

Astronomické nobelovky

Jiří Grygar, Michael Prouza

Po devíti letech byla letos v říjnu opět udělena Nobelova cena za fyziku za objevy spadající do hájemství astronomie a astrofyziky. Dle oficiálního sdělení Nobelovy nadace, která ceny uděluje, získali po čtvrtině ceny Raymond Davis, Jr. a Masatoši Košiba za „průkopnické příspěvky k astrofyzice, zvláště pak za detekci kosmických neutrin“, druhá polovina ceny připadla Riccardu Giacconnimu za „průkopnické příspěvky k astrofyzice, které vedly k objevu kosmických zdrojů rentgenového záření“.

Nobelovka pro nicotná neutrina

„Dnes jsem učinil cosi, co by teoretik neměl ve svém životě nikdy udělat. Pokusil jsem se nevysvětlitelné objasnit nepozorovatelným.“ Nositel Nobelovy ceny za fyziku (1945) Wolfgang Pauli (1900-1958) ve svém deníku ze 4. 12. 1930.

Slavný švýcarský teoretik Pauli byl tehdy nepochopitelným výsledkem pokusů s tzv. rozpadem beta, kdy se neutron rozpadá na proton a elektron, doslova přinucen k nápadu na první pohled zoufale ztřeštěnému: že totiž v důsledku tohoto rozpadu vzniká do té doby naprosto netušená částice velmi podivných vlastností, kterou další nobelista Ital Enrico Fermi (1901–1954) nazval o dva roky později „neutrino“, tj. malinký neutronek. Jak se později ukázalo, tato částice bez elektrického náboje a s téměř nulovou klidovou hmotností proniká velmi snadno libovolnou látkou: kdybychom chtěli konkrétní neutrino zaručeně zachytit, museli bychom použít olověnou desku o tloušťce několika set světelných roků! Nic takového není ve ves-

míru k mání, takže k důkazu, že neutrina opravdu existují, použili v r. 1955 američtí fyzici F. Reines a C. Cowan mocný atomový reaktor v Savannah River, který obložili pancířem z vyřazené bitevní lodi – jediné neutrina vylétající z reaktoru prošla touto překážkou bez zábran a tak se prozradila. Reines byl za to odměněn Nobelovou cenou v r. 1995, takže čekal na ocenění plných 40 let.

Mezitím vstoupil do hry o neutrina dnešní nestor světové fyziky americký astronom německého původu Hans Bethe (*1906), když r. 1939 ukázal, že hvězdy září proto, že v jejich žhavých nitrech probíhá termonukleární reakce přeměny vodíku na hélium. Při této přeměně se uvolněná energie z nitra hvězdy přenáší k povrchu jednak pomocí fotonů a jednak prostřednictvím neutrin. Za tento epochální výsledek si jel Bethe do Stockholmu pro Nobelovu cenu v r. 1967 (viz též tabulku na protější straně).



Líc (vlevo) a rub Nobelovy medaile za fyziku

Právě v té době zahájil americký chemik (doktorát na Yaleově univerzitě r. 1942) Raymond Davis (*1914) v hloubce 1480 m na dně zlatého dolu Homestake v Jižní Dakotě provoz jedinečné pasti na sluneční neutrina v podobě válcové cisterny o průměru 6 m a délce bezmála 15 m, do níž napustil 615 tun (téměř 3800 hektolitřů) perchloretylénu – kapaliny běžně používané v chemických čistírnách oděvů, takže je relativně levná. Davis totiž nedostal na svůj pokus žádný grant, takže vše musel pořídit z provozních prostředků laboratoře v Brookhavenu.

Davis si už v r. 1955 spočítal na základě Betheova modelu termonukleárních reakcí ve Slunci, že do jeho podzemní pasti by měla ve velkém množství přicházet sluneční neutrina po přímočarém a ničím nerušeném letu z nitra Slunce, a z nich přibližně jednou za 14 hodin by se některé neutrino mělo zachytit v nastavené pasti tím, že se přímo srazí s jádrem atomu chlóru, čímž ho změní na jádro radioaktivního argonu. Poločas rozpadu radioaktivního argonu činí 35 dnů, což znamenalo nejpozději po dvou měsících provozu spočítat, kolik atomů radioaktivního argonu se v nádrži usadilo. Na první pohled šlo o zcela šílený nápad: Davis musel najít



Nádrž detektoru Homestake



Raymond Davis Jr.

RNDr. Jiří Grygar, CSc. (*1936) vystudoval astronomii na MFF UK v Praze. Pracuje v Centru částicové fyziky Fyzikálního ústavu AV ČR, kde se zabývá kosmickým zářením extrémně vysokých energií (projekt AUGER). Patří k nejvýznamnějším českým popularizátorům vědy, v roce 1996 obdržel od UNESCO za svoji popularizační činnost cenu Kalinga. Proslul zejména svým televizním cyklem *Okna vesmíru dokořán*, či svými knihami *Vesmír je náš svět*, *Vesmírná zachtavení*, *Země ve vesmíru*, ...

Mgr. Michael Prouza (*1978) vystudoval astronomii a astrofyziku na MFF UK v Praze. I on pracuje v Centru částicové fyziky Fyzikálního ústavu AV ČR, kde je doktorandským studentem J. Grygara. Je zástupcem šéfredaktora časopisu *Astropis*.



Masatoshi Košiba se právě telefonicky dozvídá, že získal Nobelovu cenu za fyziku

v kupě sena – chlůru, tedy mezi 2 kvintiliony atomů pověstnou jehlu, obsahující v tomto případě nějakých 20 atomů argonu! To je zhruba stejně obtížná úloha jako zvážit Slunce s chybou 20 kg – takovou decimálku ve vesmíru nenajdete.

Hned první Davisova měření naznačila, že něco není v pořádku, neboť po prvních 150 dnech provozu se ukázalo, že těch argonových atomů je v nádrži skoro o řád méně, než výpočty předpokládaly. Tak se zrodil pověstný sluneční neutrinový skandál, jež opakovaná měření potvrdila. Davisův experiment běžel od roku 1967 do roku 1994 a za tu dobu vzniklo v Davisově cisterně díky slunečním neutrinům asi 2200 atomů radioaktivního argonu – zhruba třikrát méně, než předvíдалa teorie termonukleárních reakcí ve Slunci. Astronomové i částicoví fyzikové se trápili a věnovali bezmála tisíc prací objasnění příčiny tohoto nesouladu. Ne že by jim chyběla fantazie, ale nikdo nevěděl, které vysvětlení je to pravé.

Nakonec pomohla šťastná shoda okolností na opačném konci světa, v Japonsku. Pod vedením Masatoshiho Košiby (*1926), jenž získal r. 1955 doktorát z fyziky v americkém Rochesteru (N.Y.) postavili japonští fyzikové r. 1980 podzemní laboratoř Kamiokande 240 km severozápadně od Tokia v dole na olovo a zinek v hloubce 1000 m pod zemí. Na rozdíl od Davisova pokusu použili k detekci 2140 t čisté destilované vody a průhlednou nádrž s vodou obklopili zhruba tisícovkou fotonásobičů, citlivých i na velmi slabé světelné záblesky ve vodní nádrži, ponořené do věčné tmy.

Smyslem pokusu však zprvu vůbec nebylo lapat sluneční neutrina, ale zjišťovat, zda stabilní částice atomových jader – protony, jsou opravdu stabilní. Někteří teoretičtí fyzikové totiž přišli v té době s nápadem, že i protony se vzácně – tj. jednou za stovky kvintilionů let – mohou rozpadnout.

Přirozeně nemůžeme čekat tak dlouho, abychom si to ověřili, ale budeme-li souběžně sledovat stovky kvintilionů protonů po dobu jednoho roku, tak ten rozpad musíme odhalit. Jen na okraj poznamenávám, že se nic takového nepodařilo pozorovat dodnes, ale tu opět zasáhla náhoda, když dne 24. února 1987 zaznamenali astronomové na jižní polokouli v galaxii Velké Magellano vo mračno supernovu, viditelnou dokonce očima, navzdory její vzdálenosti od nás plných 165 tisíc světelných let.

Fyzici si při té příležitosti rozpomněli na modelové výpočty výbuchů supernov, podle nichž se při takové explozi má uvolnit nevídaný počet neutrin – nějakých deset na šedesátou kusů! Začali proto pátrat v záznamech aparatury Kamiokande o den dříve, a měli nesmírné štěstí. Ukázalo se, že ten den probíhala rutinní kontrola zařízení, takže se po delší dobu neměřilo. Pak se však přístroje opět rozběhly – a o minutu později přiletěla neutrina ze supernovy, přičemž 12 kusů z této mohutné spršky se v nádrži zachytilo a přístroje to věrně zaznamenaly! Zcela v souladu s teorií musela neutrina dorazit s několikahodinovým předstihem před pozorovaným optickým výbuchem, protože v husté látce zárodku supernovy se fotony přece jenom zdrží, kdežto neutrina, jak už víme, nezastaví vůbec nic. Právě proto získala neutrina ten několikahodinový náskok, který si udržela celých 165 tisíc let během svého přímočarého letu až do okamžiku vstupu do nádrže Kamiokande.

Tak se ukázalo, že detektor Kamiokande se hodí na pozorování neutrin a proto byl byl nákladem 95 milionů dolarů vylepšen na Super-Kamiokande s 50 tisíci tunami vody a více než 11 tisíci fotonásobiči, jenž pracoval od dubna 1996 do července 2001. Tímto přístrojem se sluneční neutrina sledovala přímo, tj. jednak čas a jednak směr přiletu do nádrže, který vždy souhlasil s okamžitou polohou Slunce (zařízení měří i v noci, neboť sluneční neutrina hladce prolétají napříč celou Zemí a přicházejí pak do nádrže prostě „zespodu“).

Japonští fyzikové tak nejprve potvrdili Davisův deficit slunečních neutrin, ale postupně dokázali, že za nesouhlas údajů nemohou astronomové, kteří spočítali termonukleární reakce ve Slunci správně, ale fyzikové, kteří nevěřili, že nicotná neutrina jsou ještě rafinovanější, než kdo mohl

Nobelovy ceny udělené za astronomické objevy

Na úvod sdělme, že tato tabulka je poněkud pochybná – stejně jako je pochybná kategorie „astronomický objev“. Vždyť patří mezi astronomické objevitele např. již druhý nositel Nobelovy ceny za fyziku Pieter Zeeman za rok 1902, který objevil rozštěpení spektrálních čar vlivem magnetického pole, čehož je dodnes v astronomii využíváno, anebo nepatří? Stejně nároky na zařazení by si mohl klást třeba laureát z roku 1970 Hannes Alfvén a jistě i další. Takže s vědomím, že astronomie není izolovaná věda, předkládáme následující tabulku (se strukturou rok – jméno – oficiální zdůvodnění udělení ceny):

- **1967 – Hans Albrecht Bethe** – za jeho příspěvky k teorii jaderných reakcí, zvláště za jeho objevy související s produkcí energie ve hvězdách

- **1974 – Sir Martin Ryle a Antony Hewish** – za průkopnický výzkum v rádiové astrofyzice (Ryle – technika aperturní syntézy, Hewish – objev pulsarů)

- **1978 – Arno Allan Penzias a Robert Woodrow Wilson** (spolu s P. Kapickou) – za objev kosmického mikrovlnného záření pozadí

- **1983 – Subramanyan Chandrasekhar a William Alfred Fowler** – Chandrasekhar za teoretické studie fyzikálních procesů významných pro strukturu a vývoj hvězd, Fowler za teoretické a experimentální práce o jaderných reakcích významných pro tvorbu chemických prvků ve vesmíru

- **1993 – Russel A. Hulse a Joseph H. Taylor, Jr.** – za objev nového typu pulsaru, objevu který otevřel nové možnosti pro studium gravitace



Stěna a strop „nádob“ detektoru Super-Kamiokande s více jak 9000 nainstalovanými fotonásobiči při stavbě v roce 1995

tušit. Jsou to totiž částice, která se během přímočarého letu samovolně přeměňují na neutrina jiného druhu – z druhu elektronového na mionový či na taunový, neboli neustále oscilují mezi třemi způsoby existence, z nichž jen jeden se hodí pro detekci v podzemní pasti Super-Kamiokande – jakoby si neutrina převlékala pohádkové neviditelné a viditelné kabáty.

Pozoruhodné je, že s tímto vysvětlením o „neutrinových oscilacích“ přišli poprvé již v roce 1968 Bruno Pontecorvo a Vladimir Gribov, tedy pouhý rok poté, co Raymond Davis zveřejnil první předběžné výsledky svých měření. Než ale byla jejich domněnka prověřena, muselo uplynout třicet let – až v roce 1998 přineslo Super-Kamiokande první výsledky, solidně svědčící ve prospěch oscilací. Teprve loni v červnu oscilace definitivně potvrdil kanadský experiment SNO (Sudbury Neutrino Observatory), který používá těžkou vodu a tak je schopen zachytit všechny tři známé typy neutrin. Jeho výsledky už žádný „skandál“ neznamenaly, naopak, teoretický model jaderných reakcí ve Slunci byl díky SNO dokonale potvrzen. (*Více o experimentech a neutrinech např. v Astro-pisu 3/2001 či 4/2000.*)

Domníváme se, že Nobelův výbor rozhodl tentokrát velmi spravedlivě, když ocenil tvrdošíjného průkopníka neutrinové astronomie, dnes už 87letého Raymonda Davise, podobně jako objevitele prvních mimoslunečních neutrin a rozhodčího v otázce deficitu slunečních neutrin o 12 let mladšího Masatošiho Košibu. (Pro Košibu a jeho tým přichází Nobelova cena obzvláště vhod – 12. listopadu 2001 došlo v Super-Kamiokande k velké nehodě – při čištění detektoru implodoval jeden z fotonásobičů a šířící se tlaková vlna zničila 6665 z celkových 11146 fotonásobičů. V současné době se intenzivně pracuje na obnově detektoru – a lze asi právem předpokládat, že grantové agentury s potěšením zaznamenají Nobelovu cenu pro autora projektu.)

Záslouhou obou – a přirozeně velkého zástupu jejich spolupracovníků i dalších astronomů, fyziků a techniků z celého světa – se právě v těchto letech před astronomií i částicovou fyzikou otevírá další důležité okno vesmíru dokořán, které nám pomocí nicotných neutrin umožní na jedné straně

prohlížet nitro Slunce, hvězd a supernov, a na druhé straně nás nutí k důkladnému přehodnocení představ o základních stavebních kamenech veškeré hmoty, z níž se vesmír skládá.

Rentgenové okno vesmíru dokořán

Slavná éra udělování Nobelových cen za závažné přírodovědecké objevy započala ve Stockholmu r. 1901, kdy vůbec první cenu za fyziku obdržel německý badatel Wilhelm Conrad Röntgen za objev „paprsků X“, jenž učinil koncem r. 1895 ve své fyzikální laboratoři na Univerzitě ve Würzburgu. Jak známo, dnes se paprsky nazývají na jeho počest rentgenovým zářením, neboť se ukázalo, že jde ve skutečnosti o velmi energetické elektromagnetické záření s vlnovými délkami alespoň tisíckrát kratšími než viditelné světlo. To ovšem znamená, že fotony rentgenového záření nesou nejméně tisíckrát vyšší energie než fotony červeného světla.

Od chvíle, kdy Röntgen zveřejnil svůj objev (a úmyslně ho nedal patentovat, aby vynález mohl sloužit celému lidstvu), pochopili především lékaři význam rentgenového záření pro diagnostiku a později i pro terapii, ale stejně tak se rentgenová diagnostika uplatnila v technických oborech, při studiu struktury látek v chemii i biochemii, v krystalografii, atd. Svědčí o tom i další Nobelovy ceny za výzkum rentgenového záření, udělené německému fyzikovi Maxi von Laueovi v roce 1914 za předpověď difrakce rentgenového záření, otcí a synovi W. Henrymu a W. Lawrenci Braggovým v r. 1915 za její experimentální potvrzení na krystalech a Charlesi Barklovi v r. 1917 za studium rozptylu tohoto záření. Konečně r. 1924 obdržel Karl Siegbahn Nobelovu cenu za rozvoj rentgenové spektroskopie.

Trvalo to však celé půlstoletí, než rentgenovému záření přišli na chuť i astronomové. Příčina byla ovšem jednoduchá. Chceme-li zjistit, zda nebeská tělesa či mezihvězdné prostředí vysílají rentgenové záření, musíme dopravit čidla a dalekohledy vysoko nad hranice zemské atmosféry. Dnes už víme, že zejména měkké rentgenové záření je pohlcováno atomy a molekulami ovzduší již ve výškách 80 km nad zemí, a tam nedoletí ani letadlo, ani stratosférický balón.



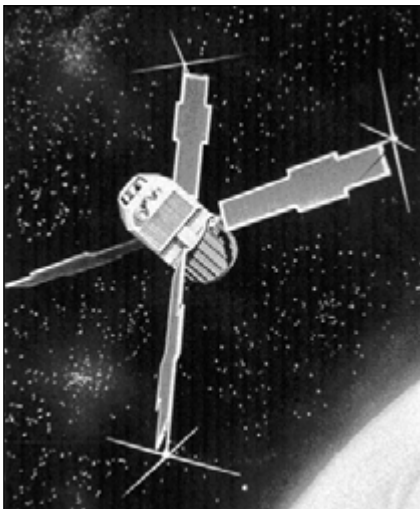
© ICRA

Riccardo Giacconi s čestným doktorátem římské univerzity „La Sapienza“

Prvním vhodným nosičem pro astronomické rentgenové přístroje se proto staly až ukořistěné německé balistické rakety V-2, jichž r. 1949 použil americký fyzik Herbert Friedman (1916–2000) se svým týmem k sondážním několikaminutovým letům nad hranici atmosféry a pomocí jednoduchého Geigerova-Müllerova čítače na jejich palubě tak odhalili, že zdrojem rentgenového záření je naše Slunce. Čítače ovšem neuměly Slunce ani nahrubo zobrazit, takže k přesnějšímu určení polohy rentgenových zdrojů na slunečním kotouči se daly využít jen krátké okamžiky slunečních zatmění. Pokud jde o ostatní oblohu, vypadalo to zcela beznadějně, pokud bychom logicky předpokládali, že i ostatní hvězdy na nebi mají podobný rentgenový zářivý výkon jako Slunce. První detektory byly rentgenové téměř slepé, a slabší než sluneční záření nedokázaly zachytit vůbec.

Tehdy však přichází na proslulý MIT v americké Cambridži italský fyzik Bruno Rossi (1915-1993), jenž se během II. světové války podílel na projektu Manhattan, a po návratu do civilu se zde začíná věnovat výzkumu kosmického záření a od r. 1958 formuje americký vědecký program kosmického výzkumu. V r. 1959 se do projektu zapojuje další Ital, který r. 1954 vystudoval fyziku na milánské univerzitě, Riccardo Giacconi (*1931), jenž dostává na starost výzkum v oboru rentgenového záření.

Rossi a Giacconi již r. 1960 navrhli skutečný rentgenový teleskop, který využívá tečných odrazů (klouzání) rentgenových paprsků na vyleštěných kovových plochách k zobrazování, a mezitím pokračovali v přípravě raketových výstupů s jednoduchými čítači. Po dvou marných pokusech startuje 18. června 1962 raketa s půvabným názvem Aerobee, která má při



© NASA

Rentgenová družice UHURU

svislém výstupu změřit případné rentgenové záření z povrchu Měsíce. To se nedaří, jelikož se raketa kolébá, ale díky tomu kolébání objevuje během 350 s pobytu nad zemskou atmosférou první mimosluneční rentgenový zdroj, jenže nikdo neví, kde se na obloze nalézá. Chyba v určení polohy totiž dosahuje ± 10 obloukových stupňů, tj. 20 úhlových průměrů kotoučku Měsíce.

Až o pět roků později se podaří určit polohu tohoto jedinečně jasného zdroje v souhvězdí Štíra, takže dostává označení Sco X-1. V tom směru slabě září hvězda, jejíž jasnost pravidelně kolísá během 19 h. Odtud a z dalších pozorování astronomové zjistili, že jde ve skutečnosti o dvě hvězdy, obíhající kolem společného těžiště ve vzdálenosti 9 tisíc světelných let od Země. Pokud je tak vzdálený objekt rentgenově druhý nejjasnější po Slunci, znamená to, že dvojhvězda vysílá možná milionkrát více rentgenového záření než Slunce, a že to tedy vůbec není obyčejná dvojhvězda. Teplota zářícího plynu musí pak totiž být alespoň 10 milionů kelvinů, zhruba 1700krát vyšší než teplota na povrchu Slunce!

Tyto údaje přesvědčily astronomy, že rentgenová astronomie má skvělou budoucnost a Giacconi proto navrhl první rentgenovou umělou družici Země, která byla vypuštěna z plovoucí raketové základny u břehů Keni v říjnu 1970. Družice dostala název Uhuru („svoboda“ ve svahilštině) a jelikož pracovala nad hranicemi zemské atmosféry plně dva roky, mohla postupně zmapovat celou rentgenovou oblohu. Družice odhalila téměř 340 jednotlivých

rentgenových zdrojů, jejichž polohy přibližně určila, a tak se je v desítkách případů podařilo i opticky či radiově ztotožnit se známými astronomickými objekty. Ve všech případech se ukázalo, že jde o objekty více než pozoruhodné, s naprosto nečekanými fyzikálními vlastnostmi.

Do kosmického prostoru byly proto vypouštěny čím dál dokonalejší rentgenové družice a R. Giacconi se zasloužil právě o ty nejvýznamnější: družici Einstein z roku 1978, která docílila úhlového rozlišení 2 obloukové vteřiny, což umožnilo rozpoznat tisíce rentgenových zdrojů v blízkém i dalekém vesmíru, a dosud funkční družici Chandra v ceně 2 miliard dolarů, vypuštěnou v červenci r. 1999, která představuje vrchol současné kosmické techniky v tomto oboru a která přináší nové objevy doslova na běžícím pásu. Dnes už se počet objevených rentgenových zdrojů na nebi blíží milionu.

Díky kolektivnímu úsilí armády techniků, fyziků i astronomů mnoha vyspělých států světa se podařilo za 40 let rentgenové éry mimosluneční astronomie odhalit ve vesmíru především zhroucené neutronové hvězdy, kde hmotnost 1,4 Slunce je napečována do koule o poloměru 10 km (!), a tato suprahustá hvězda rotuje kolem své osy až stovkami otáček za sekundu, aniž by ji roztrhala odstředivá síla. Dále jsme tak získali přesvědčivé důkazy, že některé rentgenové dvojhvězdy obsahují hvězdné černé díry s hmotností alespoň trojnásobku, leč i desetinásobku hmotnosti Slunce při poloměrech od 9 do 30 km, které svou mocnou gravitací do sebe doslova vsávají plyn a prach z okolí, a ten přitom mocně rentgenově září (to je patrně případ i onoho prototypu Sco X-1). Stejnou cestou jsme se však dozvěděli i o supermasivní černé díře v jádře naší Galaxie. Tento objekt-kanibal má dle nejnovějších měření hmotnost 2,5 milionkrát vyšší než Slunce a svou gravitací do sebe vtahuje celé hvězdy ze svého okolí, které ovšem nejdříve ohřeje a roztrhá slapovými působeními na menší sousta – asi aby mu přitom nezaskočilo. Ve vzdáleném vesmíru však byly nalezeny ještě stokrát až tisíckrát mocnější černé díry v jádrech obřích galaxií nebo kvasarů.

Rentgenová astronomie se zkrátka stala ukazovátkem, upozorňujícím pozemské astronomy i fyziky na nejgrandióznější fyzikální děje ve vesmíru a tak nejnověji

Finance a Nobelovy ceny

Jak asi každý ví, Nobelovu nadaci, která ceny uděluje, založil svojí poslední vůlí slavný vynálezce Alfred Nobel. Ten do ní vložil v roce 1895 31 miliónů švédských korun (což odpovídá současné 1,5 miliardě švédských korun, 1 švédská koruna (SEK) = 3,30 Kč), ale díky příliš přísným pravidlům pro investování začalo záhy celkové jmění nadace i skutečná výše Nobelových cen rychle klesat. Situaci se podařilo zvrátit po druhé světové válce, kdy byla nejprve v roce 1946 nadace osvobozena od placení daní a kdy se poté v roce 1953 podařilo vytvořit mnohem volnější pravidla pro investování. Od té doby začalo opět jmění společnosti růst, v roce 1991 konečně překročila reálná hodnota ceny hodnotu z roku 1901. V roce 2002 činí celková hodnota majetku Nobelovy nadace zhruba 4 miliardy SEK a výše ceny pro rok 2002 byla stanovena na 10 miliónů SEK.

Nobelova cena může být za každý rok a v každém oboru udělena nejvýše za dvě různé práce a zároveň rozdělena nejvýše mezi tři žijící osobnosti.

udělená polovina Nobelovy ceny za fyziku je v případě Riccarda Giacconniho zajisté ve správných rukou, neboť se rozhodující měrou zasloužil o vývoj přístrojů, které otevřely rentgenové okno do vesmíru, ale zároveň stihl učinit pomocí těchto speciálních zařízení klíčové objevy v novém oboru astronomie.

A jen tak mimochodem: prof. Giacconi se stal prvním ředitelem Ústavu pro (Hubblův) kosmický teleskop (1981–1993) a hned poté převzal vedení Evropské jižní observatoře v Chile, kde působil do roku 1999 a vedl tak budování komplexu největšího optického dalekohledu na světě (VLT, Mt. Paranal). V současné době je prezidentem americké Univerzitní asociace, která pro změnu spravuje největší radioteleskopy na světě. Není divu, že ve své oslnivé kariéře konstruktéra, astrofyzika a vědeckého manažera posbíral snad všechny prestižní vědecké ceny v astronomii i ve fyzice. Je po něm také pojmenována planetka č. 3371.

(Tento článek je rozšířenou a upravenou verzí dvou článků JG, které vyšly ve vědecké příloze Hospodářských novin.)