

8 oktober 2002

Nobelpriset i fysik 2002

Kungl. Vetenskapsakademien har beslutat att utdela Nobelpriset i fysik år 2002 med hälften av priset gemensamt till

RAYMOND DAVIS JR

Department of Physics and Astronomy, University of Pennsylvania, Philadelphia, USA, och

MASATOSHI KOSHIBA

International Centre for Elementary Particle Physics, University of Tokyo, Japan

"för banbrytande insatser inom astrofysiken, särskilt för detektion av kosmiska neutriner"

och den andra hälften till

RICCARDO GIACCONI

Associated Universities, Inc., Washington, DC, USA

"för banbrytande insatser inom astrofysiken, som lett till upptäckten av kosmiska röntgenkällor".

Två nya fönster mot universum

Jorden befinner sig i ett ständigt flöde av kosmiska partiklar och annan strålning. Årets Nobelpristagare i fysik har använt dessa universums allra minsta beståndsdelar för att öka förståelsen för det allra största: solen, stjärnorna, galaxerna och supernovorna. Den nya kunskapen har förändrat vår bild av universum.

Den mystiska neutrino-partikeln förutspåddes redan 1930 av Wolfgang Pauli (Nobelpris 1945), men det dröjde 25 år innan den kunde påvisas (av Frederick Reines, Nobelpris 1995). Neutriner, som bland annat bildas i fusionsprocesserna i solen och andra stjärnor då väte omvandlas till helium, reagerar nämligen nästan inte alls med materia och är alltså mycket svåra att detektera. Det passerar t.ex. tusentals miljarder neutriner genom var och en av oss varje sekund utan att det märks.

Raymond Davis Jr konstruerade en helt ny detektor, en jättelik tank med 600 ton vätska, som placerades djupt nere i en gruva. Under trettio år lyckades han fånga in sammanlagt 2000 neutriner från solen och kunde därmed visa att solens energi kommer från fusion. I en annan gigantisk detektor, kallad Kamiokande, kunde en grupp forskare under ledning av **Masatoshi Koshiba** bekräfta Davis resultat. Den 23 februari 1987 kunde de också påvisa en skur av neutriner från en avlägsen supernovaexplosion. De fångade då in tolv av de totalt 10^{16} neutriner (10 000 000 000 000 000 st.) som passerade detektorerna. Davis och Koshibas insatser har lett till oväntade upptäckter och ett nytt intensivt forskningsfält, *neutrinoastronomi*.

Solen och stjärnorna sänder ut elektromagnetisk strålning med olika våglängd, både synligt ljus och osynligt, t. ex. i form av röntgenstrålning. För att upptäcka kosmisk röntgenstrålning, som absorberas av jordens atmosfär, krävs att instrumenten placeras i rymden. **Riccardo Giacconi** har konstruerat sådana instrument. Han upptäckte den första röntgenkällan utanför vårt solsystem och blev den förste som kunde konstatera att universum har en bakgrundsstrålning av röntgenljus. Han upptäckte också röntgenkällor som de flesta astronomer nu anser innehålla svarta hål. Giacconi konstruerade de första röntgenteleskopen, vilka gett oss helt nya – och skarpa – bilder av universum. Hans insatser lade grunden till *röntgenastronomi*.

RAYMOND DAVIS JR, född 1914 (87 år), i Washington, DC, USA (amerikansk medborgare). Doktorexamen i kemi 1942 vid Yale University, Connecticut, USA. Tidigare professor vid Department of Physics and Astronomy, University of Pennsylvania, Philadelphia, USA.

MASATOSHI KOSHIBA, född 1926 (76 år), i Toyohashi, Aichi, Japan (japansk medborgare). Doktorexamen 1955 vid University of Rochester, New York, USA. Tidigare professor vid International Centre for Elementary Particle Physics, University of Tokyo, Japan.

RICCARDO GIACCONI, född 1931 (71 år), i Genua, Italien (amerikansk medborgare). Doktorexamen 1954 vid Universitetet i Milano. Chef för Associated Universities, Inc., Washington, DC, USA.

Prissumma: 10 miljoner svenska kronor, delas så att Davis och Koshiba delar på hälften av prissumman och Giacconi tilldelas den andra hälften.

Mer information: www.nobel.se

Kontaktpersoner: Jonas Förare, vetenskapsredaktör, tel. 08-673 95 44, 070-327 72 00, jonas@kva.se
 Eva Krutmeijer, informationschef, tel. 08-673 95 95, 0709-84 66 38, evak@kva.se



KUNGL.
 VETENSKAPSAKADEMIEN
 THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES

P.O. Box 50005, SE-104 05 Stockholm, Sweden
 Phone: +46 8 673 95 00, Fax: +46 8 15 56 70
 E-mail: info@kva.se, Web site: www.kva.se

Lilla Frescativägen 4A
 Underground: Universitetet
 Bus 40: Universitetet norra

Nobelpriset i fysik 2002

Årets Nobelpris i fysik handlar om upptäckter och detektion av partiklar och strålning från kosmos, som lett till framväxandet av två nya forskningsfält, neutrinoastronomin och röntgenastronomin. Priset utdelas med ena hälften till **RAYMOND DAVIS JR**, Department of Physics and Astronomy, University of Pennsylvania, Philadelphia, USA och **MASATOSHI KOSHIBA**, International Center for Elementary Particle Physics, University of Tokyo, Japan, "för banbrytande insatser inom astrofysiken, särskilt för detektion av kosmiska neutriner", samt med andra hälften till **RICCARDO GIACCONI**, Associated Universities, Inc., Washington, DC, USA, "för banbrytande insatser inom astrofysiken, som lett till upptäckten av kosmiska röntgenkällor". Här ges en bakgrund och beskrivning av pristagarnas insatser.

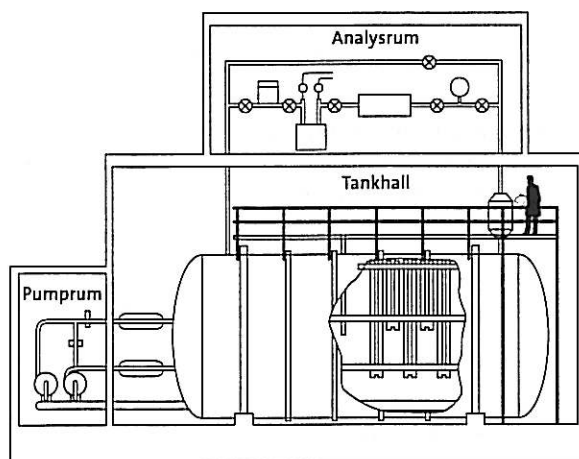
Två nya fönster mot universum

Varför skiner solen?

På 1800-talet diskuterades ivrigt frågan var solens energi kommer ifrån. En teori var att gravitationskrafter utgjorde energikällan, genom att de drar samman solens materia. Den beräknade livslängden för solen blev dock i våra ögon kort, ca 20 miljoner år jämfört med jordens ålder, som vi idag vet är ca 5 miljarder år.

År 1920 visades i ett experiment att en heliumatom har mindre massa än fyra väteatomer. Den brittiske astrofysikern sir Arthur Eddington insåg då att kärnreaktioner där väte omvandlas till helium skulle kunna vara grunden för solens energiförsörjning, genom Albert Einsteins formel $E=m \cdot c^2$. Omvandlingen av väte till helium i solen ger genom en serie reaktioner (kartlagda bl. a. av Nobelpristagaren Hans Bethe) upphov till två neutriner för varje heliumkärna som bildas. Att verifiera denna teori genom att detektera neutriner blev en dröm som de flesta ansåg vara en praktisk omöjlighet. På 1950-talet lyckades dock Nobelpristagaren Frederick Reines och hans medarbetare visa att det var möjligt att påvisa neutriner. De utnyttjade vid sina försök reaktionerna i en kärnreaktor, som ger ett stort flöde av neutriner.

Flödet av neutriner från solen beräknades vara mycket stort: genom en människa skulle, utan att vi märker det, varje sekund passera tusentals miljarder solneutriner. Neutriner reagerar nämligen mycket svagt med materia, och bara en av 1000 miljarder solneutriner skulle stoppas på sin väg genom jorden.



Figur 1. Raymond Davis detektor, som för första gången kunde påvisa förekomsten av solneutriner. Tanken, som var nedsänkt i en guldgruva, rymde över 600 ton tetrakloretylen och var 14,6 meter lång och hade en diameter på 6,1 meter.

Vid slutet av 1950-talet var **Raymond Davis Jr** den ende som vågade satsa på att försöka påvisa solneutriner, trots dessa låga odds. Medan de flesta av reaktionerna i solen ger neutriner med en låg energi som är mycket svåra att detektera, ger en viss sällsynt reaktion en neutrino med högre energi. Den italienske fysikern Bruno Pontecorvo föreslog att denna neutrino borde kunna påvisas efter att den reagerat med en klor kärna, varvid en argon kärna och en elektron bildas. Denna argon kärna är radioaktiv och har en livslängd av omkring 50 dagar.

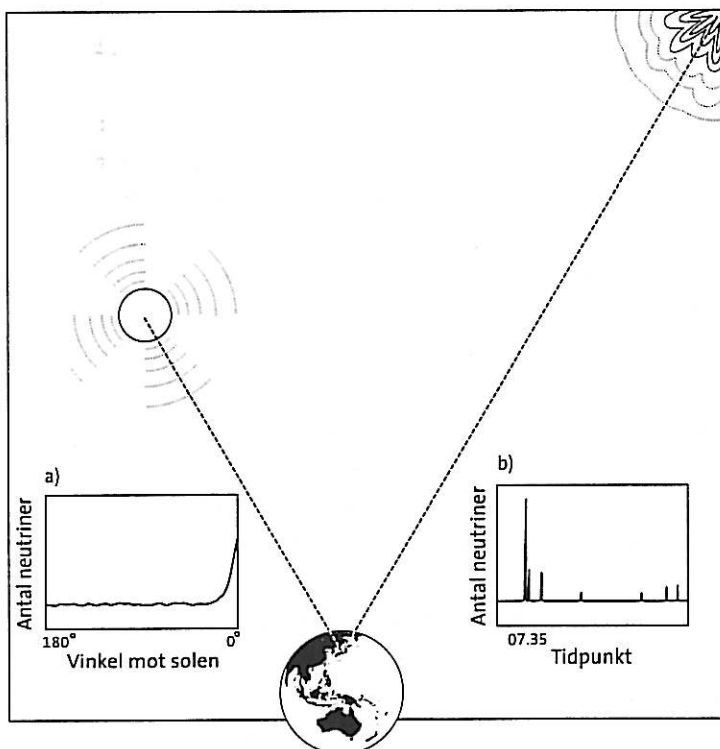
Partiklarna fångades i gruvor

I en guldgruva i South Dakota, USA, placerade Davis på 1960-talet en tank fylld med 615 ton av rengöringsvätskan tetrakloretylen (fig. 1). Totalt fanns i tanken ca $2 \cdot 10^{30}$ kloratomer. Man räknade ut att varje månad omkring 20 neutriner borde fås att reagera, alltså att 20 argonatomer borde bildas. Davis pionjärinsats var att han lyckades utveckla en metod att extrahera argonatomerna och mäta deras antal. Han lät helium bubbla genom klorvätskan och argonatomerna följer då med. En bedrift väsentligt svårare än att finna ett specifikt sandkorn i Saharaöknen!

Experimentet samlade data fram till 1994 och sammanlagt extraherades omkring 2000 argonatomer. Detta var dock färre än beräknat. Genom kontrollförsök kunde Davis visa att inga argonatomer hölls kvar i klortanken. Det verkade alltså som vår förståelse för dessa processer i solen var otillräckliga, eller som att en del av neutrinerne försvunnit på sin väg mot jorden.

Neutriner från rymden?

Under tiden som Davis experiment pågick konstruerade den japanske fysikern **Masatoshi Koshi** och hans forskarlag en annan detektor som fått namnet Kamiokande. Den uppfördes i en gruva i Japan och bestod av en väldig tank, fylld med vatten. När neutriner passerar



Figur 2. a) Solneutrino-observationer i Kamiokande-experimentet. En tydlig topp syns vid den vinkel som motsvarar riktningen mot solen. Den jämna bakgrunden kommer från kosmisk strålning och radioaktivitet runt detektorn. b) Observationen av neutrinoskuren från SN1987A. Figuren visar antalet träffade fotomultiplikatorer i ett 17-minuters intervall med början kl 07:33 UT. Neutrinoskuren kom vid tiden 07:35:35 UT den 23 februari 1987.

genom tanken kan de, i enstaka fall, reagera med atomkärnor i vattnet. Vid reaktionen bildas en elektron, som alstrar små ljusblixtar. Tanken var omgiven av fotomultiplikatorer som kan fånga upp dessa ljusblixtar. Genom att anpassa känsligheten hos detektorerna kunde neutriner påvisas och Davis resultat bekräftas. Avgörande skillnader mellan Davis och Koshibas experiment var att den senares detektor registrerade tiden och hade riktningskänslighet. Det gick därför för första gången att visa att neutriner verkligen kommer från solen (fig. 2a).

Kamiokande-detektorn träffades i februari 1987 av neutrinoskuren från en supernova-explosion i en närbelägen galax till vår Vintergata, med namnet Stora Magellanska molnet (fig. 2b). Avståndet dit är omkring 170 000 ljusår (ett ljusår motsvarar ca 10^{16} meter). Om en neutronstjärna bildas vid en supernovaexplosion kommer det mesta av den enormt stora frigjorda energimängden att sändas ut som neutriner. Totalt cirka 10^{58} neutriner beräknas ha sänts ut från supernovan 1987A, varav Koshibas forskargrupp observerade tolv av de ca. 10^{16} som passerade igenom detektorn. Ett motsvarande experiment i USA kunde bekräfta upptäckten.

Neutriner byter skepnad?

För att öka känsligheten för kosmiska neutriner lät Koshiha konstruera en större detektor, Super-Kamiokande, som kom i drift 1996. Experimentet har nyligen observerat effekter av neutriner producerade i atmosfären, som tyder på ett helt nytt fenomen – neutrino-oscillationer – där neutrino tycks kunna skifta mellan olika typer. Neutrino skulle därvid ha en liten men påvisbar massa, vilket har mycket stor betydelse för den s.k. standardmodellen för elementarpartiklar och också för neutrinernas roll i universum. Det kan också förklara varför Davis inte påvisade så många solneutriner som han förväntat sig.

Davis och Koshibas upptäckter och instrumentutveckling har lagt grunden för ett nytt fält, neutrinoastronomi, med stor betydelse för elementarpartikelfysik, astrofysik och kosmologi. Elementarpartiklarnas standardmodell måste modifieras om neutriner har en massa och en sådan neutrinomassa kan ha stor betydelse för universums samlade massa. Studier där man försöker bekräfta eller förkasta oscillationshypotesen pågår vid många laboratorier i världen.

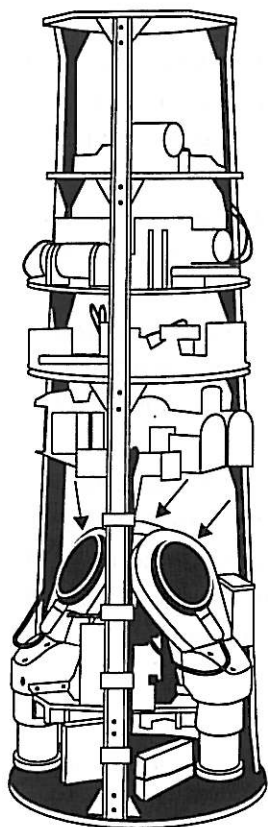
*

En osynlig stjärnhimmel

De röntgenstrålar Wilhelm Röntgen upptäckte 1895 kom snabbt till användning bland fysiker och medicinare på laboratorier och kliniker runt om i världen. Däremot dröjde det ett halvsekel innan astronomerna började studera denna strålning. Det främsta skälet var att röntgenstrålning, som så lätt kan tränga igenom mänsklig vävnad och andra fasta material, absorberas nästan helt av luften i jordens tjocka atmosfär. Det skulle dröja till 1940-talet innan raketutvecklingen nått så långt att instrumenten kunde skickas upp tillräckligt högt.

Den första röntgenstrålningen utanför jorden registrerades av den framlidne Herbert Friedman och hans medarbetare med ett instrument på en raket 1949. Strålningen visade sig komma från områden på solens yta med solfläckar och utbrott och från den omgivande koronan, som är flera miljoner grader het. Men sådan strålning skulle ha varit mycket svår att registrera om solen legat lika långt bort som andra stjärnor i Vintergatan.

År 1959 rekryterades den då 28-årige **Riccardo Giacconi** för att bygga upp ett rymdforskningsprogram åt ett företag som skulle underlätta för unga forskare att få uppdrag från bl. a. NASA. Tillsammans med initiativtagaren, den framlidne Bruno Rossi, arbetade Giacconi fram principer för hur ett röntgenteleskop skulle konstrueras. Deras konstruktion sam-



Figur 3. Instrumentet i spetsen av den Aerobee-raket som sändes upp i juni 1962 av Giacconi och hans grupp, med vilket de första röntgenkällorna utanför vårt solsystem kunde registreras. Instrumentet, som var cirka 1 m långt, innehöll tre Geigerräknare (se pilar), försedda med fönster av olika tjocklek för att strålningens energier skulle kunna bestämmas.

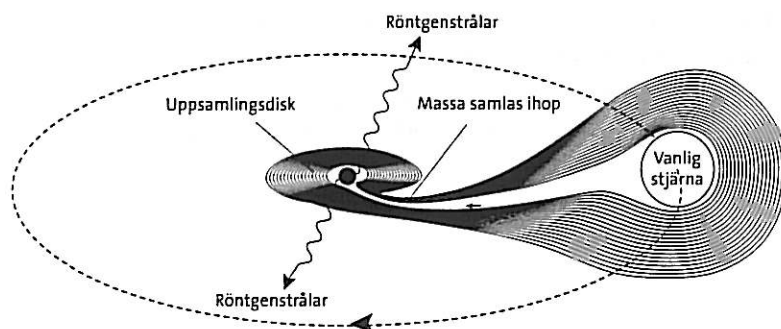
lade strålningen med strutformigt välvda speglar, där strålningen faller mycket snett in mot spegelytan och totalreflekteras. Det är samma fenomen som gör att luften ovanför en asfaltväg kan spegla landskapet en varm sommardag.

Giacconi och hans nybildade grupp utförde också raketexperiment för att försöka påvisa röntgenstrålning från universum, i första hand om månen kunde avge röntgenstrålning under solens inverkan. Vid ett försök pågick raketfärden på hög höjd i sex minuter. Ingen strålning från månen kunde detekteras, men en förvånansvärt stark källa på längre avstånd kunde registreras eftersom raketerna roterade så att dess detektorer (fig. 3) svepte över himlavalvet. Dessutom upptäcktes en bakgrund av röntgenstrålning, jämnt fördelad över himlen.

Dessa oväntade upptäckter gjorde att utvecklingen av röntgenastronomi satte fart. Med tiden förbättrades riktningbestämningarna, och källorna kunde identifieras med observationer gjorda i vanligt ljus. Den upptäckta källan från det första lyckade försöket befanns vara en avlägsen ultraviolett stjärna i Skorpionens stjärnbild, Scorpius X-1 ("X" för röntgenstrålning, "1" för den första). Andra viktiga källor var stjärnor i Svanens stjärnbild (Cygnus X-1, X-2 och X-3). De flesta av de nyupptäckta källorna var dubbelstjärnor, där en stjärna går i en snäv bana kring ett annat objekt som är mycket kompakt; en neutronstjärna eller kanske ett svart hål (fig. 4). Studierna var dock svåra att genomföra, eftersom de möjliga observationstiderna från ballonger och raketer blev korta.

Röntgensatelliter vidgade vyerna

För att förlänga observationstiderna tog Giacconi initiativ till en satellit för kartläggning av himlen i röntgenstrålning. En sådan sändes upp 1970 från en bas i Kenya och fick namnet UHURU ("frihet" på swahili). Den var tio gånger känsligare än raketexperimenten och producerade för varje vecka i omloppsbanan fler resultat än alla de tidigare experimenten tillsammans.

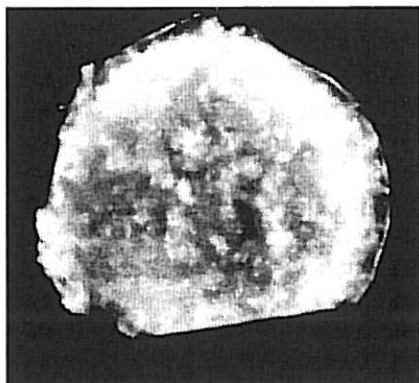


Figur 4. En dubbelstjärna som alstrar röntgenstrålning. Gas strömmar ut från stjärnan och ner mot det kompakta objektet, och accelereras i dess starka gravitationsfält till mycket stora hastigheter. När gasatomerna kolliderar med varandra och bromsas vid neutronstjärnas yta och av dess magnetfält, frigörs intensiv röntgenstrålning.

Ännu hade dock inget högupplösande röntgenteleskop, som kunde leverera skarpa bilder, sänts upp i rymden. Giacconi konstruerade ett sådant som blev klart 1978. Det fick namnet Einstein X-ray Observatory och kunde ge relativt skarpa bilder av universum i röntgenvåglängder. Känsligheten hade förbättrats och objekt en miljon gånger svagare än Scorpius X-1 (se ovan) kunde registreras.

En lång rad upptäckter gjordes med teleskopet. Många röntgendubbelstjärnor studerades i detalj, inte minst ett antal objekt som tros innehålla svarta hål. Också mer normala stjärnor kunde nu undersökas för första gången i röntgenstrålning. Resterna av supernovor analyserades, röntgenstjärnor i galaxer bortom Vintergatan upptäcktes, och utbrott av röntgenstrålning från avlägsna aktiva galaxer kunde undersökas närmare. Röntgenstrålningen från gasen mellan galaxerna i galaxhoparna bidrog till slutsatser om universums innehåll av okänd mörk materia.

Giacconi tog 1976 initiativ till konstruktionen av ett förbättrat, ännu större röntgenobservatorium. Det sändes upp först 1999, under namnet Chandra, döpt efter astrofysikern och Nobelpristagaren Subrahmanyan Chandrasekhar. Chandra har bidragit med utomordentligt detaljerade bilder av himlakroppar i röntgenstrålning (fig. 5), motsvarande dem som kommit från Hubble Space Telescope eller de nya stora jordbaserade teleskopen i synligt ljus.



Figur 5. Resterna efter den supernova – exploderande stjärna – i Cassiopeias stjärnbild, som Tycho Brahe upptäckte 1572 från Herrevadskloster och ingående beskrev. Supernovan ligger på 7500 ljusårs avstånd och är 20 ljusår i diameter (ett ljusår motsvarar 10^{16} meter). Bilden har tagits med Chandrasatelliten i röntgenstrålning. NASA/CXC/SAO. <http://chandra.harvard.edu>

Nytt ljus över svarta hål

Genom röntgenastronomin och dess pionjärer, framförallt Giacconi, har vår bild av universum förändrats på ett avgörande sätt. För ett halvt sekel sedan dominerades bilden av stjärnor och stjärnsystem i jämvikt, där den utveckling som förekom gick mycket långsamt och gradvis. Idag vet vi att universum också är platsen för oerhört snabba utvecklingsfaser, där väldiga energimängder frigörs i sekundsamma förlopp, i anslutning till objekt som inte är mycket större än jorden, men otroligt kompakta. Studiet av processer vid dessa och i de centrala delarna i aktiva galaxkärnor bygger i hög utsträckning på data från röntgenastronomin. Ett nytt och fantastiskt zoo av viktiga och egendomliga himlakroppar har upptäckts och studerats. Universum ter sig idag mycket märkligare än vi trodde för 50 år sedan. Det har inte minst röntgenastronomin bidragit till.

LÄNKAR OCH LÄSTIPS

INTERNET

Advanced information on the Nobel Prize in Physics 2002, The Royal Swedish Academy of Sciences:
<http://www.nobel.se/physics/laureates/2002/phyadvo2.pdf>

Davis experiment:

<http://www.bnl.gov/bnlweb/history/neutrino.html>
<http://chemfo.chm.bnl.gov/SciandTech/SN/default.htm>

Koshiba, Kamiokande, Super-Kamiokande:

<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/index.html>
<http://www.aip.org/physnews/graphics/html/super-k.htm>

Giacconi, röntgenastronomi:

<http://www.slac.stanford.edu/pubs/beamline/25/2/25-2-tucker.pdf> (introducerande text på engelska)
<http://chandra.harvard.edu> (bilder från Chandra-teleskopet)
<http://www.nasa.gov>
<http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/corp/observatories.html> (om de olika satellitobservatorierna)

BÖCKER

Röntgenastronomi:

Exploring the Universe – A Festschrift in Honor of Riccardo Giacconi. (H. Gursky och R. Ruffini, redaktörer)
Rom, Italien, Oktober 1997. World Scientific Publishing Company. Advanced Series in Astrophysics and
Cosmology- Vol. 13. ISBN 981-02-4423-1.
The X-ray Universe. Tucker, W. & Giacconi, R., 1985. Harvard University Press, Cambridge, Mass.

ARTIKLAR

Neutrinoastronomi:

Gåtan om solens neutriner äntligen löst. *Forskning&Framsteg*, nr 6/2002, sid. 7.
Iskub på sydpolen. *Forskning&Framsteg*, nr. 4/2002, sid. 4.
Neutrino – en spöklik budbärare från rymden. *Forskning&Framsteg*, nr. 6/1995, sid. 9–14.
Picking up the pieces. *Nature*, 14 mars 2002, 416:118–119.
Let's catch some rays. *Nature*, 5 september 2002, 419:12–14.

Röntgenastronomi:

När en stjärna dör. *Forskning&Framsteg*, nr 6/2002, sid. 50.

PRISTAGARNA

RAYMOND DAVIS JR

Dept. of Physics and Astronomy
School of Arts and Sciences
University of Pennsylvania
116 College Hall
Philadelphia, PA 19104-6377
USA

www.upenn.edu

Amerikansk medborgare. Född 1914 (87 år) i Washington, DC, USA. Doktorsgrad i kemi 1942 vid Yale University, Connecticut, USA. Tidigare professor vid Department of Physics and Astronomy, University of Pennsylvania, Philadelphia, USA.

MASATOSHI KOSHIBA

International Center for Elementary Particle Physics
University of Tokyo
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku
Tokyo 113-0033
Japan

www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/icepp-e.html

Japansk medborgare. Född 1926 (76 år), i Toyohashi, Aichi, Japan. Doktorsgrad 1955 vid University of Rochester, New York, USA. Tidigare professor vid International Centre for Elementary Particle Physics, University of Tokyo, Japan.

RICCARDO GIACCONI

Associated Universities, Inc.
Suite 730
1400 16 th St., NW
Washington, DC 20036
USA

www.aui.edu

Amerikansk medborgare. Född 1931 (71 år), i Genua, Italien. Doktorsgrad 1954 vid Universitetet i Milano. Chef för Associated Universities, Inc., Washington, DC, USA.

