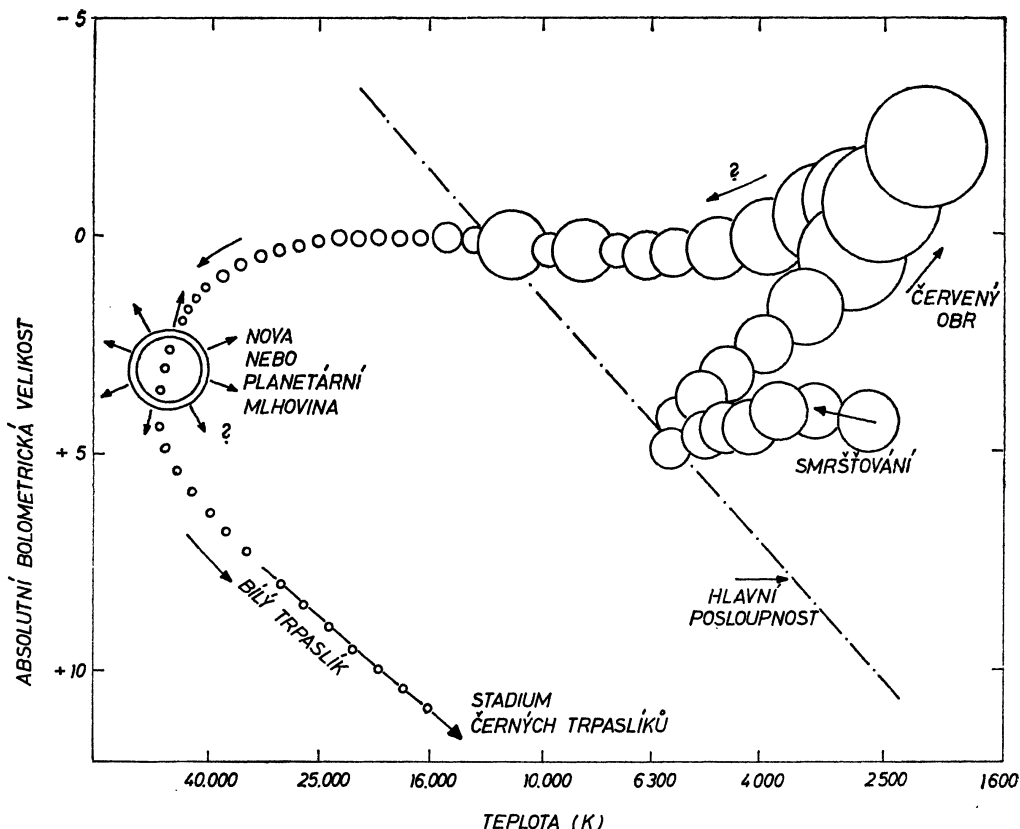
na elektrostatické pole okolo 10^{12} V/cm. Po této supravodivé vrstvě následuje vrstva supratekutých neutronů, která (v důsledku nulové viskozity) oddělí rotaci vnější krusty od vnitřní neutronové tekutiny. Ta nemůže rotovat jako normální tekutina, ale musí vytvářet sadu malých vírů, jejichž osy rotace jsou přibližně paralelní s osou rotace celé hvězdy. Dnešní teorie naznačuje, že takových vírů uspořádaných do trojúhelníkového pole by mělo být na čtvereční cm asi 10 tisíc. V blízkosti jádra takové hvězdy, kde hustota dosahuje hodnoty 10^{15} gm/cm³, není ani složení ani struktura dosud známa. My prostě nevíme, jak se hmota chová při tak extrémních podmínkách; je ovšem jasné, že toto chování bude záviset na detailech fyziky částic. Zde je jedna z neprozkoumaných oblastí vesmíru, kde se mohou skrývat velká překvapení.

Pozoruhodného pokroku se dosáhlo v chápání mnoha jevů spojených s vývojovým cyklem hvězdy. Obecný vývoj je popsán známým Hertzsprungovým-Russellovým diagramem, znázorněným na obr. 41. V prvním stadiu vývoje se velké množství plynu, tvořeného téměř výhradně vodíkem, jen s několika procenty příměsí původního hélia, začíná smršťovat v důsledku vlastních gravitačních sil. Předpokládá se, že všechny těžké atomy, které dnes nacházíme ve vesmíru, jsou jen pozůstatky dřívějších výbuchů hvězd, protože teprve při teplotách odpovídajících tepelným energiím okolo 20 MeV mohou probíhat jaderné reakce nutné pro jejich vznik. Je to zvláštní myšlenka, že všechno to, co známe i my sami, je vlastně stvořeno z hvězdného prachu.

Jak smršťování pokračuje, roste teplota ve středu hvězdy a zachování momentu hybnosti má za důsledek oddělení disku plynu, jenž pak kondenzuje na planetární systém. Když dosáhne smršťování kritického stadia (protohvězda se ve svém vývoji octne na hlavní čáře, obr. 41) začíná spalování vodíku. V našem Slunci je každou sekundu spáleno

Obr. 40. Předpokládaný průřez typické neutronové hvězdy.





Obr. 41. Schematické znázornění vývoje hvězdy na Hertzsprungově-Russellově diagramu.

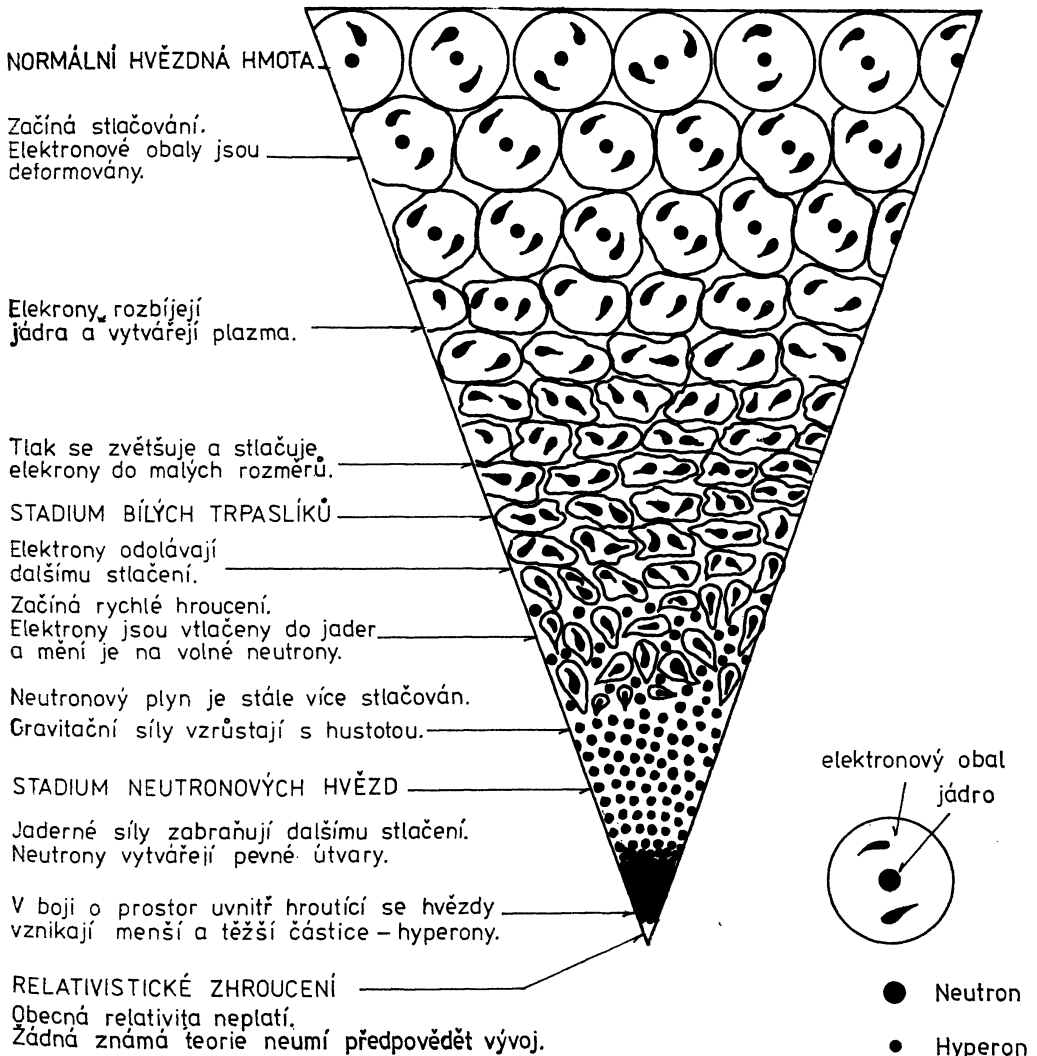
464 miliónů tun vodíku, z nichž zůstane 460 miliónů tun odpadků, tj. hélia, a energetický ekvivalent zbývajících 4 miliónů tun je vyvržen do kosmu. Náš život je na tom zcela závislý.

Vše ukazuje na to, že naše Slunce je celkem obyčejná hvězda, ovšem s pozoruhodnou spolehlivostí jako zdroj energie, s nímž můžeme počítat ještě nejméně 2 miliardy let. Nakonec ovšem u všech hvězd nastane nevyhnutelná energetická krize, a to tehdy, když vodíkový plamen dohasne a dojde k porušení jemné rovnováhy mezi gravitací a tlakem záření. Hvězda kolabuje, a když teplota ve středu dosáhne obrovské hodnoty zápalné teploty hélia, vyhoří toto hélium – z důvodů souvisejících s jeho strukturou – v mohutném výbuchu. Uvolnění tak obrovské energie ve středu hvězdy má ovšem mj. za následek její expanzi. V případě našeho Slunce může jeho povrch po výbuchu dosáhnout až za oběžnou dráhu Jupitera, přičemž jeho povrchová teplota klesne a Slunce se tak zařadí do třídy červených obrů.

Po vyčerpání hélia se hvězda opět začne smršťovat, tím se zahřívá a během velmi složitých, ale dnes již dobře pochopených jaderných reakcí vyrábí, krok po kroku, jednotlivé prvky až po železo. Co se stane potom, záleží téměř zcela na původní hmotnosti hvězdy. Pro hvězdy lehčí než zhruba 1,3 až 1,4 hmotnosti našeho Slunce je fáze soumraku

života hvězdy pokojná a scvrklý, ale do běla rozžhavený zbytek hvězdy vyvrhává energii zářením dokud neskončí svůj život jako mrtvý, studený kousek škváry v prostoru.

Daleko více vzrušující budoucnost čeká těžké hvězdy. Některé mohou projít stadiem výbuchu novy nebo supernovy, při nichž jejich jádra implodují na neutronové hvězdy. Pro ještě těžší hvězdy je i neutronová fáze nestabilní vůči dalšímu kolapsu, tentokrát na opravdu strašnou věc – černou díru. To vše je znázorněno na obr. 42, který ukazuje různá stadia gravitačního kolapsu hmoty a jim odpovídající hustoty.



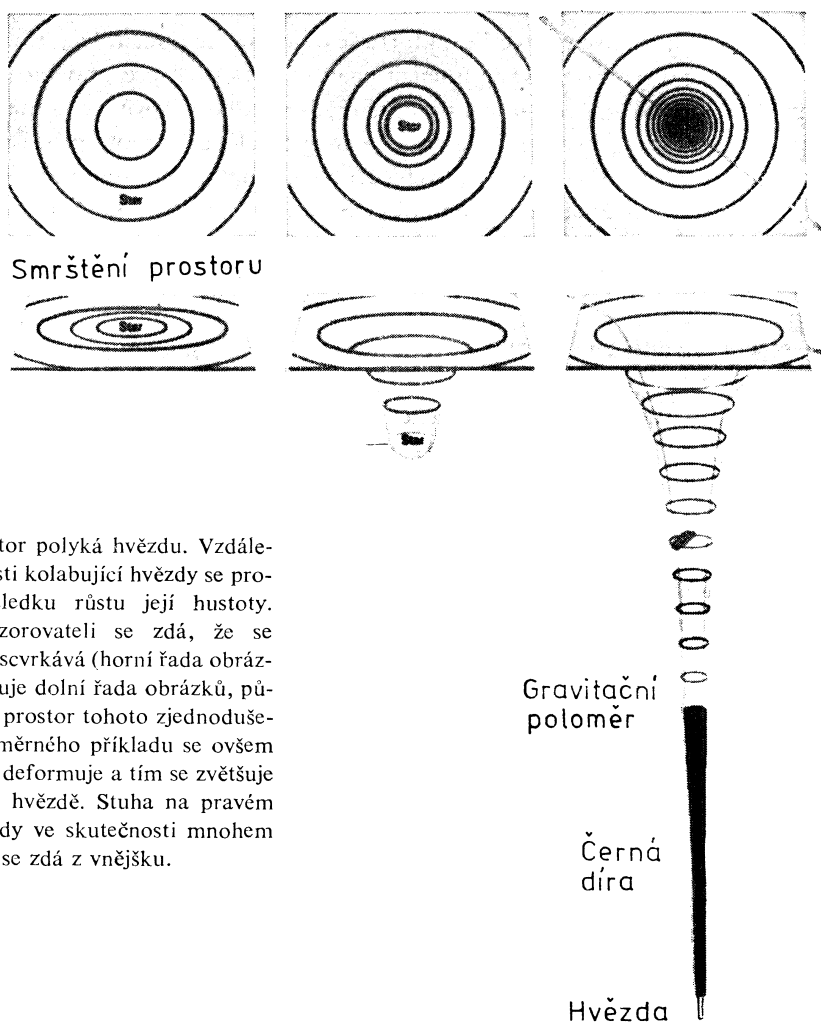
Obr. 42. Hmoty bojující o prostor při kolapsu. Čím těžší je částice, tím menší objem tato částice zaujímá. Atomy v smršťující se hvězdě jsou rozbity na elektrony a jádra a ta dále na neutrony a stále těžší hadrony. Které z nich jsou schopny odolat gravitaci, závisí na hmotnosti hvězdy. Pro hvězdy lehčí než 1,4 hmotnosti našeho Slunce stačí pomalé stlačování zastavit volné elektrony; pro hmotnost menší než 2 hmotnosti Slunce to dokáží neutrony, a pro ještě těžší hvězdy není žádná částice schopna odolat gravitaci.

Při hustotě okolo 1000 tun na krychlový palec, kdy se hvězda stabilizuje jako bílý trpaslík, klade odpor gravitaci tlak způsobený degenerací elektronů. Jestliže je ovšem, jak již bylo řečeno výše, původní hmotnost hvězdy větší než 1,4 hmotnosti Slunce, jsou gravitační síly příliš silné a celá hvězda se chová jako gigantický kvantový systém. Pauliho vylučovací princip přitom nutí elektrony přecházet do kvantových stavů se stále vyšší energií, a to tak vysokou, že její hodnota je více než postačující k inicializaci obráceného elektronového rozpadu neutronů. Protony se při absorpci elektronů mění na neutrony, přičemž dochází k vyzáření neutrin, jež z hvězdy okamžitě unikají a odnášejí přitom s sebou do prostoru obrovský tok energie.

Při hustotě kolem miliónu tun na krychlový centimetr stačí působení gravitace vyrovnávat tlak způsobený neutronovou degenerací. Pokud je původní hmotnost hvězdy mezi 1,4 až 2 hmotnostmi Slunce, je výsledkem této rovnováhy stabilní neutronová hvězda. Pro ještě těžší hvězdy ovšem kolaps pokračuje dále. Vylučovací princip opět nutí neutrony zaujímat stavy se stále vyšší energií, přičemž probíhají složité reakce, při nichž vznikají stále těžší hadrony. Dokonce je docela dobře možné, že pro určitý rozsah hmotnosti hvězdy může dojít ke vzniku stabilní kvarkové hvězdy. Pro velmi těžké hvězdy ovšem existující teorie předpovídá, že gravitační kolaps pokračuje ještě dále. Dovedeno do pravděpodobně zcela absurdního konce to znamená, že kolaps pokračuje až do nekonečných hodnot hustoty a nulových rozměrů. Hvězda by se pak v pravém slova smyslu vytratila z vesmíru.

Daleko dříve – ve stadiu následujícím po neutronové hvězdě – než by k tomu došlo, dosáhlo by ovšem povrchové gravitační pole takových hodnot, že i fotony směřující ven z povrchu hvězdy by spadly zpět. Vytvořila by se tak černá díra, objekt navždy oddělený od zbytku vesmíru, charakterizovaný pouze svou hmotností, momentem hybnosti a snad i elektrickým nábojem. Je skutečně možné, že velká část zdánlivě chybějící hmoty vesmíru se může schovávat právě v takových černých dírách, které by normálně unikly detekci – až by bylo pro zdraví pozorovatele příliš pozdě. Několik výjimek mohou tvořit dvojhvězdy – objekty běžné v naší pozorovatelné části vesmíru –, v nichž jeden z hvězdných partnerů již kolaboval. Typickým příkladem je Cygnus X-1, u něhož vše nasvědčuje tomu, že obrovské množství hmoty vytrhávané z normální části dvojhvězdy v pravidelných výronech je ještě dříve, než je pohlceno černou dírou, urychleno na energie, při nichž dochází k hojné emisi záření X. Dnes je známo několik dalších takových příkladů. Obr. 43 znázorňuje distorzi vlastností prostoru okolo černé díry, fascinující aspekt obecného relativistického kolapsu.

Dlouhou dobu existující představa o kolabovaných hvězdách jako černých děrách, z nichž nelze nikdy získat ani informaci ani energii, byla zásadně modifikována S. Hawkingem, který upozornil na to, že astrofyzikové, studující tento problém, se tradičně omezovali na klasický rámec a ignorovali podstatné kvantově mechanické efekty. To je zachyceno na obr. 44, který ukazuje jeden z nejdůležitějších takových efektů. Je jasné, že při extrémně vysokých intenzitách pole budou v blízkosti kolabující hvězdy vznikat z energie páry částice – antičástice. I kdyby přitom např. antičástice byla zachycena černou dírou, může částice stále ještě uniknout. To odpovídá odebrání energie z černé díry – stručně řečeno černá díra se může vypařovat! Bylo ovšem také ukázáno, že míra vypařování je nepřímo úměrná hmotnosti díry a že její hodnota je velmi malá,



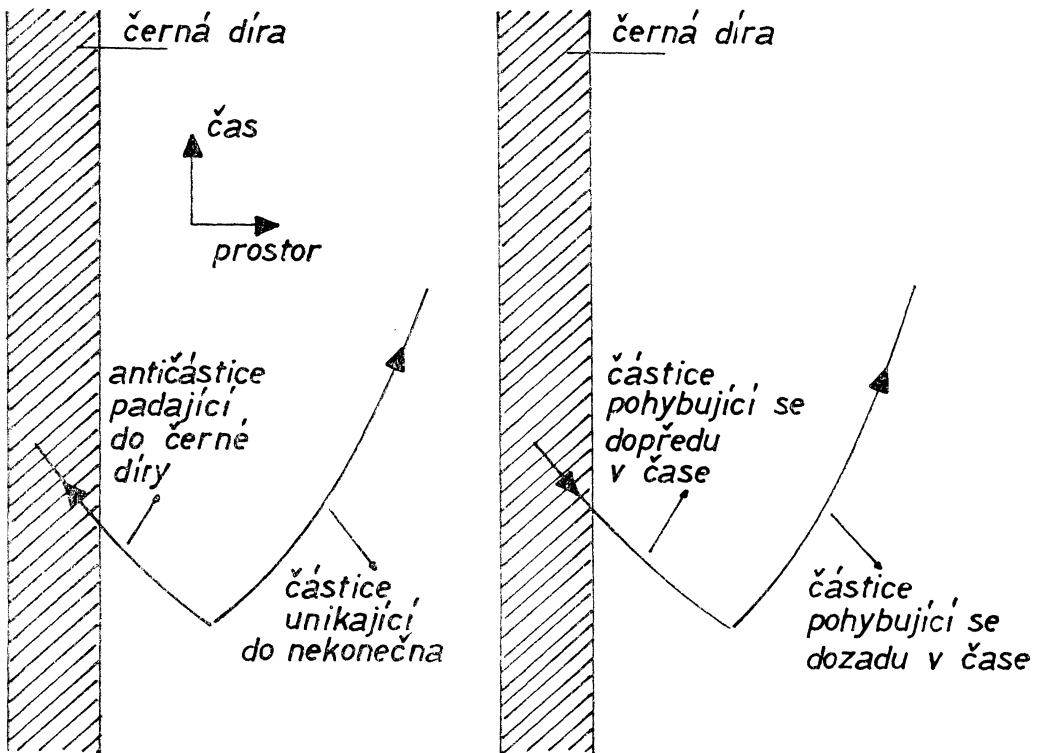
Obr. 43. Prostor polyká hvězdu. Vzdálenosti v blízkosti kolabující hvězdy se protahují v důsledku růstu její hustoty. Vnějšímu pozorovateli se zdá, že se hvězda pouze scvrkává (horní řada obrázků). Jak ukazuje dolní řada obrázků, původně plochý prostor tohoto zjednodušeného dvojrozměrného příkladu se ovšem přitom rychle deformuje a tím se zvětšuje vzdálenost ke hvězdě. Stuha na pravém obrázku je tedy ve skutečnosti mnohem delší, než jak se zdá z vnějšku.

aspoň pro hmotnosti hvězdných velikostí. Existuje však ještě zajímavá možnost, že existují malé, prvotní černé díry, které vznikly z fluktuace hustoty hmoty v počátečním stadiu Velkého Třesku. Očekává se, že závěrečné stadium vypařování černé díry je divoce výbušné. Dnešní výpočty ukazují, že existují-li prvotní černé díry a některá z nich je v naší části vesmíru, pak takové prvotní černé díry s hmotností Mount Everestu, soustředěné do oblasti o průměru vodíkového atomu, by měly dosáhnout výbušného stadia právě v současné době. Jejich teplotě – okolo 10^{12} K – by se nic od stadia prvotního žhavého plynu nevyrovnalo.

Existují tyto prvotní černé díry? Jednoduše nevíme. Určité, ale slabé náznaky ve prospěch jejich existence pocházejí z objevu velmi pozoruhodných krátkodobých pulsů záření gama, k němuž došlo brzy potom, co byla detekční zařízení umístěna nad zemskou atmosférou. Existují ovšem také alternativní vysvětlení, z nichž jedno je založeno na jaderném výbuchu, způsobeném nárazem masy hélia na povrch neutronové hvězdy. Jenom čas ukáže, které je to pravé.

Skupina fyziků z univerzity ve Frankfurtu se domnívá, že použití kvantové mechaniky v podmínkách polí ultravysokých intenzit charakteristických pro gravitační kolaps nás nevyhnutelně přivádí zpět k situaci na obr. 13. Jsou toho názoru, že jakmile se hvězda blíží stadiu černé díry, dochází k dramatickému zpomalování tohoto procesu v důsledku kreace velkého počtu pí-mezonů a jiných částic v silném gravitačním poli. Těchto částic je tak mnoho, že se hvězda jen asymptoticky blíží k hmotnosti černé díry. Která z těchto představ o závěrečných fázích vývoje hvězd odpovídá skutečnosti, je třeba ještě rozhodnout. Jsem zcela optimistický, že i přes obrovské potíže s tím spojené, bude odpověď nalezena.

Co se děje uvnitř černé díry – uvnitř horizontu – je jiný příběh. Nemáme dosud dostatek znalostí o fyzice částic, chování hmoty v tak extrémních podmínkách, ani o samotných relativistických gravitačních jevech, abychom byli schopni být i jen hádat. Jak jsem již výše poznamenal, zde nás mohou čekat skutečná překvapení. Nové pole bylo do fyziky uvedeno také supergravitací.

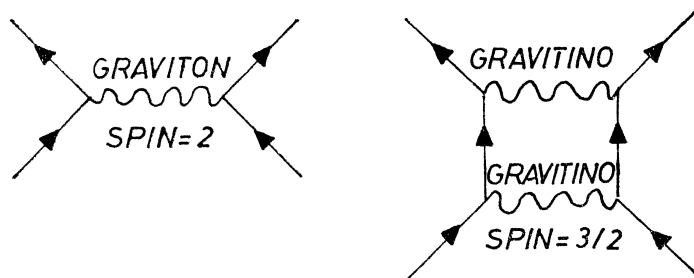


Obr. 44. Dvě různé interpretace mohou vysvětlit emisi částic z černé díry. Jedno vysvětlení (vlevo) je založeno na vytvoření virtuálního páru částice-antičástice, jehož jeden člen je zachycen černou dírou a druhý unikne. V druhém vysvětlení (vpravo) lze považovat antičástici padající do černé díry za částici pohybující se pozpátku v čase, ven z černé díry. Jakmile je venku, je gravitačním polem rozptýlena a přeměněna na částici pohybující se dopředu v čase a unikne do nekonečna.

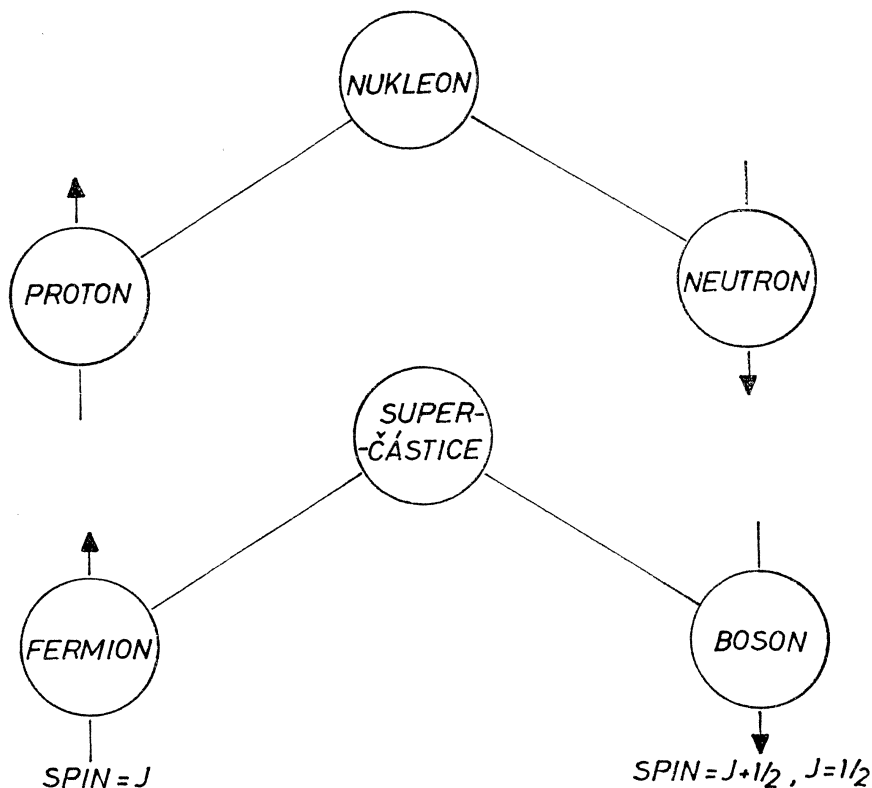
X. Supergravitace

V posledních letech se dosáhlo pokroku v našem porozumění gravitaci. Konečně se zdá, že i gravitaci lze formulovat v rámci kvantové teorie pole, tzv. supergravitaci, jež přináší některé revoluční nové myšlenky, znázorněné na obr. 45. Nejpozoruhodnější z nich je požadavek, aby gravitační pole nebylo přenášeno pouze gravitony (vlnění v prostoru generované pohybem hmoty a nesoucí vlastní moment hybnosti rovný dvěma jednotkám, jehož rychlost se rovná rychlosti fotonů a neutrin), ale také gravitiny (podobnými částicemi, jejichž vlastní moment hybnosti je ovšem $3/2$). Je jasné, že tato myšlenka přináší s sebou velmi reálný problém, neboť všichni fyzikové jsou zvyklí na Boseho statistiku u částic s celočíselným spinem a Fermiho statistiku u částic s poločíselným spinem a považují v důsledku toho tyto dva typy částic za dva zcela odlišné objekty. Abychom zahrnuli v rámci jedné teorie pole jak gravitony i gravitina, požadujeme tzv. supersymetrii, tj. symetrii, v níž je pak možné považovat gravitony i gravitina za dva různé stavy téže částice. S podobnou myšlenkou jsme se již setkali v případě dvojice částic proton-neutron. Jak znázorňuje obr. 46 izotopická symetrie považuje tyto částice za dva různé projevy nukleonu. U supersymetrie chceme, aby byly mezi sebou korelovány částice s různými spiny, a to konkrétně částice se spinem J a částice se spinem $J \pm 1/2$. Formalismus takovéto supersymetrie se teprve buduje, ale přitom z něho již vylýnula jedna zvláštní vlastnost, znázorněná na obr. 47. Opakovaná operace supersymetrie může převádět bosony na fermiony a potom opět zpátky fermiony na bosony, ale částice se přitom posune z jednoho bodu prostoru do druhého. Navíc toto posunutí není v každém bodě stejné, ale závisí na místě, kde se částice nachází. To jsou základní otázky, týkající se povahy prostoročasu samotného. Očekáváme, že v této oblasti dojde k vývoji, který přinese mnoho nových zásadních poznatků, a to z části, jak věřím, ve směru naznačeném na obr. 5, tj. směrem k vybudování skutečně jednotné teorie pole zahrnující i gravitaci.

Nyní přejdu k otázce našeho místa ve vesmíru a novému éteru.



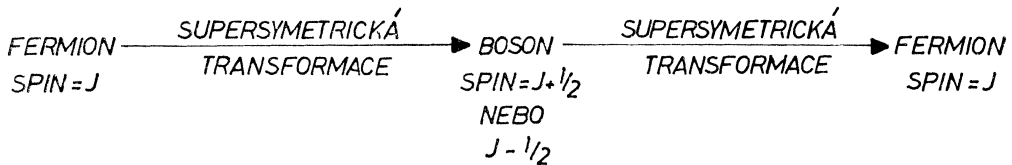
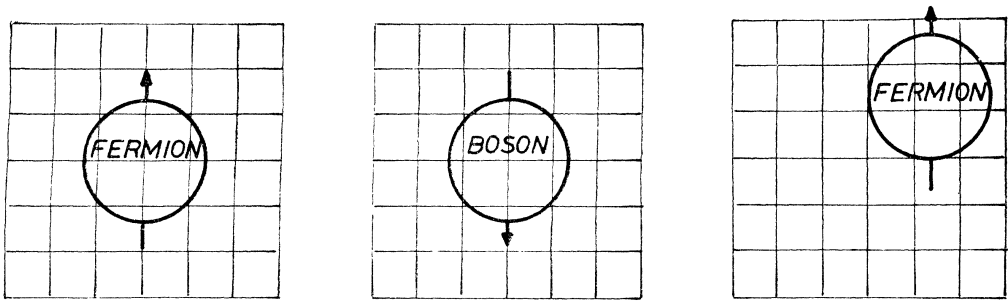
Obr. 45. Supergravitace dává kvantové korekce k obecné teorii relativity. V obecné teorii relativity gravitační síly pocházejí výhradně od výměny gravitonů, zatímco v supergravitaci existuje ještě další příspěvek od výměny gravitin se spinem $3/2$. Protože tato gravitina jsou fermiony, vyměňují se jen v párech. Tento proces má kromě malých vzdáleností zanedbatelnou pravděpodobnost. Díky tomu supergravitace nemění předpovědi obecné teorie relativity na velkých vzdálenostech a předpovídá nové jevy jen v mikroskopickém měřítku.



Obr. 46. Izotopická symetrie, znázorněná v horní části obrázku, dává vztah mezi částicemi se stejným spinem jako jsou např. proton a neutron. Obě tyto částice lze považovat za dva stavy jedné částice, zvané nukleon, s níž si můžeme spojit šipku v nějakém fiktivním prostoru. Ukazuje-li šipka nahoru, je nukleon protonem, ukazuje-li dolů, je neutronem. Pro skutečné částice ukazuje šipka vždy nahoru nebo dolů, protože žádná skutečná částice není napůl proton a napůl neutron. Nicméně zákony fyziky, popisující interakce mezi protony a neutrony, zůstávají invariantní při libovolné rotaci šipky. Supersymetrie, znázorněná v dolní části, koreluje částice s různými spiny, konkrétně ty, jejichž spiny jsou J a $J \pm 1/2$. Odtud plyne, že fermiony a bosony se sousedními spiny lze považovat za projevy jediné „superčástice“ se šipkou v pomocném prostoru. Dlouho se myslelo, že takováto fundamentální symetrie mezi fermiony a bosony není možná; v kvantové teorii pole s lokální supersymetrií se objevují přirozeně i gravitační síly. Graviton se spinem 2 má fermionového partnera se spinem $3/2$, pro nějž byl navržen název gravitino. Ani graviton ani gravitino nebyly dosud pozorovány.

XI. Nový éter

Rané pokusy polních teorií se hojně zabývaly vlastnostmi tzv. éteru — vše prostupující látky s poněkud záhadnými vlastnostmi nutnými k přenosu přírodních sil. Tento éter byl sice pohřben Michelsonovým-Morleyovým pokusem, ale zdá se, že jsme nyní našli nový éter.



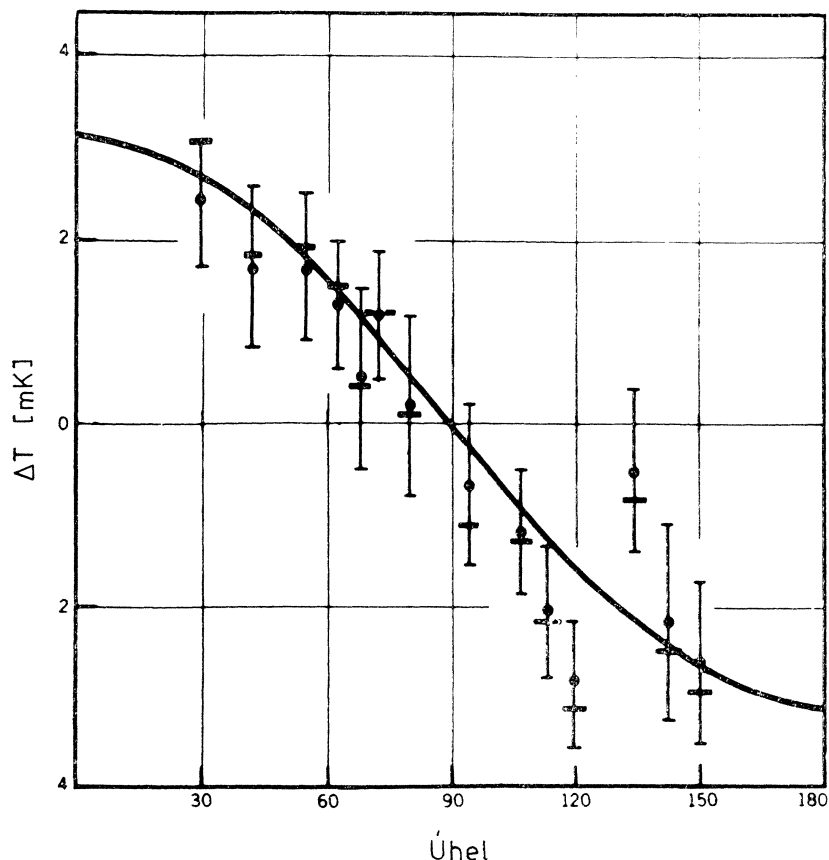
Obr. 47. Transformace supersymetrie vedou ke změně polohy částice. Zdá se, že supersymetrie je pouze vnitřní symetrií, týkající se jen vlastností částic a nikoliv její polohy. Je však pozoruhodné, že opakovaná transformace supersymetrie, vedoucí od fermionu k bosonu a zpět k fermionu, posune částici z jednoho bodu prostoru do druhého. V lokální supersymetrii může být i toto posunutí jiné pro každý bod prostoru. Posunutí částice při supersymetrických transformacích naznačuje vztah mezi supersymetrií a strukturou prostoročasu, vztah, který dává vznik gravitačním silám.

V mnohém, co jsem doposud řekl, je implicitně obsažena víra, že náš vesmír začal svou existenci v prostoru, čase a hmotě někdy před 15 až 18 miliardami let při jediné kataklyzmatické události, Velkém Třesku. Už při zavedení tohoto pojmu Gamov uvažoval, zda se mohl zachovat nějaký přímý pozůstatek této události. V roce 1965 spočítala skupina fyziků v Princetonu, že vesmírem by se skutečně mohly pohybovat ozvěny prvotního výronu záření z Velkého Třesku, které by byly dopplerovsky posunuté k vlnovým délkám záření černého tělesa s teplotou okolo 3 K. Současně s tím shodou okolností objevila toto záření skupina experimentátorů v Bellových laboratořích, zabývajících se pozadím elektromagnetického záření, důležitého pro družicové komunikační systémy. Další měření ukázala, že toto záření skutečně má všechny charakteristiky záření černého tělesa s teplotou slabě pod 3 K.

Tento objev, který se zdá být jedním z nejdůležitějších v moderní astrofyzice, staví teorii Velkého Třesku na mnohem pevnější základ. Znamená však ještě mnohem víc. Tím, že toto záření vyplňuje celý prostor, vytváří jednotné pozadí – nový éter, vůči kterému lze měřit pohyb hmotných těles ve vesmíru. Obr. 48 ukazuje výsledky berkeleyjské skupiny, získané při letech ve velkých výškách. Z těchto výsledků jsou učiněny pokusy určit pohyb Země vůči elektromagnetickému záření 3 K. Shoda mezi křivkou předpověděnou ze známého pohybu Země a experimentálními daty je vynikající. Objasnění záření 3 K – slabého šumění, které zbylo z mohutné bouře při našem stvoření – otvírá nové výhledy ve fyzice a astronomii. Příštích několik let v astrofyzice slibuje být obdobím neobyčejně zajímavým, vzrušujícím a produktivním.

Co má astrofyzika společného se společností? I když její role je odlišná od odvětví diskutovaných dříve, není méně důležitá. Pochopení vesmíru, ve kterém existujeme, je

Obr. 48. Srovnání dat získaných v Berkeley z výsledků 8 letů letadel U-2 s kosmickou závislostí, očekávanou z pohybu Země vzhledem ke kosmickému záření 3 K. ΔT je změna intenzity záření, měřená dvěma směrovými anténami. Na ose x je úhel mezi přístrojem a směrem maximální teploty (ve směru souhvězdí Lva). Krátké čárky udávají hodnoty po odečtení systematických chyb. Tečky označují neupravená data.



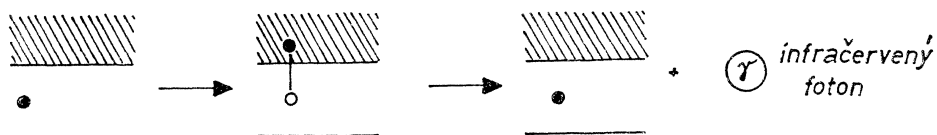
jedním z největších úspěchů lidského ducha a povznáší lidskou mysl. Nikdo, kdo se zahleděl do hloubky noční oblohy, neunikl pohnutí nad řádem a velikostí kosmu. Jak se však liší pocity lidí předchozích generací, kteří hleděli vzhůru se směsicí úcty a neznalosti, a těch, kteří pozorují oblohu s přesvědčením, že člověk může vesmír pochopit a že zákony fyziky, které vládou Zemi, vládou i v nejzazších oblastech prostoru a ve všech časech zpět, až k prvním momentům našeho stvoření.

XII. Závěry

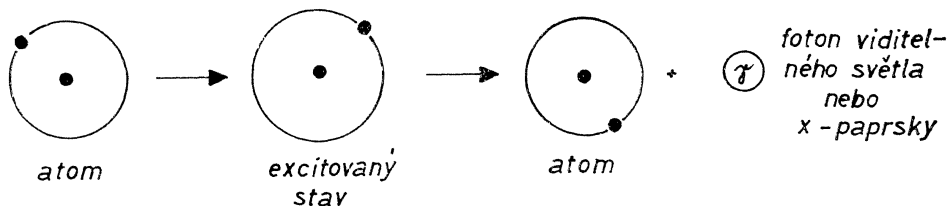
Aby někdo nenabyl dojem, že si myslím, že přírodě rozumíme více, než je pravda, je třeba si připomenout toto: věk vesmíru, vyjádřený ve fundamentálních jednotkách, jako je např. čas, který potřebuje foton k průchodu nukleonem (sekunda je příliš umělá

jednotka) je 10^{40} ; průměr vesmíru vyjádřený ve fundamentálních jednotkách, což je např. průměr protonů (délka končetin Jindřicha VIII nebo dokonce jistý zlomek zemského poloměru jsou ještě umělejší) je 10^{40} , hmota vesmíru vyjádřená ve fundamentálních jednotkách, např. hmota protonu je $(10^{40})^2$ a poměr nejsilnější přírodní síly (jaderné) k nejslabší (gravitační) mezi dvěma protony je opět 10^{40} . Vnucuje se dojem, že příroda se nám tímto pokouší něco sdělit, bohužel nemáme ponětí, co by to mohlo být. Nevíme, co znamená toto společné, velmi velké číslo, nevíme, proč je společné, ani jak a zda se mění s časem. Již dlouho je podezření, že v souvislosti s expanzí vesmíru gravitační konstanta systematicky klesá s časem a stejně tak že klesají i ostatní fundamentální

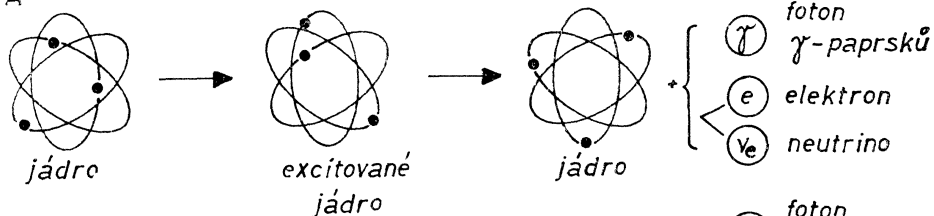
KONDENSOVANÉ LÁTKY



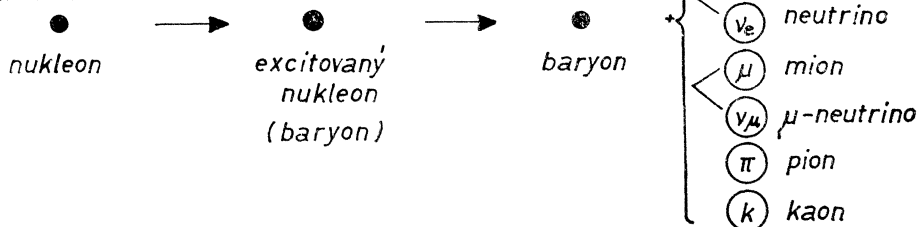
ATOMY



JÁDRA



ELEMENTÁRNÍ ČÁSTICE



Obr. 49. Fyzikální spektroskopie ve čtyřech oblastech fyziky: ve fyzice pevných látek, atomové a jaderné fyzice a ve fyzice elementárních částic. Nalevo je zkoumaný objekt, ve středu jeho vzbuzený stav a nakonec systém po deexcitaci. Napravo jsou charakteristiky emitovaného záření.

konstanty, jako je např. náboj elektronu. Nedávné studie sledující výskyt jaderných izotopů ukázaly, že je-li jaká změna elektrického náboje, pak za 4,5 miliardy let života sluneční soustavy činí méně než jednu třisetinu hrubých modelových předpovědí. Nechápeme zatím, co je jednoduchý společný aspekt našeho vesmíru. Není divu, vždyť jej vědecky sledujeme pouze malý zlomek jeho stáří, odhadovaného na 15 nebo více miliard let.

Tím bych rád skončil. V posledních několika desetiletích jsme učinili překvapující pokrok v pochopení přírody, v pochopení jejího mechanismu. Dostalo se nám možnosti zúčastnit se jednoho z největších dobrodružství v dějinách lidstva.

Na závěr chci zdůraznit, že by neměla být opomíjena jednota vědy. Příliš často slyšíme nářky, že fyzika se rozděluje, že pracovníci z jedné oblasti nerozumí pracovníkům z oblastí jiných, ani s nimi nejsou schopni komunikovat. To je určitě nesmysl. Naši největší silou je, že pojmy, metody a techniky fyziky přecházejí rychle z jedné oblasti do druhé, a i když měřítka jsou různá, věda, která stojí v pozadí, se příliš neliší. Pokusím se to ilustrovat na obrázcích 49 a 50. Na obr. 49 jsou příklady excitovaných systémů ve fyzice elementárních částic, jaderné a atomové fyzice a ve fyzice kondenzovaných látek a obr. 50 ukazuje typická excitační spektra těchto čtyř objektů. Zatímco energie se liší faktorem 10^{12} , od mili do gigaelektronvoltů, charakteristické chování je pozoruhodně podobné. Mimoto nejzajímavější objevy a nejdůležitější vývojové kroky jsou činěny právě na námi uměle vytvořených rozhraních a to zdaleka není náhodou.

Fyzika je silnější, jednodušší a ve svých projevech bohatší, než si většinou myslíme. Vráťím se na konci k citátu, uvedenému na začátku tohoto referátu. „Rozumět tomu, jak věci pracují, znamená také chápat, jak v rámci omezení plynoucích z prostředí, v němž žijeme, a nedokonalosti našeho rozumu, lépe přizpůsobit přírodu člověku a člověka přírodě.“ To zůstává nádhernou výzvou a tím k čemu přispěla a stále podstatně přispívá Unie pro čistou a aplikovanou fyziku; podporou skutečně mezinárodní struktury naší vědy.

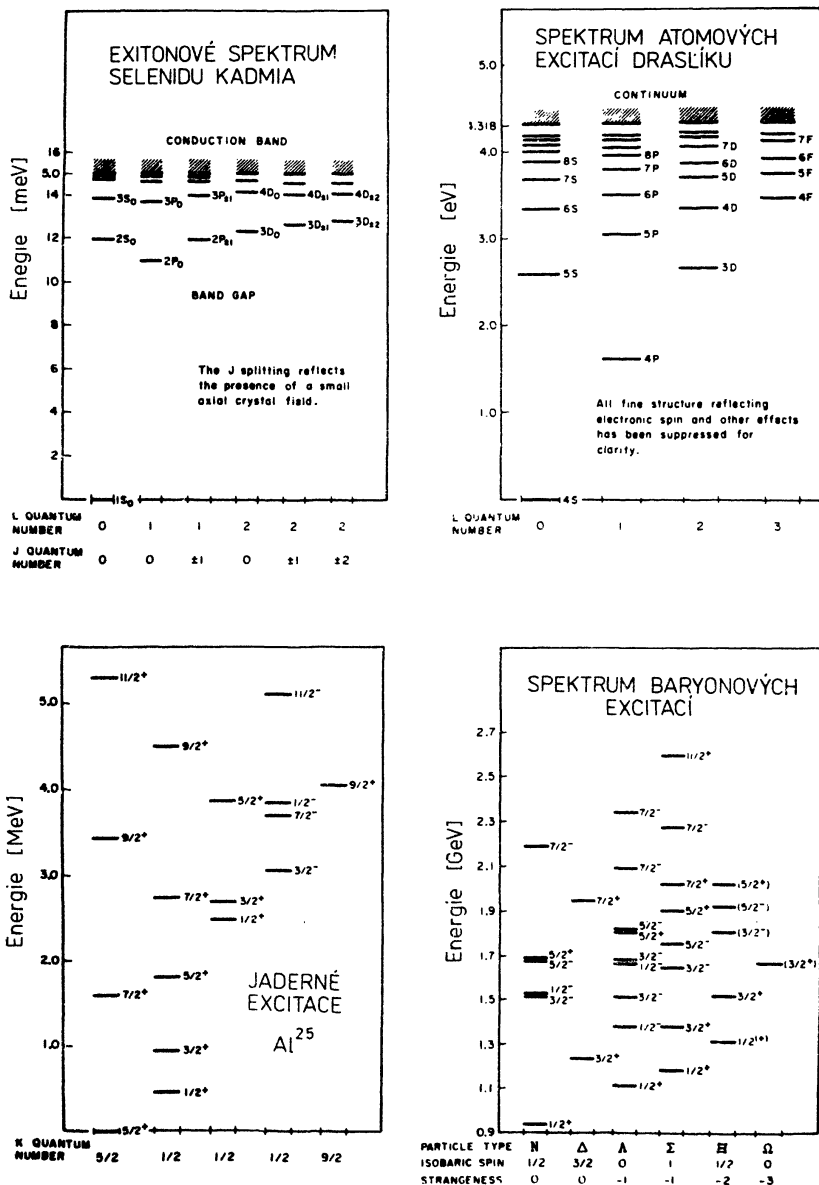
Poděkování

Je zřejmé, že v referátu pokrývajícím tak širokou oblast, o jaký jsem se pokusil zde, je zcela nemožné jmenovitě vyjádřit mou vděčnost všem kolegům, jejichž práce a výsledky jsem použil, většinou ve formě velmi zkrácené a schematické, i když doufám nezkreslené. Nemohu navíc ani poskytnout detailní odkazy na všechny zdroje, ze kterých jsem čerpal.

Mimoto jsem vděčen Královské švédské akademii věd za její vyzvání, abych se pokusil o tento rozbor. Zcela určitě jsem se při tom naučil mnohem víc, než kterýkoli z mých čtenářů. Snažil jsem se nejen nastínit šířku a hloubku naší vědy, ale také zdůraznit její společenský význam a poukázat na skutečnost, že je záležitostí velmi lidskou.

Je mi příjemnou povinností uvést, že obrázky 1, 2, 4, 5, 16, 17, 27, 28, 29, 32, 44, 45, 46 a 47 jsou reprodukovány z časopisu Scientific American, obrázky 3, 6, 18, 21, 37, 38 a 48 z časopisu Physics Today, obrázky 42 a 43 z Science Year, obrázek 22 z New Scientist, obrázek 15 z McGraw Hill Encyclopaedia of Energy, obrázek 34 z 1970 McGraw Hill Yearbook of Science and Technology, obrázek 30 z New York Times.

Další obrázky pocházejí z řady laboratoří: obrázek 14 z Brookhaven National Laboratory, obrázek 23 z Oak Ridge National Laboratory, obrázky 8, 9, 20 a 24 z Argonne National Laboratory, obrázek 19 z Lawrence Livermore Laboratory, obrázek 25 a 26 z Cambridge Scientific Instruments Ltd, obrázek 31 z Bell Telephone Laboratories,



Obr. 50. Spektra kvantových excitací systémů z obr. 49. Příklady těchto spekter byly nakresleny tak, aby bylo vidět klasifikaci kvantových stavů do skupin se stejnými kvantovými čísly. Podobnost všeobecného vzhledu těchto spekter je velmi nápadná přesto, že rozsah excitačních energií je obrovský a je dán faktorem 10^{12} .

obrázek 35 z Bradford Washburn, obrázek 36 z U.S. Naval Research Laboratory, obrázek 39 z California Institute of Technology, obrázek 7 z Stanford Linear Accelerator Center a obrázek 33 z U.S. Aerospace Corporation.

Rád bych poděkoval Sandře Sicignano za její pomoc při získávání obrázků, Frances de Grenier a Kláře Buckleyové za přepisování rukopisu a nejvíce Marii Anně Thomsové-Schulzové za její pomoc při přípravě tohoto článku. Nakonec bych rád vyjádřil své poděkování nadaci Alexandr von Humboldta za udělení Humboldtova stipendia na dobu, kdy jsem připravoval tento článek.

Automatické formování hypotéz metodou GUHA — teorie a aplikace

Tomáš Havránek, Praha

Metoda GUHA (General Unary Hypotheses Automaton) se objevila ve své základní verzi před patnácti lety. Byla dílem tří českých matematiků — Petra Hájka, Ivana Havla a Metoděje Chytila. Od té doby prošla dosti bouřlivým rozvojem, práce na ní se zúčastnilo několik dalších spolupracovníků a měla poměrně značné úspěchy (hlavně po teoretické stránce). Vzbudila zájem i v zahraničí, je jí například věnováno celé první číslo ročníku 1978 časopisu *International Journal of Man-Machine Studies*. Vzbudila i dosti diskusí a pochybností. Pokusíme se nyní ohlédnout za jejím vývojem a shrnout její dnešní stav.

Tento článek vznikl na přání redakce *Pokroků* sloučením dvou textů: jednak textu přednášky přednesené na konferenci českých matematiků ve Zvíkovském podhradí v roce 1978 a publikovaném ve sborníku z této konference, jednak z původního textu připravovaného pro *Pokroky*, jehož napsání bylo v přednášce slibováno. Tím je vysvětleno to, že zde čtenář může nalézt formulace již otištěné jinde.

I. Úvod

1.1 Metoda GUHA je v podstatě pokusem aplikovat vyjadřovací a deduktivní prostředky matematické logiky na *analýzu empirických dat*. Základní *aplikační situace*, o kterou zde jde, je tato:

Máme před sebou data, která jsou výsledkem jisté *observační studie*; to znamená, že byla získána pozorováním řady vlastností a veličin na zpravidla velkém počtu objektů (například pozorováním různých anamnestických a diagnostických údajů na velkém množství pacientů). Od *experimentální studie* se naše situace liší v tom, že v experi-