

Co všechno již víme o temné hmotě?

V minulém roce uplynulo 80 let od publikace klíčového článku, ve kterém Fritz Zwicky poprvé použil termín „temná hmota“. Ačkoliv v posledních deseti letech se podařilo učinit řadu klíčových objevů v této oblasti, je přesto podstata tohoto jevu stále neznámá. Je proto zajímavé si shrnout současné znalosti fenoménu, který by nám mohl otevřít cestu k nové fyzice za Standardním modelem částic a interakcí.

V roce 1933 uveřejnil Fritz Zwicky článek, ve kterém ukázal, že pohyb zhruba 800 galaxií v obrovské kupě galaxií Abell 1656 v souhvězdí Vlasy Bereniky nemůžeme vysvětlit jinak, jenže můžeme vysvětlit jinak : http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/g/g_063.doc
http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/g/g_061.doc
http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/g/g_053.doc
http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/g/g_048.doc
http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/h/h_027.doc
http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/h/h_024.doc
http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/aa/aa_031.jpg než předpokladem, že hmotnost kupy je řádově větší než hmotnost viditelné hmoty. než předpokladem, že hmotnost kupy není řádově větší proto, že vyhodnocování pozorování pohybu hvězdy na periferii galaxie je m o ž n á špatné, je prováděno dosazováním do Newtona $F = G \cdot M \cdot m / r^2$ kde za „r“ se dosazuje zavedeným způsobem tj. jako nejkratší spojnice dvou těles , tj. úsečka, která je rovná-přímá. Jenže tomu tak m o ž n á není. Galaxie je už natolik velká (a natolik je vzdálena od galaxie Pozorovatele), že křivost časoprostoru v galaxii je markantní a měla by se ta vzdálenost mezi dvěma tělesy dosazovat jako oblouková, v oblouku, podle křivosti čp. Síly mezi tělesy „působí v oblouku“, nikoliv v přímé vzdálenosti, jako to je při výpočtu Newtonem v malých vzdálenostech. Po tomto dosazení r – v oblouku do pozorování vyjde, že žádná hmota v galaxii nechybí. Tuto chybějící hmotu označil německým termínem „die dunkle Materie“. Česky se většinou užívá termín temná hmota, i když podstatu lépe vystihuje termín skrytá hmota. Je třeba připomenout, že náznaky tohoto fenoménu se objevovaly už dříve. Například už rok před článkem Zwickyho upozornil Jan Oort na příliš velké orbitální rychlosti hvězd v naší Galaxii, i když právě jeho měření a rozbor se později ukázaly být spíše problematické. V naší galaxii je pozorovatel naší galaxie poměrně blízko a tak křivost čp se tolik neprojevuje. V prvních desetiletích minulého století se totiž dařilo stále přesněji měřit pohyb různých objektů ve vesmíru a získaná data začala umožňovat podobné analýzy. A v pohybu hvězd v Galaxii i pohybech galaxií v kupách se projevovaly známky existence neznámého gravitačního vlivu. Nikoliv, pouze fyzikové dosazovali vzdálenost přímou namísto vzdálenosti v oblouku Postupně se hromadily další a další důkazy ,důkazy ? anebo indicie ??? o tom, že by mohla být velká většina hmoty ve

Ukázalo se, že její projevy jsou tím významnější, čím větší struktury ve vesmíru zkoumáme. Jistě, čím jsou dál, je pozorovatelná křivost vyšší ... Zároveň se postupně stále jasněji potvrdovalo, že projevy temné hmoty nelze vysvětlit modifikací gravitačních teorií. Ha-ha, tu moji modifikaci neproověřili nikdy, dodnes....! Třeba tím, že by intenzita gravitačního pole na velkých vzdálenostech klesala pomaleji než s kvadrátem vzdálenosti. A v tom to je, že nápad jako já měli, ale nevážili ho ... Nejprve nepřímé důkazy prokazovaly, že modifikace gravitačních teorií, ať už Newtonovy nebo Einsteinovy, pozorování vysvětlit nedokáží. Nezkusili mou „modifikaci“ tj. dosazovat do Newtona „x“ – vzdálenost v oblouku ... Přímý důkaz toho, že k vysvětlení je potřebná existence neznámé formy hmoty, která interaguje s ostatní hmotou jen extrémně slabě a projevuje se pouze svým gravitačním účinkem, se

objevil v roce 2006. Tehdy se našla dvojice kup galaxií, u kterých proběhla vzájemná srážka. Vzájemná srážka neosvětluje jinou fyzikální možnost tu, kterou jsem navrhl : „nově použitý“ Newtonův zákon (tedy neéé pozměněný v principu , ale jinak použitý) pro vzdálenosti mezi tělesy, v nichž už se projevuje křivost časoprostoru, a je nutno dosazovat úsečku v oblouku. V procesu srážky proběhlo vzájemné oddělení jednotlivých složek hmoty, které kupy tvoří a bylo možné sledovat !!!! sledovat a dosazovat do vzorců jsou dvě odlišné věci !!! gravitační vliv různých komponent (podrobněji [zde](#)).

V dalších letech se nachází stále více podobných srážek dvou i více kup, to nic nedokazuje, to je stále „jen“ pozorování které stále silněji potvrzují, pozorování nic nepotvrzuje, pokud špatně vyhodnocujeme, tedy špatně dosazujeme do fyzikálních zákonů ... že za temnou hmotou musí stát nový druh částic, anebo stát nový druh pochopení zakřivení časoprostoru ...a „jiné“ dosazování do Newtona... které souvisí s fyzikou stojící za současnou fyzikální teorií popisující strukturu hmoty – Standardním modelem částic a interakcí. Zároveň se lovem těchto částic zabývalo stále více podzemních, pozemních i vesmírných experimentů. I přes občasné titulky v médiích, že některý z nich byl úspěšný, až doposud se ukázal každý z těchto úspěchů pouze zdánlivý. A zatím stále nevíme, co tuto temnou hmotu vlastně tvoří. Populárním kandidátem na její vysvětlení jsou supersymetrickí partneři existujících částic, předpovídané hypotézami sjednocujícími popis známých interakcí. Kandidátem může být dál a dál cokoliv ...možná tisíce kandidátů dokud se neprovede můj názor na chybné dosazování „úsečky“ do Newtona.

Největší potenciál pro vytvoření a ulovení supersymetrických částic má v současné době urychlovač LHC. Lovit super-extra částice „pro vysvětlení“ temné hmoty je tu právě proto, že „se domnívají“ fyzikové, že „jiné“ vysvětlení není ... (hledejte čerty a Peklo a nadpřirozeno , pokud nemáte už jiné volby prověřování ...hm...? ... hledejte je) Ten má za sebou úspěšný hon za Higgsovým bosonem, jehož dopadení bylo korunováno loňskou Nobelovou cenou. „Dopadení“ Higgs-bosonu ?, to je poprvé v dějinách vědy, že se experimentální důkaz čehokoliv co věda objevila, vyzkoušel „jen jednou“ a prohlásil se za prokázaný, to žádná věda nikdy neudělala, ani např. věda medicínská, že by „vymyslela lék“ a po pouze jednom vyzkoušení na morčatech ihned ho použila na lidech...; ani jeden fyzikální jev nebyl prohlášen za platný pokud mu nepředcházelo desítky, možná stovky, opakování a prověřování..., neznám vědeckou disciplínu, kde by se objev „objevil“ jednou, a už se neproěřoval a prohlásil se za platný ...! s „Nobelovkou vzápětí“. Ovšem, právě i ulovení higgse a podrobné zkoumání jeho vlastností potvrzuje s extrémní přesností platnost Standardního modelu. I další velmi přesná měření neukázala odchylky od předpovědi Standardního modelu, tedy projevy nové fyziky za ním. Projevy „nové“ fyziky ? Můj návrh není „projevem“ nové fyziky, je pouze novou vizí, novým nápadem „co“ dosazovat do Newtona za vzdálenost mezi tělesy, tj. dosadit vzdálenost v oblouku, protože to je M O Z N O S T !!!, která platnost Newtona nebourá, a nebourá ani OTR...pouze tato nová vize je nabízena k ověření....: dosazovat vzdálenost v oblouku „dle“ křivosti čp.... Způsobené třeba právě existencí supersymetrických částic nebo jiných, které by mohly stát za temnou hmotou. To je ale křečovitost vědy když „musí“ volit nápady-návrhy, které jsou 100x více sci-fi než můj návrh o křivém čp a tím pádem o „ křivé úsečce v oblouku“ pro dosazení do Newtona

A možná právě nyní je čas si **podrobněji** ??? že by ??? popsat současný stav našeho poznání v oblasti temné hmoty a doplnit velice pěkný [přehled](#), který pro Osla napsal téměř před deseti lety Pavel Brož.

Gravitační projevy temné hmoty

Jak píše Pavel Brož, připomíná temná hmota slona, který v místnosti svou hmotností a velikostí mnohonásobně převyšuje vše ostatní. Vyplňuje veškerý prostor, ale není vidět, slyšet, cítit a nelze se jej ani dotknout. **Protože tam není.** Projevuje se pouze gravitační vliv jeho velké celkové hmotnosti. Podívejme se tedy nejprve, kde všude můžeme gravitační vliv našeho neviditelného slona pozorovat.

Prvním příznakem **je pohyb** hvězd a dalších objektů v naší Galaxii i galaxiích dalších. **Po dosazení „vzdáleností v oblouku“ mezi hvězdami do Newtona příznak vymizí...** Pokud se podíváme na **oběžné rychlosti** hvězd, hlavně ve větších vzdálenostech od středu galaxie, **dostaneme** daleko větší jejich hodnoty, než by se dalo **předpovědět předpovědět znamená dosazovat do Newtona a to je právě závadné...** z hmotnosti a rozložení viditelné hmoty v galaxii. Ještě přesněji lze tento **jev pozorovat** na pohybu plynu, který se rozkládá do daleko větších vzdáleností od centra a vytváří tak haló okolo ní. Pozoruje se dobře pomocí čáry vodíku s vlnovou délkou 21 cm. **Pomocí něj lze velice dobře studovat způsob a rychlost rotace Galaxie. Jak ? Bez dosazování do Newtona ?** Podle určených rychlostí **se zdá, se zdá po dosazení do Newtona že** že galaxie mají haló tvořené nepozorovatelnou hmotou. Ta tvoří velkou část hmotnosti galaxie. Rozdílnou podle jejího typu, ale nejméně okolo 70 %. U trpasličích galaxií by mohlo jít až o 90 % hmotnosti. **Bez této hmotnosti by galaxie, včetně té naší, nemohly být stabilní. Jenomže na to se mohlo dojít jen po dosazování do Newtona**

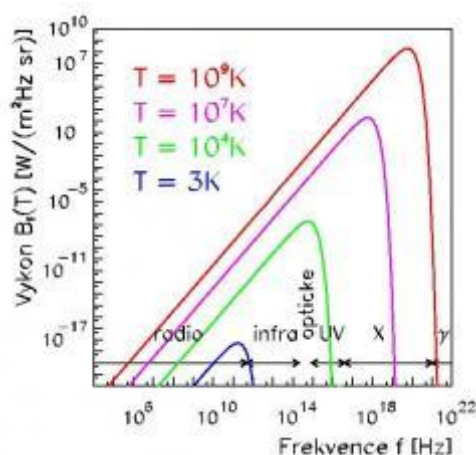
Jak už bylo zmíněno v úvodu, Zwicky pozoroval projevy temné hmoty v pohybu galaxií v kupách galaxií. **Zwicky se opíral o měření Dopplerova posuvu i tady dopplerův posuv může být dílem pootočení soustav, tj. informace k nám doputované jsou „degradované“ = pootočené.** u jednotlivých galaxií, jejichž počet v kupě odhadl na 800 (v současnosti je v této kupě známo přes tisíc galaxií). Z jasností galaxií pak odhadl i jejich hmotnost. Svě úvahy opřel o větu o viriálu, která umožňuje odhad kinetické energie stabilizovaného systému. Je třeba připomenout, že experimentální data v té době v sobě obsahovala poměrně velké nepřesnosti. A to **v odhadu** vzdáleností a rozměru kupy, v měření rychlostí galaxií **z rudého posuvu** i v odhadu počtu a hmotností galaxií v kupě či hmotnosti a rozložení mezigalaktického plynu. Velice pěkný rozbor Zwickyho úvah i moderní pohled na ně je v nedávném článku Michala Křížka a Filipa Křížka v časopise Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, který vážnějším zájemcům o problematiku vřele doporučuji.

Pozdější podrobná zkoumání **pohybu** galaxií v dalších kupách a **zlepšování našich znalostí** o hmotnostech galaxií i mezigalaktického plynu v kupách **ukazují** se stále větší věrohodností na to, že hmotnost galaktických kup je mnohem větší, než je hmotnost klasických forem hmoty. **Prověření parametrů pohybu a hmotností však pomocí „opraveného“ Newtona se ale neprovedlo** V současné době je tak velká řada **rozborů, jakých ? s Newtonem anebo bez**

Newtona ? která ukazuje vysoký podíl neviditelné hmoty, který narůstá s rostoucí velikostí objektů. Jak je měřena a posuzována „velikost“ ? co to je ?, je na přímce anebo na oblouku ?

Velký podíl temné hmoty je pozorovatelný jak pozorovatelný ? jen pozorovatelný a neporovnává se pomocí gravitačního zákona – Newtona ? i v gravitačním vlivu velkoškálových nehomogenit v rozložení hmoty v pozorovatelné části vesmíru. Významně se například temná hmota podílí i na hmotnosti a gravitačním vlivu každou gravitaci astrofyzikové dosazují do Newtona Velkého atraktoru, což je velká koncentrace galaxií a další hmoty, ke které směřuje i naše Místní skupina galaxií. A vliv temné hmoty Velkého atraktoru se projevuje i v tomto pohybu. Pohyb souvisí s Newtonem

[Zvětšit obrázek](#)

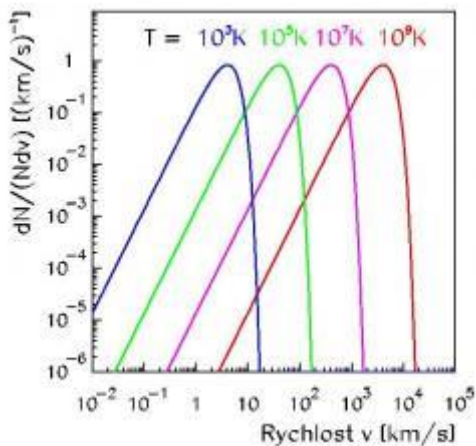


Spektrum elektromagnetického záření vyzařovaného plynem s danou teplotou.

Pozorování rentgenovského záření horkého plynu

Další evidencí existence neznámého gravitačního vlivu opět je to pozorování pak dosazováno do Newtona..v galaxiích a kupách galaxií je pozorování přítomnosti velmi horkého plynu v nich. Jeho přítomnost lze zjistit z jeho tepelného záření. Čím je plyn teplejší, tím vyzařuje elektromagnetické záření s kratší vlnovou délkou a vyšší frekvencí. Ale my pozorovatel pozorujeme zkreslené informace z důvodů potočení soustav (z důvodů křivého časoprostoru) Pro teploty vyšší než 10^6 K je maximum vyzařování v oblasti rentgenovského záření. Detekci které je posunuta-zkreslena vlivem křivosti velkoškálového časoprostoru rentgenovského záření které nepodlehlo žádným rudým posuvům ani dopplerovu... tak můžeme identifikovat rozložení velmi horkého plynu a určit i jeho teplotu. Jistě, ale to pak vede k určení „chybějící hmoty“ ?

[Zvětšit obrázek](#)



Rozložení rychlostí chaotického pohybu částic horkého plynu pro různé jeho teploty.

To ale neobjasňuje temnou hmotu, pokud...tak jak ?

Zároveň je teplotou dáno i rozložení rychlostí chaotického pohybu atomů plynu.

Nejpravděpodobnější rychlost je pro vysoké teploty okolo 10^7 K a více v oblasti stovek až tisíců km/s. Únikové rychlosti z galaxií závisí na jejich hmotnosti a jejím rozložení. A stále používáte Newtona, není ještě třeba použít OTR. Bez započtení vlivu temné hmoty je však v řádu stovek kilometrů za sekundu. U kup galaxií pak v řádu tisíců kilometrů za sekundu.

Pokud by temná hmota v galaxiích a kupách nebyla, byly by rychlosti jenže to co pozorujete je rozdílné od „reálu“ protože sem na Zem přichází informace potočené vlivem křivosti velkoškálového časoprostoru... chaotického pohybu částic horkého plynu takové, že by už dávno příslušné galaxie a kupy galaxií opustil a nepozorovali bychom jeho rentgenové záření.

Příklad silného čočkování vzdáleného kvazaru a galaxie, které se tak zobrazí několikrát. Gravitační čočkou se stala kupa galaxií SDSS J1004+4112 (zdroj NASA).

Gravitační čočkování – zdroj informací o hmotnosti

Dalším důležitým zdrojem informací o hmotnostech galaxií a kup galaxií je gravitační čočkování. Gravitační vliv masivního objektu, který leží mezi námi a vzdálenou galaxií, působí na světlo letící ze vzdáleného objektu jako čočka. Dochází k posunu jeho zdánlivé polohy a dokonce i k rozštěpení či deformaci obrazu, a vše pozorujeme bohužel o trochu jinak, protože tu opět má vliv (na tvar dráhy) ona křivost samotného časoprostoru někdy i velmi komplikovanému. Z pozorování ..pozorování je „posunuto“ opět z vlivu samotné křivosti časoprostoru na velkých škálách těchto změn původního obrazu lze získat informaci o hmotnosti objektu mezi námi a zobrazovanou galaxií i rozložení hmoty v něm. Gravitační čočkování je spojeno s Einstenovou obecnou teorií relativity. Ano, ale jak eliminujete ono „přidavné“ ohnutí dráhy paprsku čočkou z vlivu samotné křivosti čp ?? První, který na možnost jeho realizace v případě kup galaxií upozornil, byl právě Fritz Zwicky.

Existuje několik typů čočkování. Prvním je silné čočkování, při kterém dochází k velmi silné, dobře pozorovatelné, deformaci obrazu + přídavek deformace z vlivu velkoškálové křivosti samotného časoprostoru vzdáleného objektu, třeba i jeho znásobení. Druhým je slabé čočkování, při kterém jsou změny malé a informace z čočkování lze získat pouze analýzou velkého množství obrazů vzdálených objektů a jejich drobných změn a posuvů. A přidat

k výsledkům onen vliv samotné křivosti časoprostoru (to ovšem fyzikové nedělají) Slabé čočkování je nástrojem, který umožňuje měřit gravitačního pole u srážejících se kup, jak bude podrobněji popsáno dále. Třetím je pak mikročočkování. V tom případě jde o rychlý přechod kompaktního neviditelného objektu před svítícím objektem, který vede k časově rychlé změně jeho obrazu i jasnosti. Jde například o případ průchodu neutronové hvězdy či černé díry před vzdálenou hvězdou. To je ideálním nástrojem pro hledání osamělých neutronových hvězd a černých děr, včetně primordiálních. Tedy i těch objektů, které by mohly tvořit jistou část temné hmoty.

Trojice bližších galaxií (oranžové) ve vzdálenosti sedm miliard světelných let rozdělí obraz jedenáct miliard světelných let vzdálené galaxie do šesti bílých obrazů (zdroj Hubble NASA).

I analýzy hmotnosti (v analýzách není připočten vliv samotné křivosti globálního časoprostoru..., pak jsou ovšem výsledky falešné) galaxií a kup galaxií pomocí čočkování ukazují, že jejich gravitační pole je mnohem intenzivnější než by se dalo předpokládat z hmotnosti jejich viditelné hmoty. Bohužel předpoklady a úvahy jdou špatným směrem proto, že správná pozorování byla špatně vyhodnocena... bez započítání samotné křivosti časoprostoru, (který „pootočil“ informace, jež dorazily do našich pozorovacích přístrojů)

Co by mohlo přebývající hmotu tvořit? (Takže spekulace budou na falešné koleji, veškerá měření jsou mírně degradována z vlivu globální křivosti čp, kterou nikdo do výsledků nezapočítal)

Jako první možnost se pochopitelně na řadu dostávají slabě svítící formy normální hmoty. Může jít například o plyn a prach, například v různých prachoplynových mlhovinách. O velkých haló horkého plynu v galaxiích i kupách galaxií a jejich detekci pomocí rentgenovského záření už se zde psalo. Hmotnost tohoto plynu v kupách galaxií je mnohem vyšší než hmotnost samotných galaxií. Je tedy vidět, že plyn, případně prach, může tvořit podstatnou část hmotnosti galaxie nebo galaktické kupy.

Pokud bude plyn chladný, může být jeho tepelné záření natolik slabé, že bude pod detekční limitou. I v tomto případě se však plyn může projevit absorpcí světla hvězd či jiných zářících objektů za ním nebo emisí pohlcené energie ve specifických emisních čarách. Například emisí v čáře vodíku v radiové oblasti na vlně 21 cm. V průběhu řady desetiletí se tak podařilo docela dobře zmapovat rozložení prachu a plynu v galaxiích, kupách galaxií a větších strukturách. Ukázalo se, že hmotnost plynu v řadě případů značně převyšuje hmotnost jiných pozorovatelných objektů a má zásadní vliv na jejich chování i evoluci. Dostaneme se k tomu i při popisu srážek kup galaxií. Ale k vysvětlení temné hmoty nestačí.

Dalšími objekty pak mohou být slabě svítící hvězdy (hnědí či červení trpaslíci), planety, planetky. V tomto směru se hlavně v posledním desetiletí podařil obrovský pokrok. O významný vklad se zasloužila sonda Kepler, která hledá slabě svítící objekty pomocí poklesu jasnosti hvězdy, když se dostanou mezi ní a nás. Takovým způsobem se hledají nejen planety s planetárního systému pozorované hvězdy (podrobněji [zde](#)), ale také volně putující objekty. Význam Keplera je, že intenzivně dlouhodobě sledoval vybranou část oblohy a umožnil tak

vytvořit kompaktní soubor dat pro statistické analýzy. I jeho data potvrzují, že hmotnost zmíněných objektů je malá a nepomůže nám při vysvětlení temné hmoty.

Kupa galaxií Abell 1689, u které je možné studovat rozložení temné hmoty pomocí čočkování (zdroj NASA).

Významné statistické informace získal nejen Kepler, ale řada pozemních observatoří při studiu zjasnění při zmiňovaném mikročočkování, způsobeném průchodem velmi kompaktního objektu, jako je neutronová hvězda nebo černá díra, mezi hvězdou a námi. Velmi nízká četnost takových jevů potvrzuje naše představy o četnosti výskytu takových objektů, které lze získat ze znalosti počtu jednotlivých typů hvězd v galaxiích. Také tyto objekty svým počtem a celkovou hmotností nemohou vysvětlit temnou hmotu.

Poslední typ objektů, na který se podíváme podrobněji, jsou primordiální černé díry. Tyto, zatím pouze hypotetické, objekty nejsou konečnými fázemi vývoje hvězd, ale vznikly ve velmi rané fázi vývoje vesmíru v místech, kde byla hustota hmoty vesmíru vyšší. Jejich zdrojem tedy byly nehomogenity v hustotě hmoty. Černé díry se vypařují Hawkingovým zářením. Intenzita tohoto vypařování je nepřímo úměrná jejich hmotnosti. Primordiální černé díry, které by se vypařovaly v současné době, by měly mít hmotnost zhruba 10^{11} kg. Konečná fáze vypařování by měla proběhnout ve formě velmi energetického záblesku záření gama. Z toho, že tyto záblesky našimi přístroji nepozorujeme, lze položit limitu na četnost primordiálních černých děr.

Díky silnému čočkování je kvazar RXJ1131-123 vidět čtyřikrát (zdroj HST NASA).

Pokud vznikly primordiální černé díry s vyšší hmotností, měly by stále existovat. A k jejich nalezení by mohlo pomoci právě čočkování. Pokud černá díra s dostatečnou hmotností a intenzitou gravitačního pole přejde před hvězdou, dojde k pozorovatelnému zjasnění. A právě pečlivá statistika všech dat získaných při pozorování 150 000 hvězd sondou Kepler a nepozorování žádného takového jevu ukazuje, že počet černých děr s hmotností větší než 10^{21} kg je **menší, než by bylo potřeba, aby tyto objekty zasáhly do vysvětlování temné hmoty**. Ani další experimenty, které hledaly projevy gravitačního čočkování ve změnách intenzity záření různých objektů, žádnou evidenci pro existenci primordiálních černých děr nenalezly.

Další metody, jak vyloučit primordiální černé díry z vysvětlení původu temné hmoty, jsou více modelově závislé. Spočívají v jejich možném vlivu na existenci některých objektů, například neutronových hvězd, nebo pozorování projevu jejich srážek s různými objekty. Při poklesu hmotnosti primordiálních černých děr by musel rychle růst jejich počet, aby dokázaly vysvětlit temnou hmotu. O jedné možné metodě, která získala limity na počet primordiálních černých děr z existence starých neutronových hvězd, se nedávno na Oslovi **psalo**. Pokud se vezmou různá pozorování a odhady dohromady, zdá se, že **původ temné hmoty nelze vysvětlit primordiálními černými děrami žádných hmotností**. Je však třeba připomenout, že často jsou **experimentální data zatížena významnými nejistotami a další otázky vnaší i modelové**

závislosti. I tak se však dá tvrdit, že primordiální černé díry jsou ze soutěže o vysvětlení původu temné hmoty s největší pravděpodobností vyřazeny.

První pozorovaná srážka kup galaxií. Nahoře je zobrazení galaktické dvojkupy 1E0657-558 (Kupa střela) ve viditelné oblasti spektra. Jsou vidět dvě koncentrace svítících bodů - větší nalevo a menší napravo. Modrými křížky jsou vyznačena místa maximální koncentrace dvou plynných oblaků spojených s kupami, které jsou pak dobře vidět na snímku v rentgenové oblasti dole. Na obou obrázcích je pak vyznačen zelenými čarami průběh intenzity gravitace. Bílá úsečka na obrázcích vpravo dole vyznačuje měřítko vzdáleností v kupě (reprezentuje 200 kpc = 652 000 světelných let)

Co řeknou k původu temné hmoty srážky kup galaxií?

Zatím jsme prezentovali pouze gravitační projevy, které signalizují existenci temné hmoty. Daly by se tedy vysvětlit i tím, že gravitační teorie, které využíváme, nejsou dostatečně správné a přesné. Kdyby intenzita gravitačního pole klesala ve velkých vzdálenostech se vzdáleností pomaleji, než předpovídá Newtonova nebo Einsteinova teorie gravitace, dala by se popsána pozorování vysvětlit jejich modifikací. A takové modifikace (například MOND – Modified Newtonian Dynamics) byly navrženy a zkoumány.

Z možnosti vysvětlit temnou hmotu je však nejspíše s konečnou platností vyřadilo pozorování srážky kup galaxií, které se podařilo v roce 2006. K tomu, abychom mohli zjistit, zda je jev temné hmoty způsoben nepřesností popisu gravitace nebo existencí neznámé formy jen velmi slabě interagující hmoty, je potřeba normální a temnou hmotu od sebe oddělit v nějakém procesu, kde je významným činitelem i jiná interakce, než gravitace. A právě k tomu dochází při srážkách kup galaxií. Můžete modifikovat rychlost ubývání intenzity gravitačního pole se vzdáleností, ale **těžko je možné přesunout maximum gravitace mimo místo s maximem koncentrace hmotnosti.**

Jiné zobrazení výsledků měření Kupy střela. Na fotografii kupy galaxií ve viditelném spektru je fialovou barvou zobrazeno rozložení horkého plynu získané rentgenovskou sondou Chandra a modrou polohu maxima intenzity gravitačního pole získané ze slabého čokování. (Zdroj NASA).

Než přistoupíme k vysvětlení principu důkazu, musíme si připomenout, z čeho se kupa galaxií skládá. Především jsou to galaxie, které jsou vůči rozměrům kupy malé a kompaktní. Při srážce je velmi malá pravděpodobnost, že se dvě galaxie srazí. Zároveň jsou tak kompaktní, že řídký mezigalaktický plyn nemůže jejich pohyb zbrzdit. **Pohyb galaxií je tak ovlivněn pouze gravitační interakcí.** A tento pohyb, který pozorujeme, má nerelativistické rychlosti a proto fyzika používá k vyhodnocení „obyčejného Newtona“ a...a bohužel do něho dosazuje za vzdálenost mezi objekty tu, jenž je přímá namísto vzdálenost v oblouku, vzdálenost která kopíruje samotnou křivost časoprostoru na velkých škálách **$F = G \cdot M \cdot m / r^2$**

Druhou složkou je mezigalaktický plyn. Ten je sice extrémně řídký, ale při obrovských rozměrech kupy galaxií je jeho hmotnost téměř o řád větší než hmotnost galaxií v kupě. Plyn z jedné kupy pak při srážce interaguje elektrickými silami s plynem z druhé kupy. Plyn se tak vzájemným třením zpomaluje a opožďuje se za galaxiemi. Zároveň se třením ohřívá a vzniká velmi horký plyn, který září v rentgenovské oblasti spektra.

Třetí složkou by pak v případě její existence měla být temná hmota. Ta interaguje extrémně slabě a při srážce se tak pohybuje stejně jako galaxie pouze pod vlivem gravitace. Pokud existuje, tak by jí mělo být až skoro o řád více než normální hmoty kupy (hlavně plynu). Bude tedy tvořit největší část hmotnosti kupy.

Další srážka kup galaxií. Tentokrát kupa MACS J0025.4-1222 ve vzdálenosti 5,7 miliard světelných let. Opět fialově vyznačeno rozložení plynu získané rentgenovským satelitem Chandra a modře výsledky měření intenzity gravitačního pole čočkováním. (Zdroj NASA).

Pokud dokážeme určit, jaké je rozložení intenzity gravitačního pole u kup po srážce, je možné zjistit, zda temná hmota existuje, či ne. Pokud existuje, musí být nejvíce hmotnosti a maximum intenzity gravitačního pole v místě, kde jsou galaxie a tedy i temná hmota. Pokud neexistuje a **vše je způsobeno nepřesností našeho popisu gravitace**, musí být maximum hmotnosti a centrum intenzity gravitačního pole v místě, kde je horký plyn.

Prvním pozorovaným výsledkem srážky dvojice kup galaxií byla dvojkupa 1E0657-558. Dnes označována jako „Bullet cluster“ (česky Kupa kulka nebo Kupa střela). Polohy galaxií byly určeny na fotografiích z velkých dalekohledů včetně Hubblova teleskopu, pomocí snímků ve viditelném oboru bylo také pomocí slabého čočkování určeno rozložení intenzity gravitačního pole. Poloha horkého plynu pak byla zjištěna pomocí snímků rentgenovského satelitu Chandra. Jak je vidět na fotografiích, jsou maxima intenzity gravitačního pole koncentrována do míst, kde jsou také galaxie a horký plyn zůstal daleko za nimi. **Je tak jasné, že výsledek srážky kupy galaxií nelze vysvětlit pomocí modifikace popisu gravitace lze !!!** když do Newtona dosadíte úsečku mezi tělesy nikoliv přímkou, ale v oblouku ale pouze existencí neznámé slabě interagující formy hmoty.

Další kupy galaxií po srážce. Tentokrát jde o kupu DLSCl J0916.2+2951, která dostala název Perryho kupa nebo také Kupa kulka z muškety. Opět červeně je vyznačena poloha horkého plynu a modrou maxima intenzity gravitačního pole. (Zdroj NASA).

Později se podařilo najít několik dalších následků podobných srážek dvou kup galaxií, které jsou ukázány na dalších fotografiích. Podrobnější popis je v [dřívějším článku](#) pro Osla. Všechny byly v zásadě ve shodě s pozorováním u Kupy kulka. I když třeba v případě Kupy kulka z muškety je možné interpretovat pozorování i zavedením jisté vzájemné interakce mezi temnou hmotou. **Zatím jsou však takové závěry v daném případě ještě dost předčasné.** I tak však ukazují na možnost využít tyto srážky k bližšímu poznání vlastností temné hmoty. Ještě daleko komplikovanější je interpretace srážky čtyř malých kup Abell 2744. I v tomto případě však lze pozorovaná data vysvětlit pomocí existence temné hmoty **jistě, ale také je lze vysvětlit dosazením do Newtona úsečky v oblouku** http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/aa/aa_031.jpg a separace jednotlivých složek hmoty zúčastněných čtyř kup galaxií.

Že vše nemusí být úplně snadné, se ukázalo u kupy Abell 520. Tam jde také o značně složitou srážku. Zpočátku se zdálo, že v některých oblastech, které vykazují relativně intenzivní čočkování, je vidět poměrně malý počet galaxií. **Nastaly tak problémy s interpretací**

naměřených dat. (!) Pozdější intenzivní snímkování velkými dalekohledy zjistilo, že část galaxií je zakrytá plynem a jejich světlo je zeslabeno a interpretace pozorování je komplikována složitou třírozměrnou geometrií vzniklého útvaru. Komplexnější analýzy tak naznačují, že by se měl dát vzniklý útvar a rozložení různých komponent hmoty interpretovat v modelu zahrnujícím temnou hmotu.

Útvar Abell 2744, který je srážkou čtveřice malých kup galaxií, rozložení plynu, galaxií i intenzity gravitačního pole je tak komplikovanější. (Zdroj NASA)

Hledání dalších kup galaxií je velmi důležité nejen z hlediska dalšího potvrzování toho, že temnou hmotu nelze vysvětlit modifikací gravitačních teorií, ale pouze existencí nové formy velmi slabě interagující hmoty. Přesná analýza rozložení různých forem hmoty by nám mohla v principu přinést i důležité informace o povaze temné hmoty, její vzájemné interakci a jejím rozložení.

Srážky kup galaxií téměř jistě prokazují nemožnost vysvětlení fenoménu temné hmoty modifikací gravitačních teorií. Její podstatou jsou tak s největší pravděpodobností neznámé jen velmi slabě interagující částice. Stávají se tak přímým důkazem existence neznámé formy hmoty, kterou nezahrnuje Standardní model částic a interakcí, a tedy významným krokem k nové fyzice.

Objekt Abell 520 vzniklý komplikovanou srážkou kup galaxií, u kterého se objevily problémy s interpretací pozorovaných dat. (Zdroj NASA).

Další jevy, kde se projevují příznaky temné hmoty

Než se podíváme, jaké částice by mohly temnou hmotu tvořit, ukažme si ještě několik procesů, ve kterých dochází také k oddělení reakce normální a temné hmoty. Prvním je evoluce různých typů galaxií i kup galaxií. Tím, že se díváme do velkých vzdáleností vesmíru, odkud světlo letí stovky milionů až miliardy let, získáváme pohled na různé staré galaxie a na časový vývoj různých jejích typů. **Pro simulaci vývoje se vypracovávají modely** a ty ukazují, že **pozorovaný průběh nelze vysvětlit jinak**, než s uvažováním existence temné hmoty. **Lze vysvětlit jinak když započítáte globální i lokální různost křivosti čp... Problém** ovšem je, že příslušné interpretace jsou silně modelově závislé. Zajímavé je, že pro nejlépe sedící modely **je potřeba** mít dva různé typy temné hmoty. **A už je to tady...spekulace a bujná fantazie, namísto prozkoumání jak globální křivost ovlivňuje „pozorovací hodnoty“ v našich přístrojích...** Prvním je chladná temná hmota, která je složena s těžkých částic. Te je potřeba hodně. Kromě ní je však třeba i slabá příměs horké temné hmoty, což jsou částice, které jsou extrémně lehké a pohybují se rychlostí blízkou rychlosti světla. Podobně je to s modely vývoje kup galaxií.

Stejně tak je potřeba temná hmota pro vysvětlení vzniku velkoškálové struktury vesmíru, která je poměrně složitá. **Dokud neprozkoumáte vliv křivosti časoprostoru na velkých škálách i v lokálních útvech – galaxiích) tak se vám nebude dařit...** Pozorovatelné jsou velké bubliny, uvnitř nichž je prázdnější prostor a kupy galaxií se koncentrují na styku těchto bublin. **I to souvisí s vývojem Vesmíru, který byl po Třesku „pěnovitý“ a chaotičnost**

postupně dostávala řád podle principů střídání symetrií s asymetriemi. Přičemž se vyloučily některé křivosti, neprosadily se do posloupnosti a jiné do posloupnosti postoupily (((proč a podle čeho, to nevím !))) V modelech, které simulují vznik této struktury, se také nelze obejít bez temné hmoty. Každý model je manipulovatelný tam kam ho chceme-chete. Ve stěnách buněk by se měla koncentrovat právě temná hmota.

Vyobrazení rozložení galaxií pozorovaných SDSS. Je patrné, že galaxie nevyplňují celý prostor a tvoří velkoškálovou strukturu. Zdroj SDSS.

Bez temné hmoty nelze vysvětlit ani přesný průběh primordiální nukleosyntézy a zastoupení lehkých prvků vzniklých na počátku vývoje vesmíru. Proč ??? Proč ne, protože jste si postavili model pouze jeden a právě takový který vám „vyhovuje“ ??? Experimentální zastoupení v jakémž experimentu ?????????? helia 4 a deuteronu ukazuje na podíl klasické baryonové hmoty kolem 5 %.

Přesný podíl klasické baryonové hmoty a temné hmoty lze určit ze studia reliktního záření. Jenže i reliktní záření může být ovlivněno globální křivostí čp. V každé dejinné době má globální vesmír jinou křivost. Křivosti jsou „do sebe vnořeny“ Každá „daná“ křivost je vnořena do jiné křivosti a ty obě jsou vnořeny do jiných křivostí ...atd. Časoprostor je už takový, že různé stavy křivostí jsou „do sebe vnořovány“ a **koexistují** Velice důležitým zdrojem informací je analýza úhlových fluktuací teploty reliktního záření. Ty v sobě nesou informace o původních fluktuacích hustoty. Naměřená amplituda spektra fluktuací je příliš malá, aby se dala současná struktura vesmíru vysvětlit pouze pomocí baryonové hmoty a záření. Musí tak existovat slabě interagující částice a z průběhu spektra fluktuací lze určit jejich podíl. Zatím nejpresnější série měření byla provedena sondou Planck. Z jejich měření vychází zastoupení normální baryonové hmoty 4,9 %, zastoupení temné hmoty 26,8 % a zbytek je ještě záhadnější forma hmoty tzv. temná energie.

Fluktuace teploty reliktního záření rekonstruované pomocí sondy Planck (zdroj NASA).

Popsaná pozorování jsou silnými, i když nepřímými, důkazy pro existenci temné hmoty. Je však třeba znovu připomenout, že v případech uvedených v této části se jedná o modelově závislé interpretace. Ve svém souhrnu a v součinnosti s předchozími pozorováními srážek kup galaxií a analýzami pohybu hvězd v galaxiích a galaxií v kupách se jedná o opravdu silné důkazy existence neznámé formy hmoty. Podívejme se tak, jak vypadá stav lovu a identifikace částic této hmoty.

Hon na částice temné hmoty

Jak už bylo zmíněno, uvažuje se o dvou druzích temné hmoty. Chladná temná hmota je složena z těžkých částic. Mezi hlavní kandidáty patří hypotetičtí supersymetričtí partneři částic Standardního modelu, které předpovídají teorie velkého sjednocení interakcí. Horkou

temnou hmotu by měly tvořit částice s extrémně malou hmotností. Ze známých částic by se mohlo jednat o neutrino (v daném případě o reliktní neutrino), další možností jsou například axiony. Podrobnější populární přehled prokázaných i hypotetických částic, z nichž některé mohou být kandidáty na temnou hmotu, je [zde](#).

Ze známých částic mohou na účast ve vysvětlování původu temné hmoty aspirovat pouze neutrino. V současné době je však jasné, že kvůli své nízké hmotnosti by mohly vysvětlit jen horkou temnou hmotu a jen velmi malou část hmotnosti temné hmoty. Muselo by jít o reliktní neutrino, která mají teplotu 1,9 K. Teplota pak určuje rozložení rychlostí neutrin. Jejich střední kvadratická rychlost v případě hmotnosti neutrina $2 \text{ eV}/c^2$ je 5000 km/s. Jak už bylo zmíněno, úniková rychlost z galaxií je v řádu stovek kilometrů za sekundu a i z kup galaxií by neutrino unikla. Je tak jasné, že nemohou vysvětlit většinu pozorovaných jevů spojených s temnou hmotou. Zároveň je třeba připomenout, že z kosmologických modelů a pozorovaných parametrů našeho vesmíru plyne, že hmotnost neutrina je nižší než $0,3 \text{ eV}/c^2$. Modelově nezávislé určení hmotnosti neutrina však je možné pomocí měření spektra elektronů například v rozpadu tritia. O tom, jak se to provádí, je podrobně [zde](#).

Takže se musíme poohlédnout po zatím hypotetických částicích a pokusit se je ulovit. K tomu máme v podstatě dvě možnosti. První je využít toho, že částice temné hmoty mohou při setkání částice a antičástice anihilovat. Případně nemusí být úplně stabilní a mohou se rozpadat na částice Standardního modelu, které by se detekovaly. Druhou možností je detekce pomocí rozptylu částice temné hmoty na jádře nebo částici normální hmoty.

Spektrometr AMS 02 na stanici ISS (zdroj NASA).

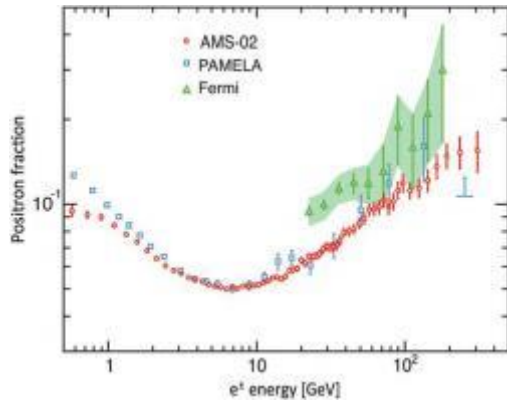
Detekce produktů anihilace či rozpadu částic temné hmoty

Pokud by byla částicemi temné hmoty nejlehčí supersymetrický partner známých částic, musí jít o neutrální částici. Jinak by byla zachytitelná pomocí elektromagnetické interakce. Tato částice sice bude mít extrémně dlouhý poločas rozpadu, ale úplně stabilní nebude. Vzhledem k tomu, že jimi bude vyplněn celý vesmír a v galaxiích jich bude vysoká koncentrace, mohlo by se podařit zachytit produkty jejího rozpadu. Rozpadat by se mohla na dva fotony nebo na páry částice a antičástice. Například na pár neutrino a antineutrino, což je vzhledem k velmi slabé interakci neutrina s hmotou pro detekci problém. Další možností je rozpad na elektron a pozitron. Rozpad na proton a antiproton by mohl nastat jen pro částice temné hmoty s velmi vysokou hmotností. Největší snahy se tak ubírají do oblasti detekce záření gama a pozitronů. To by mohly být i produkty anihilace částic temné hmoty.

Hledají se tak přebytky v počtu fotonů záření gama či pozitronů v nějaké oblasti energií přilétajících z vesmíru z míst, kde by se temná hmota mohla koncentrovat. K detekci se využívají satelity pro detekci záření gama. V současné době je nejvýkonnější družice pro detekci záření gama Fermi. Občas se objeví sice náznaky záhadného zdroje záření gama, ale

zatím nebyl potvrzen žádný kandidát na detekci produktů rozpadu či anihilace částic temné hmoty.

[Zvětšit obrázek](#)



Pozorování poměru počtu pozitronů k elektronům v závislosti na jejich energii zjištěná pomocí tří různých vesmírných přístrojů (zdroj *Phys. Rev. Lett.* 110 141102)

V oblasti detekce pozitronů jsou velice zajímavé výsledky z družice PAMELA a ze spektrometru AMS na vesmírné stanici ISS. V posledních letech se totiž podařilo pomocí těchto zařízení pozorovat záhadný přebytek v intenzitě pozitronů s vysokou energií, které přilétají z vesmíru. Podle předpokladů by mělo množství pozitronů pro vyšší energie s energií rychle klesat. Družice PAMELA pozorovala nárůst poměru počtu pozitronů vůči počtu elektronů pro energie větší než 10 GeV. Pozitrony přicházejí z celé oblohy a nemají definovaný zdroj. Tento objev publikovali fyzikové, pracující s tímto zařízením, v roce 2008. Později byl potvrzen už zmíněnou laboratoří FERMI pro detekci záření gama. Detekční systém laboratoře FERMI totiž detekuje záření gama pomocí detekce páru elektronu a pozitronu, který vznikne přeměnou z fotonu gama. Může tak pochopitelně detekovat i pozitrony a elektrony vznikající jiným způsobem. Nyní potvrdil přebytek pozitronů i spektrometrem AMS na vesmírné stanici ISS. A změřil jeho průběh v závislosti na energii přesněji a i pro vyšší energie pozitronů.

Vysvětlení tohoto přebytku pomocí anihilace částic temné hmoty je však spíše nepravděpodobné, protože by muselo jít o částice se značně vysokou hmotností a nejsou pozorovány antiprotony, které by měly při takové anihilaci také vznikat. Kromě možnosti, že jsou zdrojem pulsary, je i několik dalších možných klasičtějších vysvětlení. Navíc se ukazuje, že by množství pozitronů mohlo být vysvětleno i jako produkt interakce částic kosmického záření s jádry plynu v mezihvězdném prostoru Galaxie. V každém případě budou zajímavá další data, která naměří AMS. Měla by umožnit určit množství pozitronů pro ještě vyšší energie než doposud. V případě, že by šlo o produkt rozpadu částice temné hmoty, měl by přebytek pozitronů pro energie vyšší, než odpovídají hmotnosti této částice začít klesat. A jisté náznaky zpomalení růstu jsou v datech AMS už nyní. Naděje, že by mohlo jít o produkt pocházející z temné hmoty, tak ještě nejsou úplně ztraceny.

Polovodičové detektory experimentu CDMS (zdroj CDMS).

Snahu o detekci produktů anihilace nebo rozpadu těžkých částic temné hmoty vyvíjejí i pozemní detektory vysokoenergetického kosmického záření, gama i neutrin. A také balónové experimenty detekující nabitě částice i gama záření z vesmíru.

Podzemní lov těžkých částic temné hmoty

V tomto případě je snaha detekovat rozptyl těžké extrémně slabě interagující částice s atomovým jádrem. Je třeba si uvědomit, že temná hmota je velmi chladná a kinetické energie částic temné hmoty by tak měly být velmi malé. I odražené jádro, které při rozptylu obdrží část energie částice temné hmoty, bude mít velmi malou kinetickou energii. Detektor tak musí být chlazen na velmi nízké teploty. Pro představu se podívejme na dva v současnosti fungující experimenty.

Prvním je experiment CDMS (Cryogenic Dark Matter Search), který využívá dva typy polovodičových detektorů. Prvním typem jsou křemíkové detektory, které jsou citlivější pro částice s hmotností v jednotkách GeV/c^2 , tedy násobku hmotnosti protonu. Druhým pak germaniové detektory, které jsou citlivější v oblasti hmotností větších než $15 \text{ GeV}/c^2$. Detektory jsou chlazeny tekutým héliem na teplotu 40 mK a jsou umístěny v podzemí dolu Soudan v severní Minnesotě (USA).

A právě na základě měření pomocí křemíkového detektoru ohlásil experiment CDMS v minulém roce možnou detekci částic temné hmoty. Dosažená statistika měření se udává v součinu doby měření a hmotnosti citlivého objemu daného detektoru. Podařilo se získat 140 kg-den měření. Během této doby zaznamenal detektor tři případy, které by mohly být interpretovány, jako rozptyl částice temné hmoty na jádře. Je však třeba zmínit, že jako rozptyl částice temné hmoty může být interpretován i jiný proces, například rozptyl neutronu nebo jiné vzniklé při interakci částic kosmického záření nebo produkované radioaktivními rozpady. Proto se tyto experimenty provádějí hluboko v podzemí a je snaha snížit co nejvíce přirozenou radioaktivitu v jeho okolí. Toto pozadí bylo v daném případě odhadnuto na necelý jeden případ. Máme tak dva případy nad pozadím. To je však pro tak malý počet pozorovaných případů statisticky nepříliš signifikantní. Pokud by však dané případy byly reálné, jednalo by se o částice temné hmoty s hmotností $8,6 \text{ GeV}/c^2$ (tedy zhruba devíti hmotností protonu) a pravděpodobnosti interakce v řádu pravděpodobnosti interakcí neutrina.

Další experiment LUX (Large Underground Xenon experiment) je umístěn 1,5 km pod zemí ve zlatém dole Homestake v Jižní Dakotě (USA). Je to důl, ve kterém provedl své experimenty s detekcí slunečních neutrin [Raymond Davis](#). V tomto případě jde o detektor, který se označuje jako časově projekční komora. Je to typ detektoru, který umožňuje třírozměrné zobrazení dráhy nabitě částice. V uzavřeném objemu je umístěno 368 kg kapalného ultračistého xenonu. Ten je scintilačním materiálem. Odražené jádro ionizuje a zároveň i excituje stavy, které se vybíjejí vyzářením fotonů světla (v ultrafialové oblasti spektra). Toto světlo se zachycuje fotonásobiči. Zároveň také elektrony vzniklé ionizací

driftují v elektrickém poli, do kterého je citlivý objem detektoru umístěn. Z místa, kam dopadne světlo, a z času driftu elektronů, se získá umístění dráhy odraženého jádra v prostoru. Z důvodů odstínění od případů pozadí, třeba právě rozptylu neutronů, se pro hledání rozptylu částic temné hmoty využívá pouze centrální oblast detektoru. Vnější oblasti fungují jako aktivní stínění.

Tento experiment je citlivější než předchozí a v první sérii měření, která probíhala 85 dní, nezaznamenal žádný případ, který by mohl být interpretován jako rozptyl částice temné hmoty. To v podstatě vylučuje, aby výsledek měření křemíkového detektoru experimentu LUX souvisel s částicemi temné hmoty. Nyní začala nová perioda měření, která bude probíhat až do roku 2015. Při ní se nabere násobná statistika a třeba se podaří už konečně částice temné hmoty ulovit.

Lov lehkých částic

Předchozí experimenty jsou zaměřeny na těžké částice temné hmoty. Další experiment je zaměřen na detekci axionů. To jsou hypotetické částice, které by měly mít extrémně malé hmotnosti. Mohly by tvořit horkou temnou hmotu. Při jejich přeměně (rozpadu) by vznikaly fotony s velmi malou energií a vlnovou délkou v oblasti mikrovlnného záření. Taková přeměna však je v normální situaci extrémně málo pravděpodobná. Je však možné ji iniciovat pomocí velmi intenzivního magnetického pole. To musí být v oblasti několika Tesla a je potřeba tak použít supravodivé magnety.

Jako příklad takového experimentu může sloužit detektor ADMX (Axion Dark Matter eXperiment). Zde se využívá supravodivý magnet umožňující dosáhnout pole 8 T. V tomto poli je umístěna rezonanční dutina generující vysokofrekvenční pole, jehož frekvence musí odpovídat hmotnosti axionu. Hledají se axiony s hmotností mezi jednotkami a desítkami mikroelektronvoltů. Velmi slabá interakce axionu s magnetickým polem může vést k jeho přeměně na fotony mikrovlnného záření. Detekce se provádí velice citlivým supravodivým zesilovačem (SQUID).

Existuje několik podobných experimentů, které hledají axiony různých hmotností a původu. Jeden z nich pracoval i v laboratoři CERN, kde využíval jeden z magnetů vyrobených pro LHC.

Co nám o nové fyzice řekl LHC?

Urychlovač LHC má za sebou úspěšný lov Higgsova bosonu, který vedl k [Nobelově ceně za rok 2013](#). Autoři předpovědi existence této částice na ní museli čekat téměř půl století. Dosavadní zjištěné a studované vlastnosti tohoto bosonu plně odpovídají předpovědím Standardního modelu částic a interakcí. Také další pozorování i velice vzácných a exotických reakcí a rozpadů částic složených z těžkých kvarků **b** a **c** plně odpovídají předpovědím Standardního modelu. Jeho předpovědím odpovídá i chování nejtěžšího kvarku **t**, který vznikal před LHC pouze na Tevatronu a nyní jej LHC produkuje v nebývalém množství. Prostě Standardní model je extrémně úspěšný a žádná nová fyzika za ním se zatím na LHC nepozoruje (přehled výsledků LHC za tři roky provozu je [zde](#)).

Vědci doufali, že by se jim mohlo případně podařit vytvořit na LHC supersymetrické částice. Nejlehčí z nich, která by mohla tvořit temnou hmotu, by musela být neutrální. Ale těžší by už byly i nabitě a s jejich detekcí by experimenty na LHC neměly problém. I ta nejlehčí neutrální by se dala ulovit. Stejně jako neutrino, která také detektorům na LHC unikají, by se projevila chybějící energií a hybností. To, že žádné takové částice se zatím na LHC neukázaly, znamená, že v případě jejich existence je jejich hmotnost větší, než je ta dosažitelná pomocí tohoto urychlovače.

[Zvětšit obrázek](#)



Před padesáti lety byla předpovězena existence kvarků, cesta pro jejich přijetí nebyla lehká. O tom může hodně říci třeba George Zweig, který v loňském roce navštívil CERN. Třeba nás čeká v oblasti temné hmoty podobný průlom. (Zdroj CERN, fotil Panagiotis Charitos)

I v případě, že hmotnost supersymetrických částic bude vyšší než maximum dosažitelné na LHC, je možné se o nich případně dozvědět. Kvantová fyzika způsobuje, že v případě své existence ovlivňují vlastnosti pozorovaných částic a procesů. Například jejich hmotnosti, poločasy rozpadu, pravděpodobnosti různých typů procesů. Týká se to hlavně částic s velkými hmotnostmi a procesů, které jsou velice málo pravděpodobné. Právě existence supersymetrických částic by mohla být zdrojem odchylek od předpovědi Standardního modelu a studiem těchto odchylek by bylo možné zjistit jejich vlastnosti. Jak už však bylo zmíněno, experimenty na urychlovači LHC zatím žádnou novou fyziku, která by se projevila odchylkami od předpovědi Standardního modelu, nepozorovaly. To může být známkou toho, že hmotnost nových částic je o hodně větší, než je dosah nejen LHC ale i značně větších urychlovačů.

Data získaná z prvních tří let provozu urychlovače LHC se stále analyzují. Dochází ke zpřesňování informací o stále exotičtějším reakcích a rozpadech, zpřesňují se parametry těžkých částic, jako jsou b a t kvarky nebo W^+ , W^- a Z^0 bosony. Již za rok by se měl urychlovač znovu spustit při vyšších energiích i intenzitách svazku. Je tak naděje, že se známky nové fyziky přece jen podaří objevit a mezi nimi se jako klenot vyloupne i informace o částici temné hmoty. Nyní však nelze předpovědět, zda k tomu opravdu dojde.

Při vzpomínce padesátého výročí předpovědi existence kvarků nelze zapomenout na Murraye Gell-Manna. Ten navštívil v loňském roce CERN také. V pozadí experiment ATLAS, který ulovil Higgse a hledá také stopy částic, které by mohly být zodpovědné za temnou hmotu. (Zdroj CERN, fotografoval Maximilien Brice).

Závěr

V článku jsem se pokusil nastínit současný stav znalostí o fenoménu temné hmoty. Ten se projevuje v celé řadě procesů, které v našem vesmíru pozorujeme. Pro závěr, že se jedná o neznámý druh velmi slabě interagující hmoty a nelze jej vysvětlit pomocí modifikace teorií gravitace, existuje celá řada nepřímých důkazů a jeden velmi zásadní. Tím je průběh srážek kup galaxií. Experimentální data z různých oblastí jsou poměrně konzistentní a naznačují, že normální baryonové hmoty je ve vesmíru pouze okolo 5 % a temné hmoty pak okolo 27 %, zbytek by pak měl být tvořen temnou energií. Na druhé straně je však třeba přiznat, že experimentální nejistoty a nejasnosti ani v této oblasti úplně nevylučují překvapení.

Velmi vzdálené galaxie v Hubbleově teleskopu. Jaká překvapení nás čekají při cestě za pochopením struktury a vývoje vesmíru? Patří do něj temná hmota? A jaké částice ji tvoří? Kdy to zjistíme? (zdroj NASA, Hubble).

Otázka, jaké částice za temnou hmotou stojí, je však úplně otevřená a zatím se v této otázce žádný průlom nepodařil. Zde jsou dveře pro překvapení otevřeny dokořán. Ve světě pracuje řada experimentů, které by nám je mohly přinést. Máme se tak v příštích letech určitě na co těšit a i na stránkách Osla se tato témata bude určitě objevovat často.

Autor: Vladimír Wagner

Datum:20.01.2014 v 20:1