

Černé díry pod horizontem událostí

Tomáš Apeltauer (20. 06. 2003)

Na podzim loňského roku vědci z NASA oznámili, že našli chybějící článek ve vývoji vesmíru - přechod mezi supervelkými a malými černými dírami. Co všechno nám mohou říci tyto husté oblasti vesmíru, jejichž gravitaci neunikne ani světlo?

Černé díry jsou typickým produktem teoretických úvah, které mají množství reálných příkladů. Jeden z nich se nachází v centru nenápadné spirální galaxie a jeho objev zaplnil mezeru v představách fyziků o vývoji černých děr a vzdálených galaxií.

Černé díry nejsou černé

Málokdy najdeme tak elegantní důkaz o schopnostech moderní teoretické fyziky, jako je tomu v případě černých děr. Vůbec prvním člověkem, který uvažoval o existenci podobných objektů, byl anglický astronom John Michell. Ve své práci vydané v roce 1783 ukázal, že gravitace tělesa s dostatečně velkou hmotností a hustotou může být natolik velká, že dokonce ani světelné paprsky nemohou z jeho povrchu uniknout. Takové těleso přirozeně nemáme šanci spatřit, protože žádný paprsek se nedokáže vymanit ze železného sevření jeho vlastní gravitace. Michellova revoluční práce se ale ve své době nesečkala s žádnou větší odezvou a další pokrok ve výzkumu těchto bizarních objektů tak přišel až na počátku minulého století.

Novým impulsem byla Einsteinova obecná teorie relativity, na kterou záhy navázala celá řada vědců. Za zmínku stojí zejména práce mladého německého astrofyzika Karla Schwarzschilda, který úspěšně aplikoval relativistické rovnice na jednoduchý model hvězdy. Další pokroky na sebe nenechaly dlouho čekat a jsou spojeny s osobnostmi jako Stephen Hawking, Roger Penrose nebo John Wheeler. Posledně jmenovaný dokonce poprvé použil dnes běžný termín černá díra. Přes nesporné úspěchy teoretiků nebyla možné soudobou technikou existenci podivných objektů přímo potvrdit a na první přímý důkaz si musela věda ještě několik desítek let počkat. Přes svůj název jsou černé díry pestrobarevným světem plným podivuhodných vlastností, které se mnohdy vymykají lidskému chápání. A to navzdory skutečnosti, že na počátku existence černých děr stojí obyčejná hvězda – objekt, jakých můžeme každou jasnou noc spatřit na nebi tisíce.

První úsvit

Pro pochopení vzniku černých děr se musíme nejprve blíže podívat na životní dráhu jejich předchůdců. Hvězdy vznikají v obrovských mračnech plynu a prachu, jakých najdeme v galaxiích bezpočet. Čas od času se některý z bezcílně putujících oblaků začne vlastní gravitací smršťovat. Materiál mračna, který se skládá zejména z vodíku, hélia a malého množství dalších příměsí, se během zhušťování silně zahřeje a postupně začne stále silněji zářit. Pokud je hmotnost vznikajícího útvaru dostatečná, teplota v jeho centru nakonec dosáhne kritické hodnoty a zapálí se termojaderné reakce. Tlak záření zesílí, doslova vymete zbývající nevyužitý materiál a dosud pustý kout vesmíru má náhle nového hvězdného obyvatele.

Další osud novorozené hvězdy je beze zbytku určen její počáteční hmotností, která ovlivňuje teplotu v jejím nitru a tempo jaderných reakcí. Hvězdy podobné našemu Slunci hospodaří se svým palivem poměrně úsporně a v některých případech vydrží zářit desítky miliard let. Hmotnější exempláře naproti tomu palivo doslova hltají a jejich životnost se počítá "pouze" na stovky milionů roků. Pro člověka nepředstavitelně dlouhá doba, pro vesmír krátký úsek jeho historie.

Poslední soumrak

Dříve nebo později dojde u každé hvězdy k situaci, kdy vyhasnou jaderné reakce a opět se přihlásí o slovo neúprosná gravitace. Stejná síla, která byla rozhodujícím impulsem pro vznik nové hvězdy, ji nyní neodvratně vede k zániku. Během hoření jaderných reakcí se totiž doposud udržovala křehká rovnováha mezi tíhou svrchních částí hvězdy a radiačním teplem reakcí v jejím nitru. Jakmile palivo dojde, je s rovnováhou konec. Umírající hvězda odhodí vnější obálku, zatímco střed se začne mocně smršťovat. Konečná velikost, na které se smršťování jádra zastaví, závisí na jeho hmotnosti. Pokud nepřesáhne Chandrasekharovu mez, která činí 1,4násobek hmotnosti Slunce, usadí se nakonec jako bílý trpaslík - postupně chladnoucí těleso o velikosti planety, jehož dalšímu zhroucení brání odpudivé síly mezi jednotlivými atomy. Pokud ale jádro umírající hvězdy přesáhne kritickou hodnotu, nezastaví gravitaci ani mocné odpudivé síly a vznikne neutronová hvězda. Pozoruhodný útvar o průměru

několika desítek kilometrů a složený pouze z neutronů velice rychle rotuje a vyzařuje do okolí intenzivní proudy energie v rádiovém oboru. Může se zdát, že neutronové hvězdy představují to nejpodivnější ze závěrečných stádií hvězdného vývoje. Příroda má ale v rukávu ještě jeden, mnohem zajímavější trumf. Pokud totiž hmotnost jádra přesáhne hranici tří hmotností Slunce, nezastaví se smršťování dokonce ani u neutronové hvězdy a nezadržitelně pokračuje dál. Gravitace na povrchu rychle se zmenšujícího tělesa dále narůstá a pro světlo je stále obtížnější uniknout. Hvězda navenek slábne a její světlo se stává stále více červenějším. Nakonec projde kritickým poloměrem a od této chvíle je už světlo navždy uvězněno uvnitř. Umírající hvězda definitivně zhasne a na jejím místě zůstane neviditelná, těžká černá díra.

Skrytý svět divokých představ

Navzdory složitým procesům předcházejícím vzniku černé díry se z fyzikálního hlediska jedná o velice jednoduchý objekt. Černou díru můžeme pouze zvážit, změřit její velikost a případně také elektrický náboj nebo moment hybnosti. Více informací nám o sobě nikdy neprozradí. Nitro černé díry představuje oblast zvanou singularita, kde jsou hustota hmoty a zakřivení prostoru nekonečné. Nahlédnout dovnitř by pro každého relativistu znamenalo spatřit zaslíbenou zemi, kde přestávají platit fyzikální zákony a kde se vytrácí pojem času. Oblast je ale před zvědavými pohledy dokonale skryta díky pravidlu zvanému princip kosmické cenzury. Podle této myšlenky uveřejněné anglickým matematikem Rogerem Penrosem se singularity vždy skrývají pod oblastí zvanou horizont událostí, ze které nedokáže uniknout ani jediný paprsek světla. Odvážný badatel by se sice mohl pokusit prozkoumat svět pod tímto závojem, ale o svých zážitcích by nám už nikdy nedokázal podat zprávu.

Všudypřítomná gravitace

I když je černá díra zvenčí neviditelná, její gravitační vliv pociťujeme stále. Z pohledu gravitace není rozdíl mezi černou dírou a hvězdou o stejné hmotnosti, obě tělesa na svoje případné souputníky působí stejně. Ve vesmíru proto najdeme případy, kdy vlivem vzájemné přitažlivosti kolem sebe obíhá podivná nesourodá dvojice - mohutná, jasně zářící hvězda a černá díra. Pokud se hvězda nedrží v uctivé vzdálenosti, dokáže černá díra doslova vysávat její materiál, který ve formě obrovského víru padá do hladového jícnu. Materiál vytvoří kolem černé díry rychle rotující a nesmírně horký disk, který vysílá do okolí silné dávky rentgenového záření a jako výkonný maják upozorní na místo jejího výskytu. Pro konkrétní příklad nemusíme chodit daleko. V roce 1971 byl v souhvězdí Labutě objeven silný zdroj rentgenového záření pojmenovaný Cygnus X-1, který ve skutečnosti tvoří obrovská horká hvězda s masivní, avšak neviditelnou družicí. Ze změřené dráhy hvězdy vychází hmotnost skryté složky nejméně na šestinasobek s hmotností Slunce. Jediným objektem, který může mít podobné vlastnosti, je právě černá díra. Černé díry najdeme také v jádrech některých galaxií, kde se honosí přízviskem supertěžké. Svůj název si opravdu zaslouží, hmotnosti "menších" exemplářů totiž začínají někde kolem milionu hmotností Slunce a největší jedinci jsou ještě tisíckrát hmotnější. Pokud by se taková černá díra usadila uprostřed naší soustavy namísto Slunce, její okraj by dosahoval až k dráze Uranu. Existenci takových obrů můžeme zjistit vedle zachycení rentgenového záření také z pečlivého rozboru pohybu hvězd poblíž galaktických center. Výsledky podobných studií vedly astronomy k závěru, že supertěžké černé díry se nacházejí jenom u galaxií, jejichž centrum je nápadně "vyboulené". Donedávna se proti takovému předpokladu nedalo nic namítnout, ale velký zlom přinesla nenápadná slabá galaxie s označením NGC 4395.

Chybějící kamínek v mozaice

Podle zprávy The Astrophysical Journal Letters totiž odhalila dvojice astronomů také v jejím nitru obří černou díru. Šťastnými objeviteli jsou pánové Alex Filippenko z Kalifornské univerzity v Berkeley a Luis Ho z Carnegieho Institutu v Pasadeně. Na celém objevu je ale překvapující skutečnost, že galaxie NGC 4395 je plochou spirální galaxií bez výrazného centra a v jejím nitru by se proto žádná supertěžká černá díra nacházet neměla. Galaxie na sebe výrazněji upozornila už před časem, kdy se podařilo zaznamenat rentgenové záření vycházející z jejího nitra. Právě tak se projevuje supertěžká černá díra, nicméně přímý důkaz o její existenci přišel až nyní. Pro studium vzdálených galaxií jsou zapotřebí ty nejdokonalejší dostupné přístroje, a proto použil tým vědců jeden z dvojice obřích Keckových dalekohledů umístěných na Havajských ostrovech, disponující zrcadlem o průměru 10 metrů. Pečlivým rozбором trajektorií a rychlostí hvězd obíhajících kolem centra galaxie došel vědecký tandem k závěru, že uvnitř se skutečně skrývá černá díra. Aby toho nebylo málo, hmotnost černé díry je "pouze" desetitisíckrát až stotisíckrát větší než hmotnost Slunce. Nově objevená černá díra se zařadila na samý konec hmotnostního žebříčku ve své váhové kategorii a má ambice stát se jakýmsi mezičlánkem spojujícím skupinu stelárních černých děr se supertěžkými černými děrami v centrech některých

velkých galaxií. Objev tak převrátil naruby některé vědecké teorie a ukázal, že i uprostřed menších galaxií bez nápadných centrálních výdutí můžeme objevit černé díry, které navíc dosahují překvapivě malých hmotností. Výrazné vyboulení středu galaxie pravděpodobně nastane až v okamžiku, kdy centrální černá díra pohltí značné množství okolního materiálu a její hmotnost výrazně vzroste. Proto se zřejmě také galaxie NGC 4395 jednoho dne zařadí mezi své "zaoblené" kolegyňe.

GALERIE ČERNÝCH DĚR

V okolním vesmíru najdeme celou řadu černých děr, které můžeme rozdělit do několika skupin.

Stelární černé díry

Jakmile hvězda nedokáže zásobovat hladové jaderné reakce, které probíhají v jejím nitru, vlivem vlastní gravitace se její jádro zhroutlí. Pokud je hmotnost hroutícího se jádra větší než trojnásobek sluneční hmotnosti, nedokáže už smršťování nic zastavit a na místě původní hvězdy vznikne černá díra. Bizarní objekt je skryt pod oblastí, kterou nazýváme horizont událostí. Jedná se o oblast, kde je gravitace natolik vysoká, že odtud nedokáže uniknout ani světlo. Rozměry takové oblasti můžeme celkem dobře odhadnout. Platí totiž následující pravidlo: průměr horizontu v kilometrech dostaneme po vynásobení hmotnosti hroutícího se jádra ve slunečních jednotkách číslem 3.

Středně těžké černé díry

Zatímco stelární černé díry tvoří pozůstatky obřích, jasně zářících hvězd, původ jejich hmotnějších kolegyň v centrech galaxií a některých hvězdokup není do dnešní doby příliš jasný. Obří černé díry mohly vzniknout v počátcích formování galaxií, kdy se gravitačně zhroutlily rozsáhlé centrální oblasti. Další možností je postupné splynutí stelárních černých děr v galaktickém centru, kde je velká hustota hvězd. **Není ale vyloučen ani jiný, dosud neznámý mechanismus.** Před nedávnem došlo k objevu černých děr, které leží někde na hranici mezi stelárními černými dírami a supertěžkými černými dírami v galaktických jádrech. Dlouho hledané prostřední varianty černých děr byly nalezeny v jádrech dvou kulových hvězdokup a jejich hmotnosti jsou 4000krát, resp. 20 000krát větší než hmotnost Slunce. Podobně "podvyživená" černá díra byla k velkému překvapení vědců nalezena také ve středu spirální galaxie NGC 4395, kde by se podle původních předpokladů neměl podobný útvar vůbec nacházet. Nové objevy by mohly hodně napovědět o vzniku těchto podivuhodných útvarů.

Supertěžké černé díry

Podobné černé díry najdeme v jádrech velkých eliptických galaxií, velikost nejmohutnějších exemplářů je srovnatelná s rozměry Sluneční soustavy a hmotnost dosahuje až miliard Sluncí. **Gigantické černé srdce galaxie se prozradí díky pohybu hvězd v jeho blízkosti, případně silnými dávkami rentgenového záření vycházejícího z centra galaxie.**

VÍTĚZSTVÍ TECHNOLOGIE

V pátek 23. července 1999 odstartoval z Kennedyho vesmírného střediska na Floridě raketoplán Columbia, aby po téměř devítihodinové pouti vypustil ve výšce 320 kilometrů nad zemským povrchem do vesmíru mohutnou kosmickou sondu. Observatoř s poetickým názvem Chandra, což v sanskrtu znamená Měsíc, je pojmenována podle amerického laureáta Nobelovy ceny s indickými kořeny Subrahmanyana Chandrasekhara a při oběhu kolem Země se dostane až do jedné třetiny vzdálenosti k Měsíci. Sonda byla navržena pro studium okolního vesmíru v rentgenovém oboru záření a dodnes představuje nejdokonalejší zařízení svého druhu. Od jejího vypuštění si vědecká komunita velmi slibovala a observatoř jejich očekávání splnila více než dobře. Díky vysoce citlivým přístrojům umístěným na palubě sondy se mohli astronomové záhy radovat ze snímků vzdálených kosmických objektů pořízených s doposud nevídaným rozlišením. Dva snímky Krabí mlhoviny ze souhvězdí Býka ukazují, nakolik pokročil výzkum podobných objektů právě díky observatoři Chandra.

První snímek pořídila observatoř Rosat, která byla až do startu Chandry na špici výzkumu vesmíru v rentgenovém oboru spektra. Druhá fotografie byla pořízena novým CCD spektrometrem na palubě

Chandry a má více než padesátkrát lepší rozlišení oproti snímku z Rosatu. Na snímku jsou patrné mnohé detaily, které byly do té doby astronomů skryty a které přinesly podstatné informace ve výzkumu Krabí mlhoviny.

Optický systém observatoře se skládá ze čtyř párů zvláštních zrcadel určených pro studium rentgenového záření. Zrcadla musela být vybroušena s obrovskou přesností a jejich povrch byl pokryt iridiem, prvkem s velmi vysokou odrazivostí. Soustava na palubě Chandryje díky tomu nejdokonalejší optický systém svého druhu, s použitím podobně kvalitního dalekohledu bychom dokázali pohodlně přečíst text novin ze vzdálenosti téměř jednoho kilometru. Chandra tak přinesla doslova revoluci ve výzkumu vesmíru v rentgenovém oboru záření a do studia černých děr.

HAWKINGŮV POHLED DO TVÁŘE ČERNÝCH DĚR

Zlé jazyky tvrdí, že kdo rozumí jeho textům, je buď fyzik, nebo lhář. Faktem ale zůstává, že knihy slavného britského vědce **Stephena Hawkinga** se pravidelně umísťují v seznamech bestsellerů. Jeho nejúspěšnější publikace *Stručná historie času* se držela v podobném žebříčku dlouhých dvě stě týdnů a byla přeložena do třiceti jazyků. Hawking ale není jenom obratným vypravěčem složitých příběhů vědy, v první řadě zůstává brilantním fyzikem a pozoruhodnou osobností. Je zvláštní, že opravdovou vášeň pro studium černých děr, vzniku vesmíru a dalších abstraktních oblastí v sobě objevil teprve s příchodem zákeřné nemoci, amyotrofické laterální sklerózy. Vinou této choroby je upoután na invalidní vozík a s okolím komunikuje prostřednictvím hlasového syntezátoru. Přestože mu lékaři po nešťastné diagnóze nedávali příliš mnoho času, zničující nemoci vzdoruje už dlouhá léta a jeho mozek stále pracuje na plné obrátky. Jeho práce v oblasti černých děr bývají považována za klíčová díla v oboru a je autorem velkého **množství originálních úvah**. **Podle jedné z nich na počátku vesmíru došlo ke vzniku celé řady miniaturních černých děr, jejichž velikosti jsou srovnatelné s atomy**. Konkrétní potvrzení této bezesporu zajímavé myšlenky ale zatím chybí. Hawking je člověkem vyhraněných názorů na fyziku i okolní svět, jeho myšlenky však málokdo bere na lehkou váhu. V roce 2001 opět překvapil veřejnost, když prohlásil, že **jedinou nadějí lidstva je genetické inženýrství**. Podle něj je otázkou několika málo desetiletí, než umělá inteligence převyší možnosti lidského mozku a člověk začne svůj souboj s technikou prohrávat. Proto je nutné zdokonalit pomocí genetického inženýrství lidský mozek. O něco později ale svůj názor změnil. Genetické pokusy v sobě ponесou značné riziko například v podobě geneticky upravených smrtících bakterií, kterým lidé nebudou moci vzdorovat. Člověk by se měl proto snažit co nejrychleji expandovat do kosmu. Čtenáři britského listu *Daily Telegraph*, kde článek vyšel, byli zřejmě pořádně překvapeni. Mnozí jeho spolupracovníci o něm ale tvrdí, že právě jeho nemoc mu umožnila odpoutat se od pozemských starostí a dohlédnout tam, kam jiní nevidí. Knihy jako *Stručná historie času* nebo *Černé díry a budoucnost vesmíru* jsou toho dostatečným důkazem.

PAPRSKY X VE VESMÍRU

Objevitelem záření s vysokou energií a do té doby nevídanými vlastnostmi je německý fyzik Wilhelm Roentgen. Tajemné záření dokázalo projít skrz celou řadu neprůhledných materiálů, a proto jej překvapený Roentgen v roce 1895 pojmenoval jako paprsky X. Teprve později bylo přejmenováno podle svého objevitele na Roentgenovo záření, nicméně angličtina dodnes používá původní označení X-rays. Záření vzniká například během **interakce rychle letícího elektronu a protonu**. **Během tohoto procesu se uvolní foton rentgenového záření s vysokou energií**. Záření samotné má bohaté uplatnění zejména v medicíně a fyzice a v některých oblastech fyziky jsou vysoce energetické rentgenové paprsky dodnes nenahraditelné. Používají se zejména při studiu atomové struktury látek, kde se dobře uplatní právě extrémně krátká vlnová délka záření. **Ve vesmíru vznikají rentgenové paprsky** v oblastech, kde probíhají bouřlivé procesy, často za vysokých teplot a během silných explozí. Taková místa najdeme v nejrůznějších koutech vesmíru, od mezigalaktického prostoru po **neutronové hvězdy**. Jsou to právě černé díry, které jsou doslova "motorem" podobných procesů a které tak svoji existenci nepřímo prozrazují právě prostřednictvím rentgenových paprsků.

$$p + e^- = n + \gamma$$

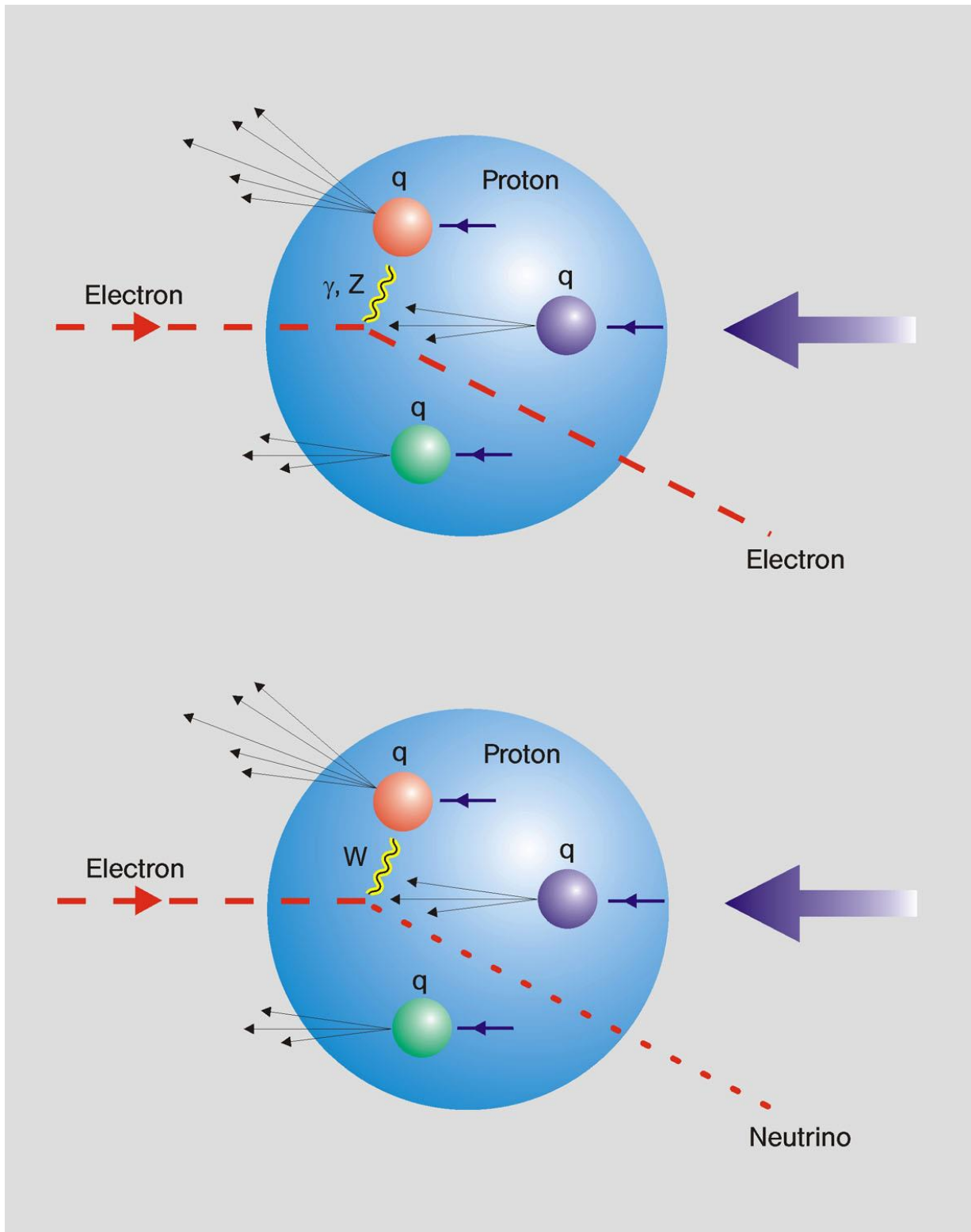
$$\frac{x^3 \cdot t^0}{x^0 \cdot t^2} \cdot \frac{x^2 \cdot t^2}{x^2 \cdot t^1} = \frac{x^3 \cdot t^1}{x^0 \cdot t^3} \cdot \frac{x^2 \cdot t^3}{x^2 \cdot t^2} \quad 7 \ 7$$

ZAKŘIVENÝ PROSTOR

Ve snaze o přiblížení vlastností černých děr je užitečné přemýšlet o zakřivení prostoru. Představte si dokonale plochou síť z pružného materiálu, která představuje prostor pouze o dvou rozměrech. Pokud na tuto síť umístíme libovolný hmotný objekt, jakým může být třeba model hvězdy, dojde ke zdeformování plochy do třetího rozměru. Malá kulička reprezentující třeba planetu bude v tomto prohnutí obíhat podobně, jako by skutečná planeta obíhala kolem hvězdy pod vlivem jejího gravitačního pole. **To je podfuk. Co když si tu síť si budu představovat kolmo na rovinu všech planet ? Proč neobíhají planety pak libovolně po trampolíně ? jednou vodorovně jednou svisle tedy jakkoliv ? proč lítají v jedné rovině všechny planety a nikoliv „jak si já myslím na tu trampolínu“ ...??** Podle této interpretace je gravitace vlastně deformací okolního prostoru. Pro trojrozměrný svět, ve kterém žijeme, představuje gravitace zborcení tělesa do čtvrtého, pro nás neviditelného rozměru. S větší hmotou jde ruku v ruce také větší místní prohnutí prostoru. V případě černých děr se jedná o obdobu nekonečně hluboké, bezedné jámy.

=====.

$p^+ + e^- = n + \gamma$				
$\frac{x^3 \cdot t^0}{x^0 \cdot t^2} \cdot \frac{x^2 \cdot t^2}{x^2 \cdot t^1} = \frac{x^3 \cdot t^1}{x^0 \cdot t^3} \cdot \frac{x^2 \cdot t^3}{x^2 \cdot t^2} \quad 7 \ 7$				
$\frac{x^3 \cdot t^0}{x^0 \cdot t^2} \cdot \frac{x^2 \cdot t^2}{x^2 \cdot t^1} = \frac{x^3 \cdot t^1}{x^0 \cdot t^3} \cdot \frac{x^2 \cdot t^3}{x^2 \cdot t^2} \quad 7 \ 7$				



The electron and proton collision

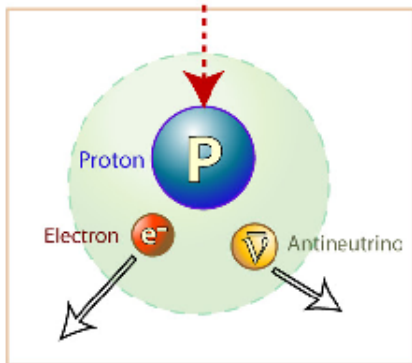
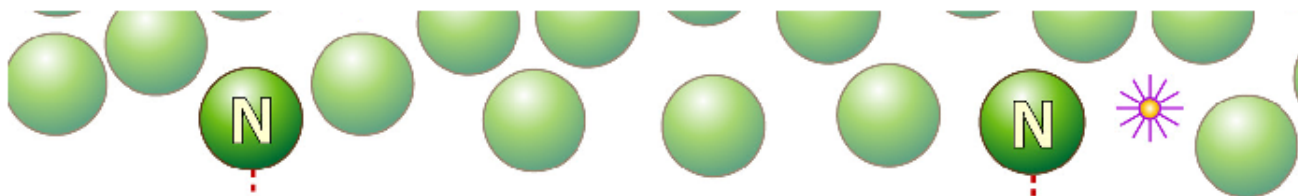
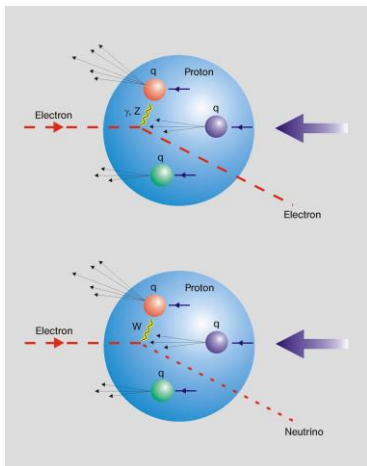
Prosím o nápravu mého pokusu o zapsání té Vaší interakční rovnice z obrázku kolize elektron-protonové

$$e^- + p^+ = \text{„gama“} + Z^0$$

$$Z^0 + ? = ? + e^-$$

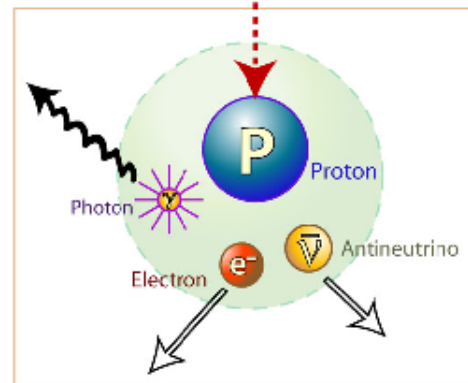
$$e^- + p^+ = W^+ + \text{„kvark“}$$

$W^+ + \text{kvark} = ? + \text{neutrino}$



STANDARD NEUTRON BETA DECAY

$$\frac{n}{x^3 \cdot t^1} = \frac{p}{x^3 \cdot t^0} + \frac{e^-}{x^2 \cdot t^2} + \frac{\nu_e^-}{x^0 \cdot t^0} \quad \left| \begin{array}{c} 5 \ 5 \\ 5 \ 5 \end{array} \right|$$



RADIATIVE NEUTRON BETA DECAY

$$\frac{n}{x^3 \cdot t^1} = \frac{p}{x^3 \cdot t^0} + \frac{\gamma^-}{x^2 \cdot t^3} + \frac{\nu_e^-}{x^1 \cdot t^0} \quad \left| \begin{array}{c} 6 \ 6 \\ 6 \ 6 \end{array} \right|$$

Podle mě je Radiative Neutron Beta Decay jako interakce reálná takto zde předvedená špatně.

dvě různá neutrina
(upřesnit za pomoci kvantových čísel)

29.09.2006