

Komunikace za pomoci neutrin

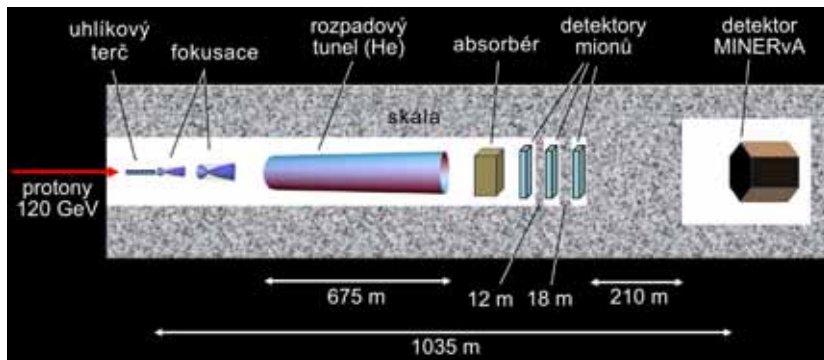
bit – základní jednotka informace, která nabývá dvou hodnot (ano/ne), (0/1), (pravda/nepravda) atd.
byte – bajt, jednotka informace, která označuje osm bitů, tj. osmiciferné binární číslo. Takové množství informace může reprezentovat například celé číslo od 0 do 255 nebo jeden znak abecedy. Jeden byte je obvykle nejmenší objem dat, se kterým dokáže procesor přímo pracovat. Větší jednotky: kilobyte (kB, $2^{10} = 1024$ bytů), megabyte (MB, $1024 \cdot 1024$ bytů), gigabyte (GB, 1024^3 bytů), terabyte (TB, 1024^4 bytů).

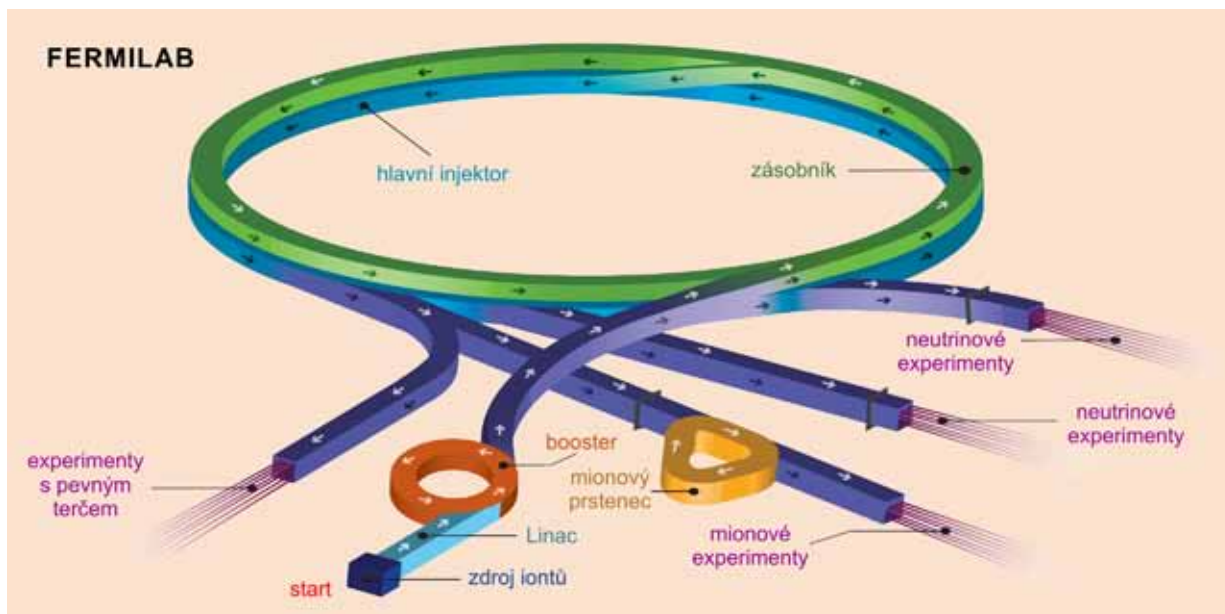
Neutrino jsou částice připomínající duchy. Nejenom, že procházejí běžnou látkou, ale za letu mění svou podobu a přeměňují se jedno v druhé. Neutrino by byla ideálním nosičem informace v prostředích, kterými se nemůže šířit elektromagnetický signál – pod vodou, uvnitř Země, napříč galaxiemi atd. Vzhledem k velmi slabé interakci neutrin s látkou by k takové komunikaci byly zapotřebí velmi mohutné svazky neutrin a velmi hmotné detektory. Přenášení zpráv je proto hudbou vzdálené budoucnosti. V březnu 2012 byl ale učiněn první krok. Skupině fyziků pod vedením Daniela Stancila ze Státní univerzity v Severní Karolině se ve Fermilabu podařilo přenést za pomoci neutrin jednoduchou zprávu – slovo „neutrino“ – na vzdálenost jednoho kilometru, z toho 240 metrů vedlo skrze dolomitovou skálu. Odborníci na internetové technologie by zajisté ohrnuli nos – rychlost přenosu byla pouhých 0,1 bitu za sekundu a chybovost přenosu 1 %. Fyzikové jsou samozřejmě jiného názoru – provedený experiment jasně prokázal, že komunikace prostřednictvím neutrin je v principu možná.

Neutrinový svazek NuMI

Zařízení NuMI. Protóny urychlené v hlavním injektoru bývalého Tevatronu se přemění na svazek přesně směřovaných pulzů neutrin. Zdroj: 1.D. D. Stancil/ArXiv.

Když byl v roce 2011 uzavřen pro nedostatek financí druhý největší urychlovač na světě, americký Tevatron, neznamenalo to definitivní konec veškeré částicové fyziky ve Fermilabu. V provozu zůstal hlavní injektor, který dokáže urychlit protóny na energii 120 GeV. Protóny je možné v podzemním tunelu NuMI (Neutrinos at the Main Injector, neutrina v hlavním injektoru) přeměnit na jeden z nejintenzivnějších neutrinových svazků na světě. Jak se to dělá? Urychlené protóny jsou nejprve namířeny na uhlíkový terč. Z něho vylétá řada částic, nejvíce jsou zastoupeny nabitě piony a kaony, které je možné fokusovat magnetickým polem do málo rozbitavého svazku. Fokusované pio-



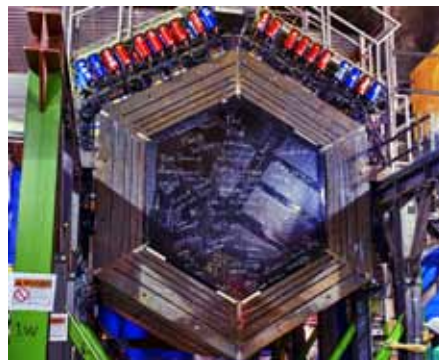


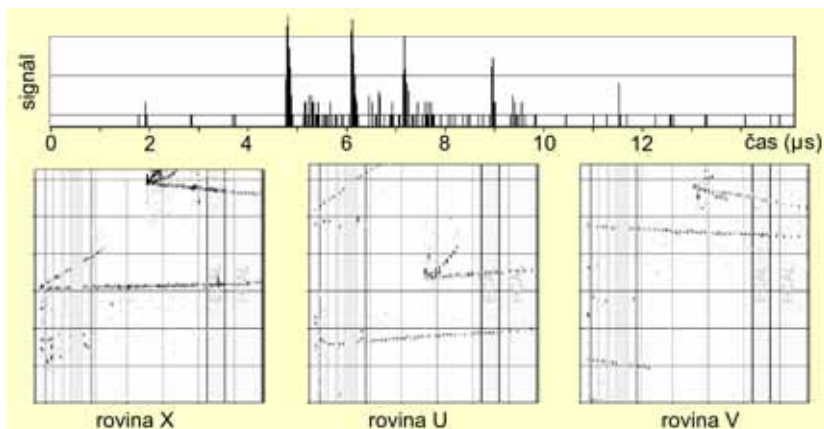
ny a kaony letí do rozpadového tunelu naplněného heliem. Zde se na vzdálenosti 675 metrů většina z nich rozpadne na neutrina. Vytvořený svazek prochází absorbérem, kde je pohlcena většina nechtěných částic, ke kontrolním detektorům mionů. Svazek neutrin je nasměrován k detektoru MINERvA; za rozpadovým tunelem neutrina proletí k detektoru celkem 240 metry (12 m + 18 m + 210 m) dolomitové skály. Do detektoru vchází téměř čistý svazek mionových neutrin (88 % mionových neutrin, 11 % mionových antineutrin a 1 % elektronových neutrin) o průměru několika metrů. Svazek neutrin je pulzní – jeden pulz je vytvořen $2,25 \times 10^{13}$ protony a trvá 8,1 μ s. Opakování pulzu je možné nejdříve po čase 2,2 s. Průměrná energie neutrin ve svazku je 2,8 GeV s pološířkou 3,2 GeV.

Detektor MINERvA

Neutrina svazku jsou namířena do podzemního detektoru MINERvA (*Main Injector Experiment for ν -A*). Název má připomínat římskou bohyni řemesel a moudrosti Minervu. Předposlední písmeno ale není „vé“, nýbrž řecké „ný“, symbol pro neutrina. Detektor je umístěn

Ze stavby detektoru MINERvA. Zdroj: Fermilab.





Detekce více neutrin v průběhu jednoho impulsu. V průměru je ovšem zachyceno jen 0,81 neutrina na impuls. Zdroj: Fermilab.

100 metrů pod zemí a jeho celková hmotnost je 170 tun, z toho 3 tuny tvoří vnitřní část pro sledování stop. Kolem této vnitřní části jsou pláty se scintilačními proužky. Plátů je celkem 200 a jejich roviny tvoří šestiboký hranol, jehož stěny mají tři různé orientace (roviny plátů ze sousedních stěn svírají úhel 60°). Tyto tři detekční roviny se označují X U a V. Scintilační proužky v plátech detekují nabitě miony, které pocházejí jednak z interakce neutrin s horninou

před detektorem a jednak z interakce neutrin s jádru atomů detektoru samotného (C, Pb, Fe). Většina zachycených mionů pochází z horniny před detektorem. Detektor je dimenzován tak, že pokud by jím svazek neutrin nepřetržitě procházel 4 roky, zachytil by detektor přibližně 16 milionů událostí. Mion, který vznikne interakcí neutrina s jádrem nějakého atomu, proletí v detektoru několik metrů, a proto je zachycen v několika desítkách scintilačních proužků. Mion generuje ve scintilačním proužku záblesk, který je veden optickými vlákny do fotonásobičů nad detektorem a dále zpracován. Z průletu je možné nalézt hybnost i energii původního neutrina. Mnoho nezávislých segmentů minimalizuje šum z kosmického záření.

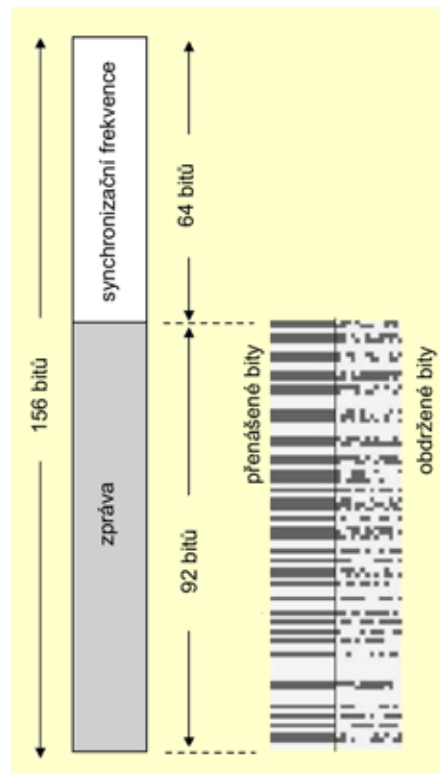
Přenos informací

Již jsme se zmínili, že neutrina přicházejí do detektoru v pulzech. Průměrný pulz byl vytvořen $2,25 \times 10^{13}$ protony a trvá $8,1 \mu\text{s}$. Z takového pulzu je v průměru možné zachytit 0,81 události (detekce neutrina). Nejsou ale výjimečné i vícenásobné detekce v průběhu jednoho impulsu. Detekovaný impuls neutrin lze považovat za binární jednotku „1“ – samozřejmě, že vícenásobná detekce neutrin přispěje k rozpoznání, že byl přenesen bit s hodnotou „1“. Pokud není generován impuls, není zachyceno žádné neutrina a situaci vyhodnotíme tak, že byl přenesen bit s hodnotou „0“. Za pomoci posloupnosti nul a jedniček můžeme přenést libovolnou informaci. Samozřejmě, že posílaná informace musí obsahovat synchronizační část, aby bylo na druhé straně



skály známo, kdy byly/nebyly vysílány jednotlivé impulzy. Týmu pod vedením Daniela Stancila ze Státní univerzity v Severní Karolině se takto podařilo za pomoci neutrin přenést slovo „neutrino“. Dosažený tok informace byl 0,1 bitu za sekundu a chybovost nepřesáhla 1 %. Sekvence byla přenášena dvakrát, aby byla jistota správné interpretace. Celková vzdálenost mezi místem kódování a detektorem byla 1035 metrů, z toho 240 metrů vedlo dolomitovou skálou. Jde o první experiment tohoto druhu, jehož jediným cílem bylo prokázat, že komunikace za pomoci neutrin je možná. Pro praktické využití by byly potřebné intenzivnější svazky a mohutnější detektory. Zde se k podobným experimentům přímo nabízí využít největší detektor neutrin na světě Icecube, který má objem 1 km³ a je vybudován v antarktickém ledu. Je otevřenou otázkou, zda by vyspělé civilizace (pokud by existovaly) volily pro komunikaci napříč Galaxií (pokud by chtěly komunikovat) elektromagnetické signály nebo spíše ničím netlumená neutrina. Pro pozemšťany by neutrinová komunikace byla nepochybně velmi užitečná pro podmořské ponorky a pro komunikaci skrze Zemi k protinožcům. Přenos většího množství informací za pomoci neutrin je ale zatím mimo naše technologické možnosti.

■ Petr Kulhánek, 11. 1. 2012, AB 2/2013



Způsob kódování zprávy. Je patrné, že z obdržených bitů je velmi dobře možné rekonstruovat vyslaný signál