

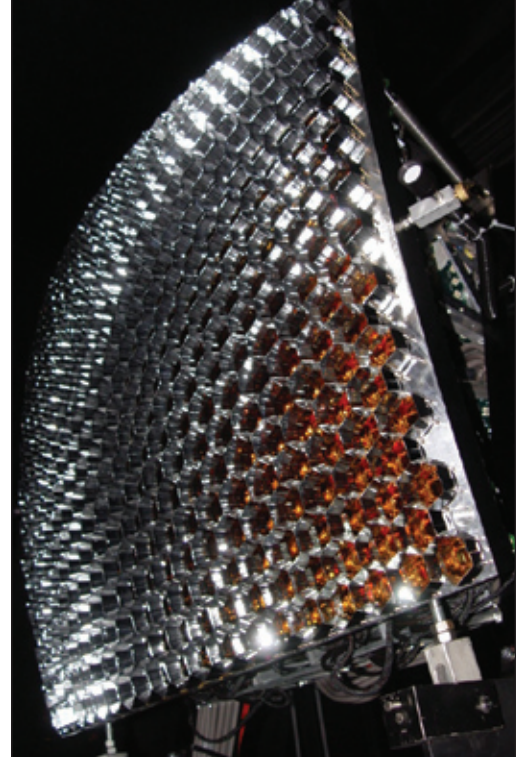
# Observatoř Pierra Augera

*Letos je tomu 10 let, co byla v Argentinské pampě zahájena stavba testovacích prototypů pro největší detektor kosmického záření současnosti, observatoř Pierra Augera. V roce 2004 začalo ještě s nekompletním detektorem první pozorování a o čtyři roky a 50 milionů dolarů později byla observatoř oficiálně dokončena, aby mohla v následujících 20 letech pokračovat ve sběru dat o nejenergetičtějších částicích ve vesmíru. Neznamená to ale, že členové sdružení ze 17 zemí světa (včetně České republiky) budou jen nečinně přihlížet, jak detektor pracuje. Průběžně dochází k instalaci nových zařízení a vývoje nových metod pozorování atmosférických spršek. Stále před nimi také stojí úkol vybudovat druhou polovinu observatoře na severní polokouli.*

Historie projektu Auger ovšem sahá až do roku 1992, kdy Alan Watson a nositel Nobelovy ceny za fyziku James Cronin navrhli výstavbu observatoře, která by v sobě spojovala výhody obou hlavních metod používaných k detekci atmosférických spršek vytvářených vysokoenergetickými částicemi kosmického záření. Jednou z nich je pozorování fluorescenčního světla vybuzeného sprškou v atmosféře s pomocí dalekohledů, druhou přímé zachytávání některých částic ze spršky sítí pozemních detektorů. Hned se rozběhlo hledání vhodného místa na několika kontinentech, protože nároky projektu nebylo snadné splnit. Pro rovnoměrné pokrytí oblohy bylo třeba vybrat na obou polokoulích místa mezi 30. a 45. stupněm zeměpisné šířky. Nízký tok nejenergetičtějších částic na jednotku plochy vyžaduje sběrnou plochu nejméně 3000 km<sup>2</sup>, pro efektivní pozorování vývoje spršky v at-

mosféře je potřeba nadmořská výška 500 až 1500 metrů. Nejvhůře kombinovatelná se ale ukázala dvojice požadavků na tmavou a průzračnou oblohu bez světelného znečištění (tedy mimo civilizaci) a zároveň dostupnost alespoň základní infrastruktury. Půda a vegetace navíc musí umožnit bezpečné rozmístění pozemních detektorů. Dodáme-li ještě požadavek plochého terénu se sklonem do 3 %, v ideálním případě doplněného několika kopci pro dobrý výhled fluorescenčních dalekohledů, je skoro zázrak, že se takové místo skutečně u malého města Malargue na úpatí argentinských And našlo. (Pro stanoviště na severní polokouli je v současnosti vybráno rozsáhlé území stepi v Coloradu, ale jeho výstavba stále není zajištěno jeho financování.)

Pozemní část Augeru je tvořena 1600 nádržemi (sudy) s čistou vodou, vybavenými každý třemi fotonásobiči, solárními panely, baterií a komunikační anténou. Materiál sudu netvoří pro částice ze spršky prakticky žádnou překážku a ty tak vstoupí do vody uvnitř. Rychlost světla ve vodě je však asi o čtvrtinu menší než ve vzduchu, a tak se v ní částice s alespoň trochu významnou energií pohybují rychleji než světlo.



*Detail jedné z kamer fluorescenčního detektoru. Každý za 440 fotonásobičů tvoří jeden pixel o velikosti 1,5°. Citlivost a časové rozlišení zde má přednost před rozlišením prostorovým.*

Každá taková částice vyzářuje kužel tzv. Čerenkovova záření (analogický rázové vlně, kterou ve vzduchu vyvolává nadzvukové letadlo). To se odráží na stěnách sudu a je detekováno fotonásobiči (v sudu je jinak úplná tma). V případě, že pozorovaný signál přesáhne definovanou úroveň (nastává tzv. *trigger*), sud o tom bezdrátovým spojem (který je jedním z důvodů, proč musí být oblast detektoru plochá) informuje řídicí středisko. Pokud zvýšený signál ohlásí několik sousedících sudů a nastane řada dalších podmínek, vyhodnotí počítač událost jako možnou atmosférickou spršku a zaznamená potřebné údaje.

Jednotlivé sudy jsou od sebe vzdáleny 1,5 km a protože každý z nich má průměr jen několik metrů, zachytí se jen nepatrný zlomek všech částic ve spršce, z nichž je pak třeba rekonstruovat, co se to nad Augerem právě stalo. Rozestupy sudů jsou zvoleny s ohledem na energie, které chceme pozorovat: spršky o energii nad 10<sup>18</sup> eV se obvykle

*Stanoviště fluorescenčních dalekohledů na vršku Los Leones na jižním okraji observatoře. V popředí před zavřenými vraty ukrývajícími ve dne jednotlivé dalekohledy je vidět malinký domeček robotického dalekohledu FRAM, který pomocí měření jasností hvězd pomáhá monitorovat stav atmosféry pro kalibraci pozorování fluorescenčními dalekohledy.*

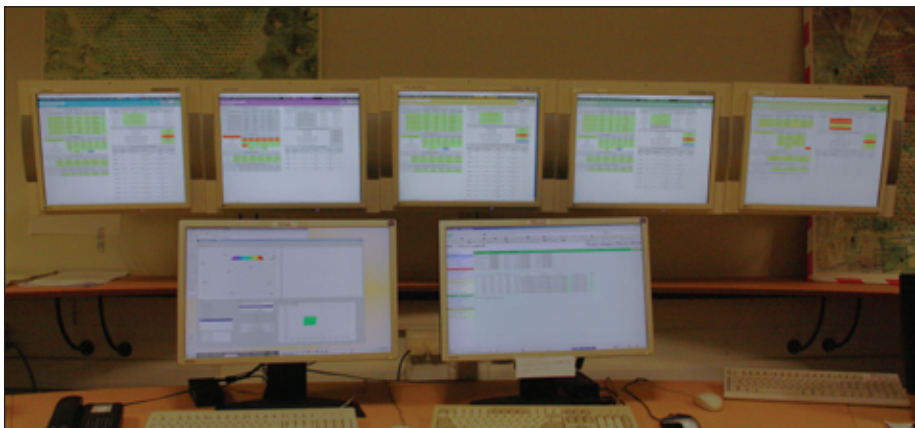


rozvinou do dostatečné šířky, aby zasáhly několik sudů. Jejich řídké rozmístění umožňuje pokrýt s daným rozpočtem dostatečně velkou plochu, která dovoluje zachytit několik částic o energii nad  $5 \times 10^{19}$  eV měsíčně. Časový údaj pro každý sud je s vysokou přesností synchronizován pomocí GPS, a tak lze z časů přiletů spršky do jednotlivých sudů určit směr primární částice s přesností lepší než  $1^\circ$ . Čelo spršky tvoří přibližně sférickou plochu, která se šíří rychlostí světla ve směru letu primární částice, ten tedy odpovídá směru, ve kterém leží sud zasažený nejdříve (pokud všechny sudy hlásí stejný čas, přiletěla primární částice ze zenitu).

Zatímco rekonstrukce směru letu primární částice je dána prostou geometrií, určení její energie ze signálu v sudech by bylo samo o sobě silně závislé na (stále velmi nejistém) modelování interakcí v atmosféře. A právě zde je obrovská výhoda dvou nezávislých metod detekce. Fluorescenční detektor může efektivně pracovat jen za jasných bezměsíčných nocí (přibližně 10% času), ale jeho určení energie spršky je do velké míry nezávislé na interakčních modelech. Na sprškách pozorovaných zároveň v sudech i pomocí dalekohledů je tak možné kalibrovat vztah mezi signálem v sudech a energií spršky a určovat tak mnohem přesněji i energie těch spršek, které pozemní detektory zachytí ve dne, kdy fluorescenční dalekohledy nepracují.

Dalekohledů je na Augeru instalováno celkem 24 (resp. 27 s rozšířením HEAT), po šesti ve čtyřech stanicích umístěných na okrajích observatoře a orientovaných tak, aby se dívaly nad pole sudů a byla tak maximalizována možnost tzv. hybridní detekce, tedy pozorování spršky oběma způsoby. Nehybná zrcadla o průměru asi 3,5 metru vykreslují zorné pole o průměru  $30^\circ$ , které začíná  $2^\circ$  nad obzorem, na neobvyklou kameru, v níž nenajdeme ani film, ani CCD čip, ale 440 fotonásobičů, z nichž každý tvoří jeden pixel výsledného obrazu. Fotonásobiče nebyly jako detekční prostředek zvoleny náhodou. Kromě citlivosti na velmi slabé světlo je jejich výhodou nedostižné časové rozlišení 100 ns (jedna desetimiliontina vteřiny!), umožňující pozorovat vývoj spršky v reálném čase při jejím letu atmosférou.

Fluorescenční záření v blízkém ultrafialovém oboru vzniká excitací molekul dusíku



Řídicí pracoviště v Malargue, z nějž operátoři z řad členů sdružení přibližně polovinu nocí v roce (když neruší Měsíc) ovládají chod všech 27 fluorescenčních dalekohledů a dalších pomocných zařízení

při průletu nabitě částice spršky atmosférou a jeho intenzita je přímo úměrná množství energie, kterou tato částice ztratila interakcemi s okolím. Všechna energie primární částice (až na část odnesenou neutrálními nebo jen slabě interagujícími částicemi) musí být nakonec ztracena někde v atmosféře, takže pokud bychom pozorovali celý vývoj spršky, velikost této energie snadno spočteme. V praxi se přidává řada komplikací, z nichž asi nejvýznamnější je stále nejistota v koeficientu úměrnosti mezi předanou energií a intenzitou fluorescence, ale základní myšlenka zůstává stejná. Pozorování celého vývoje spršky (nebo jeho významné části) nám navíc umožňuje snažit se identifikovat druh primární částice na základě měření hloubky, v níž bylo dosaženo maximálního rozvoje spršky (viz obrázek v předchozím článku).

Jak jsme již zmínili v úvodu, v poslední době probíhá vývoj a instalace několika rozšíření oproti původnímu návrhu observatoře. Již hotovy jsou tři přídatné da-

lekohledy označované zkratkou HEAT, které se dívají nad zorné pole původních dalekohledů na jedné ze stanic, a pozorují tak spršky s nižší energií, které v atmosféře neproniknou tak hluboko. V prostoru před HEATEm bylo také zahuštěno pole pozemních detektorů, aby tyto prostorově menší nízkenergetické spršky celé „nepropadly“ mezi sudy a byla i u nich možná hybridní detekce. Zároveň je tato oblast doplněna o podzemní detektory, umožňující odlišit miony od elektromagnetické složky spršky. Ve stádiu příprav a vývoje je zatím hned několik zařízení pro detekci radiového a mikrovlnného záření spršek, které by mohly současné metody vhodně doplnit.

■ Jan Ebr

Jeden z detekčních sudů v pampě na pozadí nejjihnější andské pětitisícovky Cerro Somnado