



České poklady v ohrožení

Na M. Bursíka, ministra životního prostředí, se obrátila skupina zoologů a biologů s varováním, že americká radarová základna v Brdech může znamenat zkázu pro tamní vzácné druhy živočichů a rostlin. Armáda přitom až dosud tvrdila, že nic podobného nehrozí.



Miliarda stromů pro Zemi

Tak zní název kampaně, kterou vyhlásila OSN. Cílem je do konce roku 2009 vysadit alespoň 6,7 miliard stromů, tedy za každého obyvatele Země jeden. Vloni byly vysazeny přes 2,5 miliardy, z toho 133 tisíců přispěla Česká republika.

Svět technika nejlehčí částice vesmíru



Vakuová komora spektrometru KATRIN při přesunu na souši. Má průměr 10 metrů a délku 23 metrů. Jde o komoru se zcela mimořádnými požadavky na těsnost. Dírka o průměru lidského vlasu v tomto válci by znemožnila dosáhnout v něm ultravysokého vakua a celý experiment by ztroskotal



Do nitra hmoty

S fyzikem Otokarem Dragounem o hledání, měření a významu **nejlehčích částic vesmíru a účasti českých vědců** na mezinárodním projektu KATRIN

? Ve škole jsme se učili, že atom má jádro a obal. V jádru jsou kladně nabití protony a neutrální neutrony, obal tvoří záporně nabití elektrony. Je tato představa dodnes správná?

To si pamatujete dobře. Je ale třeba si uvědomit, že atomové jádro je velice malé ve srovnání s atomem a je v něm soustředěna téměř všechna hmota. Elektrony běhají okolo něj a jsou mnohem lehčí. Atomové jádro se skládá z protonů a neutronů, o nichž si lidé dříve mysleli, že to jsou nejzákladnější částice. Dnes víme, že tyto dvě částice se skládají z ještě menších, kterým se říká kvarky, ale ty s naším experimentem přímo nesouvisí. Naopak velmi úzce s ním souvisí částice beta, s nimiž se setkáváme při zkoumání radioaktivity. Jde o elektrony, které se narodí v atomovém jádru

v okamžiku, kdy se radioaktivní jádro samovolně přeměňuje z jednoho prvku na druhý.

? Mluvme přímo o vašem experimentu. Zkoumáte takzvané neutrino, které je nejmenší částíčkou hmoty. Jak neutrino zapadá do modelu atomu, který jsme si popsali?

To se musíme vrátit trochu do historie. Když bylo objeveno záření beta, fyzikové si mysleli, že při rozpadu určitého radioaktivního izotopu budou mít všechny vzniklé částice beta stejnou energii, čili jejich spektrum bude „monoenergetické“. Při jiných typech rozpadu částice opravdu všechny stejnou energii mají. Ale beta rozpad nám připravil překvapení, protože každá částice měla energii jinou. Jinak řečeno, spektrum těchto částic je spojitě. Na

začátku 20. století to byla obrovská záhada. I někteří největší fyzikové tehdy začali pochybovat o tom, jestli v mikrosvětě při rozpadu radioaktivních atomů vůbec platí zákon zachování energie, na němž stojí velká část fyziky. Pochybnosti vyvrcholily v roce 1930, kdy se švýcarský teoretický fyzik Wolfgang Pauli pokusil záhadu vyřešit tím, že si představil, že kromě tehdy známých protonů a elektronů by mohla existovat ještě jedna hypotetická částice, kterou je právě neutrino. V té době zbývaly ještě dva roky do objevu neutronu. Sám Pauli označil svoji hypotézu za zoufalý pokus o záchranu zákona zachování energie.

? Neutrino tedy bylo předpovězeno ještě před objevem neutronu. Mají spolu tyto dvě částice něco společného, když už se tak podobně nazývají?

Jakkoliv byl Pauli geniální, chtěl od neutrin příliš mnoho. Po objevu neutronu se ukázalo, že řada nepochopitelných jevů v atomu se dá vysvětlit tím, že si neutrony představíme uvnitř jádra vedle protonů. Jen některé záhady pak dostalo za úkol vyřešit Pauliho neutrino. To ale byla stále těžká úloha, protože se ukázalo, že neutrino se pravděpodobně vůbec nepodaří detekovat. Proto Pauli naříkal: „Udělal jsem to, co by teoretik nikdy udělat neměl. Nevysvětlitelné jsem se pokusil nahradit nepozorovatelným.“



Medvěd pod ochranou

Lední medvěd se dostal na seznam ohrožených druhů zvířat. Rozhodlo o tom americké ministerstvo vnitra na základě analýzy dokládající úbytek medvědů. Podle odborníků do roku 2050 vymřou dvě třetiny světové populace ledních medvědů.



Srdce ze zkumavky

Mezinárodní tým vědců vypěstoval pomocí embryonálních kmenových buněk specializované buňky srdce, které začaly v laboratoři samy od sebe tepat. Jednou by snad mohly být použity například jako „záplaty“ na srdce poničené infarktem.

nejlehčí částice vesmíru **technika Svět**

? Takže Pauli definoval neutrino jako velmi malou částici, o níž jinak neměl žádnou konkrétní představu?

Představu měl naopak velikou, ale byly to pouze hypotézy. Především předpokládal, že bude mít nulový elektrický náboj (tedy bude neutrální), protože správně věřil tomu, že zákon zachování elektrického náboje je stejně důležitý a platný jako zákon zachování energie. Dále potřeboval, aby jeho částice byla lehká. Myslel si, že by mohla mít zhruba stejnou hmotnost jako elektron, ale mnohem menší než proton. Představoval si nesprávně, že neutrino uvnitř jádra už jsou a jen čekají na to, aby byla při rozpadu vyslána. Něco jiného však předpokládal Enrico Fermi, vynikající italský experimentátor a teoretik, který vybudoval již v roce 1934 teorii rozpadu beta s uvážením Pauliho neutrina. Tvrdil, že neutrino v atomu není, ale „narodí se“ až v okamžiku rozpadu.

? Můžete nějak jednoduše popsat, co se děje v jádru radioaktivního atomu při jeho rozpadu?

Dobrá, shrňme si to. Máme nestabilní radioaktivní jádro, které se chystá rozpadnout rozpadem beta. Než se rozpadne, jsou uvnitř jádra protony a neutrony. Ve chvíli, kdy proces probíhá, se např. jeden z neutronů změní na proton a při tomhle procesu se „narodí“ nová dvojice – částice beta a neutrino (přesněji antineutrino). Tyto dvě částice tam předtím nebyly.

Ted si musíme říct, že ve fyzice platí také zákon zachování hybnosti, což je fyzikální veličina rovná součinu rychlosti a hmotnosti. Kdyby se jádro rozpadalo na dvě části, musí každá z nich mít hybnost, a tudíž i energii stále stejnou. Jakmile se ale rozpadá na tři části, může se energie rozdělit nerovnoměrně. Po rozpadu tedy získáme trojici: dceřiné jádro, částici beta a neutrino. Ty se o rozpadovou energii rozdělí a všechny fyzikální zákony zůstávají zachovány.

Jak je těžké neutrino

Podarilo se vědcům za posledních 60 let, kdy vědí, že neutrino v přírodě skutečně existuje, alespoň zhruba určit, kolik váží?

V mikrosvětě se hmotnost vyjadřuje v energetických jednotkách, abychom nedostávali nesmírně malé veličiny. K tomu se využívá známý Einsteinův vzorec $E=mc^2$. To znamená, že každé hmotnosti přísluší určitá energie. Elektronu, druhé nejlehčí částici, v tomto případě přísluší energie 511 tisíc elektronvoltů. U neutrina zatím známe jen horní mez. Její první hodnota byla v roce 1948 stanovena na asi 5 000 elektronvoltů. V roce 1970 se podařilo švédskému fyzikovi Bergkvistovi snížit tuto hranici na 60 elektronvoltů. Dnes víme, že hmotnost není větší než 2,3 elektronvltu. To znamená, že čtvrt milionu neutrin je lehčí než jeden elektron. Ale do nedávna tady byla stále principiální otázka, jestli hmotnost neutrina není nulová. Žádný fyzikální princip totiž nenařizoval nenulovou hmotnost.

? Dokázal Fermi neutrino už i pozorovat?

Vůbec ne. On vlastně jen řekl: „Má-li Pauli pravdu, bude beta spektrum vypadat takto ...“ Nakonec se ukázalo, že Fermiho teorie byla správná. Souhlas vypočteného spektra s naměřeným pak fyzikové považovali za nepřímý důkaz, že neutrino existuje.

Je třeba mít na paměti, že v přírodních vědách se žádný poznatek nesmí považovat za svatý a nedotknutelný. Platí pouze tehdy, než je v rozporu s nějakým novým spolehlivým měřením. Jakmile se rozpor objeví, musíme se svých představ vzdát. To znamená, že ne nikdy nemůžeme říct, že naše představy a teorie jsou správné. Můžeme pouze některé z nich postupně vylučovat jako nesprávné.

? Je dobré, že to říkáte, protože mnoho lidí má představu, že poznatky exaktních věd platí nevyvratitelně ...

My přírodu poznáváme po malých krocích a musíme být dostatečně pružní, abychom

se dokázali vzdát sebevypoučenějších představ. Filozof Popper poněkud ironicky říká, že naše poznání je soubor dosud nevyvráčených hypotéz.

? Vraťme se ale zpátky k beta rozpadu a neutrinům. Kdy byla definitivně prokázána jejich existence?

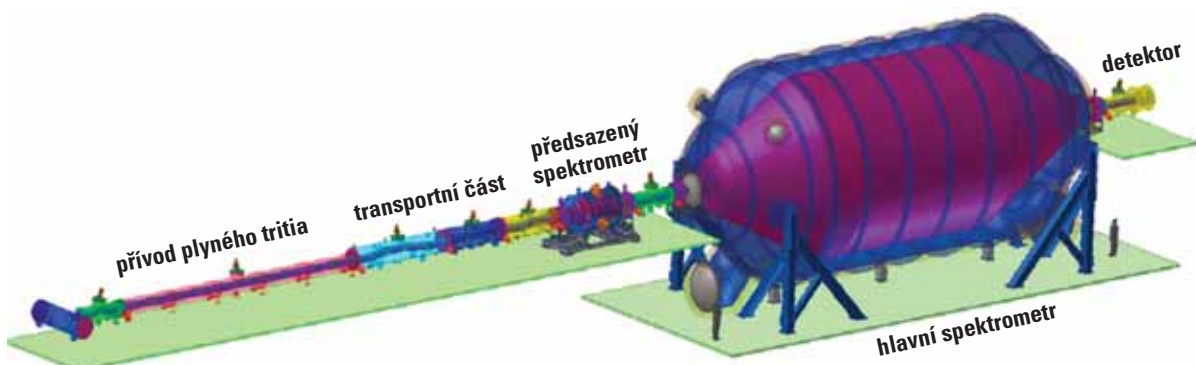
Kvůli jedné vlastnosti, která trápila zejména Pauliho, neutrino fyzikům dlouho unikala. Ukázalo se, že neutrino jsou tak pronikavá, že je prakticky vyloučeno je detekovat. Částice totiž proletí bez nejmenších potíží třeba celou zeměkouli. Trvalo čtvrt století, přesněji do roku 1956, než se americkým fyzikům podařilo prokázat, že neutrino v přírodě opravdu existují a není to jen pomůcka k popsání nějakých procesů.

? Teprve před padesáti lety se tedy neutrino podařilo detekovat?

Ano, díky tomu, že byly k dispozici atomové reaktory, které jsou též mocným zdrojem neutrin. Navíc byly vynalezeny nové citlivé detektory záření, takzvané scintilační, a fyzikové byli dostatečně pilní a tvůrčí. Už v roce 1953 se ukázal určitý efekt na hranici měřitelnosti, a když se přešlo k silnějšímu reaktoru a dokonalejším metodám, byla existence neutrina prokázána.

? Lze popsat, jak neutrino vypadá? Má nějaký stálý tvar, nebo se neustále mění?

Geometrické rozměry v mikrosvětě nejsou tak dobře definované jako ve světě našich rozměrů. My o neutrinech stále ještě nevíme zdaleka všechno. Určitě víme, že v přírodě jsou neutrino tří typů. Elektronové, mionové a tauonové – podle elektronu, mionu a částice tau, což jsou nabití partneři neutrin, s nimiž se v reakcích vyskytují. Dále víme, že neutrino jsou elektricky neutrální, a z toho, v jakých procesech se vyskytují, umíme říct i něco o horní hranici jejich hmotnosti. Hmotnost zatím ale neznáme, i když o její zjištění usiluje už třetí generace fyziků.



Pauli si „vymyslel“ neutrino, aby zachránil zákon zachování hmotnosti. Okomentoval to slovy: „Nevysvětlitelné jsem zkusil vysvětlit nepozorovatelným“

víte že?

Neutrino jsou pro člověka bez jakéhokoliv nebezpečí. Celý život jsme ozařováni obrovským množstvím neutrin ze Slunce. Na každý čtvereční centimetr našeho těla dopadne za vteřinu 60 miliard neutrin, ale stěží jedno či dvě za celý život s ním budou interagovat. Neutrino jsou tedy „laskavé“ částice.

Při měření spektrometrem se neměří neutrino. Měří se částice beta a fyzici spoléhají na zákon zachování energie. Z naměřených vlastností částic beta se pak odvozuje, jak se chovají jejich partneři.

Dříve se lidé domnívali, že atomy jsou neproměnné. V roce 1896 byla objevena radioaktivita – proces, kdy se atom jako nejmenší částice chemického prvku sám od sebe přeměňuje. Tato přeměna probíhá proto, že je energeticky výhodná. V přírodě je to totiž zařízení tak, že energeticky výhodné procesy mohou probíhat samovolně. Někdy rychleji a někdy pomaleji.



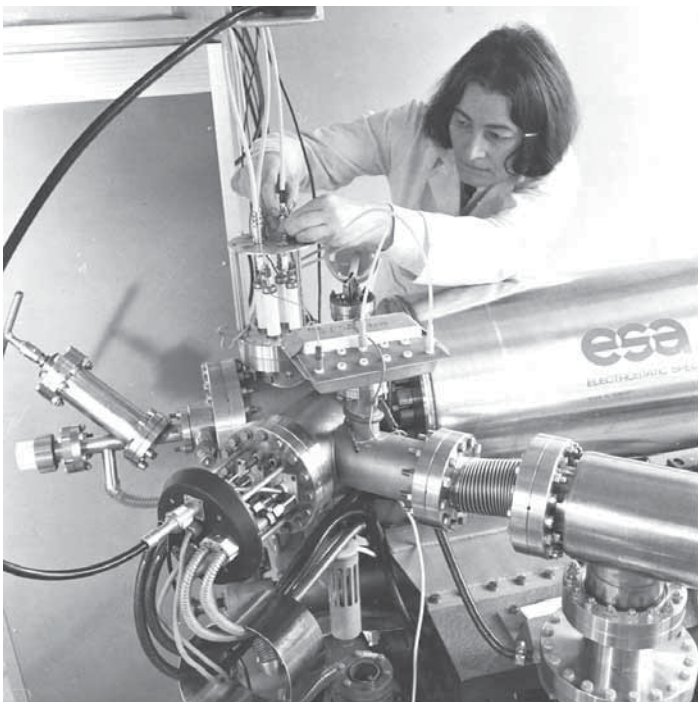
kdo je?

Ing. Otokar Dragoun, DrSc. (* 1937)

Po maturitě na střední průmyslové škole, kde byl jeho oborem fyzikální měřicí přístroje a měření, nastoupil v roce 1956 do Ústavu jaderné fyziky AV ČR. Nejprve byl technikem u spektrometru záření beta a po vystudování jaderné fyziky na pražské ČVUT se zaměřil na výzkum jaderně-atomových jevů elektronovou spektroskopií. V tomto oboru obhájil v roce 1967 kandidátskou práci a v roce 1985 i doktorskou disertační práci. V letech 1966–1969 byl vědeckým hostem Institutu Maxe Plancka pro jadernou fyziku v Heidelbergu a začátkem devadesátých let hostujícím profesorem na Technické univerzitě v Mnichově.

V roce 2001 se jako zástupce Ústavu jaderné fyziky AV ČR stal spoluzakladatelem mezinárodního projektu KATRIN, který má za úkol vybudovat v Karlsruhe obrovský elektronový spektrometr s citlivostí na hmotnost neutrina desetkrát vyšší než mají nejlepší současné přístroje.

Ing. Naděžda Dragounová kontroluje elektrickou část elektronového spektrometru Ústavu jaderné fyziky AV ČR v Řeži



? **Jak se vlastně tato hranice určuje a zpřesňuje?**

Dnes je úroveň měřících metod taková, že kdyby neutrina vážilo jedno procento hmotnosti elektronu, což je druhá nejlehčí částice hmoty, nebylo by těžké vážít je na školách. Ale hmotnost je menší než 1%, což se vědělo už v roce 1948, tedy před důkazem o existenci neutrina. Snaha o zvážení neutrina trvá víc než 60 let.

Bylo zřejmé, že je třeba stavět stále dokonalejší spektrometry, které musí mít určité vlastnosti. Aby spektrometr viděl malou změnu ve tvaru spektra záření beta, způsobenou neutrinem, musí mít vysoké rozlišení. To je jednoduché si představit – když nestačí lupa, je třeba vzít mikroskop. Nejcitlivější část spektra je na jeho horní hranici, kde je malá intenzita. Takže nestačí rozlišení, je potřeba i vysoká světelnost, aby byl vidět i slabý efekt. Všechny detektory mají také nějaké pozadí, šum s rušivými efekty, s nimiž se musí spektrometr také vypořádat, aby malá změna spektra na pozadí nezmizela. Jde tedy zejména o světelnost a vysoké rozlišení. Tyhle dvě základní veličiny jsou však konkurenční. Přístroje buď mají vynikající jen jednu

je sice velká potíž pro jejich detekci, ale je to současně výhodou. Neutrina například proniknou hmotou Slunce i supernovy. Dostatečně citlivými detektory neutrin získáváme nástroj, jak se přesvědčit o struktuře těchto objektů. Neutrina totiž nesou některé informace s sebou. A skutečně už se začínají připravovat i první experimenty k tomu, abychom „prosvítili“ zeměkouli a přesvědčili se, co je uvnitř.

Je možná i praktičtější aplikace. Při provozu jaderného reaktoru vznikají neutrina, která mají určité spektrum. Když to spektrum budete umět dobře změřit, tak poznáte, jestli reaktor pracuje pro účely mírové nebo válečné. Zjistíte, jestli nevyrábí nebezpečné plutonium.

? **Přejdeme k projektu KATRIN, na němž se podílíte. Co má tento projekt vlastně za úkol?**

Mluvili jsme o měření hmotnosti neutrina, o něž usiluje už třetí generace fyziků. Současný nejpřesnější údaj je, že neutrina je lehčí než 2,3 elektronvltu. To je výsledkem měření německých fyziků z Mainz (Mohuče) a ruských fyziků z Troicku u Moskvy. Sestavili přístroj nového

Nikdy nemůžeme říct, že naše představy a teorie jsou v přírodních vědách správné. Můžeme pouze některé z nich postupně vylučovat jako nesprávné

z nich, nebo obě průměrně. A je třeba docílit toho, aby obě byly co nejlepší. Právě na tom pracuje už několik generací fyziků.

? **Mnoho lidí jistě napadne otázka, jak v praxi využijeme to, že neutrina jsou, a k čemu je dobré znát jejich hmotnost. Existuje nějaké praktické využití, nebo si nejmenší částice fyzikové zkoumají jen tak pro vlastní potěšení?**

Výzkum neutrin je součástí výzkumu složení hmoty. Když budeme vědět, z jakých částic a jak se náš svět skládá, budeme z toho jistě mít užitek. Zatím to tak vždy bylo. Naučíme se s hmotou lépe pracovat a využít ji.

Já si ale umím představit užitečnost neutrin i v současné době. Úžasná pronikavost neutrin

typu s lepší kombinací světelnosti a rozlišení. Dostali se ale na hranici svých možností.

Vznikla otázka, jestli je možné a účelné pokusit se o vývoj dokonalejšího přístroje. V roce 2001 se sešla mezinárodní porada expertů nejrůznějších profesí, která to měla posoudit. Porada skončila jednoznačným doporučením, že takový úkol má smysl jak pro poznání elementárních částic, tak i pro astrofyziku (fyzika Slunce a supernov) a studium vesmíru jako celku. Kladně odpověděli i na otázku, zda je to vůbec technicky možné.

? **A jak se k projektu dostali čeští vědci?**

My tady v Ústavu jaderné fyziky Akademie věd máme mnohaletou tradici v přesné spektroskopii elektronů, které se rodí při radioaktivním rozpadu. Proto jsme byli na poradu přivzváni. Řekli jsme, co umíme a jak bychom mohli do takového projektu přispět. Nakonec jsme se stali spoluzakladateli projektu. Takže projekt KATRIN (zkratka Karlsruhe, TRITium, Neutrin) zakládali fyzikové z Německa, USA, Ruska a malá skupina elektronové spektroskopie ÚJF v Řeži u Prahy.

? **Váš ústav je tedy v rámci České republiky ojedinělý svého druhu?**

V oblasti neutrinové fyziky jsou u nás ještě dvě další pracoviště, která neměří beta spektra, ale dělají jiné věci, které s hmotností neutrina souvisejí. Jsou to kolegové z ústavu Technické a experimentální fyziky ČVUT, kteří zkoumají v mezinárodní spolupráci zvláštní druh beta rozpadu. Potom jsou to kolegové z Ústavu částicové a jaderné fyziky Matematicko-fyzikální fakulty UK, kteří se zapojili do čínsko-amerického experimentu, v němž se měří zvláštní vlastnosti neutrin, kterým se říká oscilace. Díky nim se zjistilo, že hmota neutrina je nenulová.

Neutrinová fyzika spadá do oblasti astrofyziky (fyzika částic ve vesmíru). My jsme ve spolupráci s experimentátory z ČVUT a teoretiky z Opavy získali pětiletou podporu od MŠMT na vybu-



? **Nositel Nobelovy ceny Wolfgang Pauli, který se pokusil zachránit zákon zachování energie tím, že si „vymyslel“ neutrinu**

vání Centra experimentální jaderné astrofyziky a jaderné fyziky (viz ojs.ujf.cas.cz/cenap). Z více než 50 kolektivů v této soutěži získaly peníze pouze čtyři a jeden z nich je ten náš.

? **Pochopitelně jsou v tom velké peníze.**

Takové velké experimenty si velice pečlivě vybírají, koho přibrat. Aby se na něj nenabalili lidé bez potřebné kvalifikace. Vítán je každý, kdo za prvé umí potřebnou věc a za druhé převezme zodpovědnost za vývoj a provoz určité části projektu. My z řežského ÚJF AV ČR jsme převzali zodpovědnost za to, že budeme dávat pozor, aby energetická stupnice spektrometru, tzn. vodorovná osa grafu spektra záření beta, byla dostatečně stabilní. Ukázalo se, že požadavky jsou nesmírně náročné. Celý experiment bude vyžadovat 1 000 dní měřícího času. I s technickými pauzami je to pět kalendářních let. Při měření nesmí být z hlediska stability energetické stupnice horší přesnost než 3 miliontiny naměřené hodnoty.

? **Čím zaručíte přesnost a spolehlivost měření?**

Obtížnost našeho úkolu spočívá především v tom, že potřebné fyzikální standardy zatím neexistují. Radioaktivní standardy elektronové energie jsou zatím desetinásobně horší, než potřebujeme. Abychom vyvinuli lepší standardy, využíváme možnost našeho ústavu. Jednak si vyrábíme radioaktivní izotopy na našem cyklotronu a hlavně téměř nepřetržitě měříme na našem elektronovém spektrometru. Ten je ve srovnání s KATRIN velice malý (viz foto s N. Dragounovou). Jeho přednost spočívá v tom, že má vysoké rozlišení, takže můžeme poznat, jestli v připravovaných standardech nedochází k nežádoucím posuvům monoenergetických čar.

? **Když už jste zmínil velikost spektrometru KATRIN, který se objevuje na všech fotografiích ... Pro normálního člověka je trochu neuvěřitelné, že je potřeba něco tak obrovského, aby bylo zváženo něco tak malého.**

Obrovské rozměry hlavního spektrometru KATRIN vyplývají právě z požadavku na vysoké rozlišení a velkou světelnost. Přístroj být menší nemůže, ale problém byl v technické realizaci. O tom se dlouho diskutovalo, protože řada parametrů je na samé hranici současných možností. Tak je to v základním výzkumu vždy. Podíváte-li se na základní přístroje dřívějších nositelů Nobelových cen, zjistíte, že jejich úkoly byly ve své době stejně těžké, ne-li těžší. ◀

Jindřich Kačer, Marek Telička