

Skrivet i stjärnorna

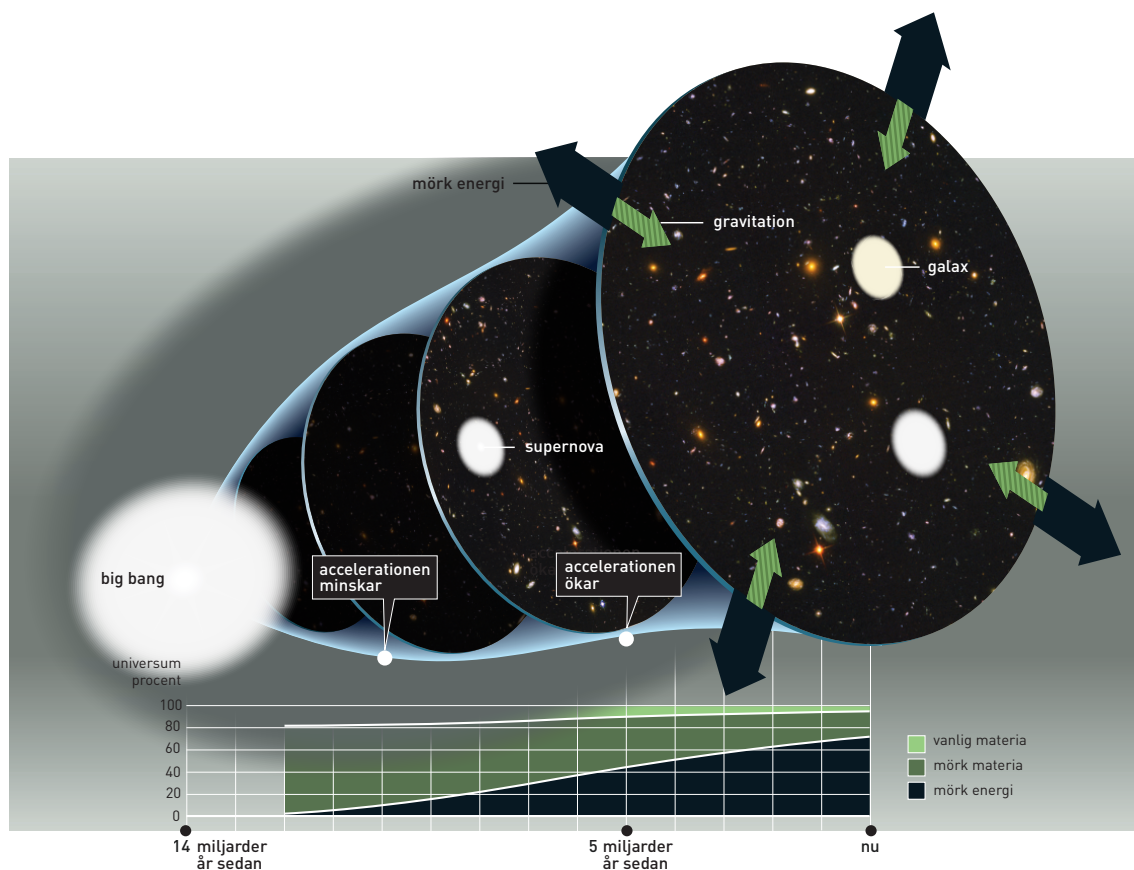
* Robert Frost, *Fire and Ice*, 1920

"Somliga spår världens slut i eld, andra i is..."*

Vilket blir universums slutliga öde? Ska man tro årets Nobelpristagare så blir det förmodligen is. De har med möda följt några dussin stjärnutbrott extremt långt borta i rymden och upptäckt att universum utvidgar sig i en allt snabbare takt.

Upptäckten kom som en total överraskning även för pristagarna själva. Det de såg var som att kasta en boll upp i luften och, istället för att få den tillbaka, bara se den försvinna allt snabbare mot himlen. Gravitationskraften räcker inte till för att vända bollens rörelse. Något liknande tycks hända i hela universum.

Att utvidgningen accelererar innebär att den måste ske under inverkan av en okänd form av energi som finns inbäddad i själva rymdväven. Denna mörka energi fyller en stor del, drygt 70 procent, av världsallet och är en stor gåta, kanske fysikens största i dag. Inte undra på att kosmologin skakades i grunden när två separata forskargrupper offentliggjorde sina fynd 1998.



Figur 1. Världen växer allt snabbare. Universums utvidgning startade vid big bang, men saktade av under de första årmiljarderna. Så småningom fick den mörka energin den att accelerera. Ju större och glesare universum blev, desto lättare blev det för den mörka energin att motverka gravitationen och få utvidgningen att öka farten.

Saul Perlmutter ledde den ena gruppen, Supernova Cosmology Project, som startade sina observationer redan 1988. **Brian Schmidt** ledde en konkurrerande grupp astronomer, High-z Supernova Search Team, som satte igång sina studier mot slutet av 1994, och där **Adam Riess** kom att spela en nyckelroll för upptäckten.

Grupperna tävlade om att kartlägga världsalltet genom att finna de mest avlägsna supernovorna, stjärn-utbrott i rymden. Genom att bestämma avståndet till supernovorna och hastigheten med vilken de far bort från oss, hoppades forskarna kunna avslöja vårt kosmiska öde. De väntade sig finna ett mått på en långsamt avtagande utvidgning av rymden, vilket skulle leda till balans mellan is och eld. Så blev det nu inte. De fann motsatsen – utvidgningen tilltog med allt högre fart.



Figur 2a. *Blinka lilla stjärna där, hur jag undrar var du är...*

Kosmos växer

Det är inte första gången som astronomin vänder helt på våra föreställningar om universum. Ännu för hundra år sedan tedde sig hela världsalltet som en enkel och stilla plats. Det var inte större än vår hemgalax, Vintergatan. Den kosmiska klockan verkade ticka pålitligt och regelbundet, och universum varade för evigt. Snart skulle dock en dramatisk omvälvning i denna världsbild inträda.

Avgörande för detta var en upptäckt som amerikanskan Henrietta Swan Leavitt gjorde i början av 1900-talet. Hon fann en måttstock för att mäta avstånden till avlägsna stjärnor. Kvinnor hade inte tillträde till teleskop på den tiden, men de användes gärna till det mödosamma arbetet att läsa av fotografiska plåtar. Henrietta Leavitt studerade tusentals pulserande stjärnor, cepheider, och fann ett fast samband mellan hur de varierade i tiden och deras ljusstyrka. Därmed kunde cepheidernas absoluta ljusstyrka beräknas. Om bara en cepheidstjärnas avstånd från oss var känt kunde alla andra sträckor bestämmas genom att följa hur stjärnornas ljus ändrades med ökande avstånd. Ett pålitligt standardljus var fött, ett första steg på den kosmiska avståndsskalan som används än i dag.

Med cepheidernas hjälp kunde astronomerna snart visa att Vintergatan bara är en galax bland många andra galaxer i universum. Och när astronomerna på 1920-talet fick tillgång till världens största teleskop på Mount Wilson i Kalifornien kunde de visa att nästan alla galaxer rör sig bort från oss och varandra. De studerade så kallad *rödförskjutning*, som uppträder när ljuskällan avlägsnar sig från oss. Ljusets våglängd sträcks då ut och längre vågor har rödare färg. Ju längre bort desto snabbare far galaxerna iväg, blev slutsatsen, det kallas Hubbles lag. Kosmos växer.



Figur 2b. **Standardljus** med jämn ljusstyrka behövs för att kunna bestämma avståndet till stjärnorna

Kosmologiska konstanten kommer och går

Vad astronomerna såg på himlen hade faktiskt redan tidigare uppenbarat sig i teoretiska beräkningar. År 1915 lade Albert Einstein fram sin allmänna relativitetsteori som alltsedan dess utgör fundamentet till vår förståelse av världsalltet. Teorin beskriver ett universum som måste antingen utvidga sig eller krympa.

Det var ett besvärande resultat som kom något decennium före upptäckten av de bortflyende galaxerna. Inte ens Einstein kunde förlika sig med ett världsallt som inte funnits för evigt. Så för att stoppa en oönskad kosmisk utveckling satte Einstein in en konstant i sina ekvationer, den kosmologiska konstanten. Den beskrev energin hos själva tomrummet. Senare betraktade Einstein införandet av den kosmologiska konstanten som ett stort misstag. Men, med årets prisbelönta mätningar från 1997–98, kan vi konstatera att Einstein gjorde ett genidrag när han införde den – även om det var av fel anledning.

Upptäckten av expansionen blev ett avgörande första steg mot dagens standardbild av universum som tillkommet i big bang för nästan 14 miljarder år sedan. Både rummet och tiden fick sin början där. Alltsedan dess utvidgas rymden. Som i en jäsande deg där russinen förs bort från varandra, bärs galaxerna bort av det kosmiska rummets utvidgning. Men vart bär det hän?

Supernovor blir universums nya måttstock

När Albert Einstein hade gjort sig av med den kosmologiska konstanten och försonats med tanken att universum inte är statiskt, kopplade han ihop universums geometriska form med dess öde. Är det öppet, slutet eller mittemellan – ett plant universum?

Ett öppet universum är ett sådant där all materia det innehåller inte orkar att med sin gravitation motverka expansionen utan blir alltmer utspädd i en allt större, allt tommare och allt kallare rymd. I ett slutet universum, å andra sidan, räcker materieinnehållet till för att hejda expansionen och vända den tillbaka till en slutgiltig kollaps, big crunch. Det blir ett hett och våldsamt slut. Dock skulle de flesta kosmologerna helst vilja leva i ett plant universum, som anses vara enklast och matematiskt vackrast. Ett sådant där man trodde att expansionen skulle avta successivt. Varken is eller eld, alltså. Om man finge välja. Det kan vi inte. Om det finns en kosmologisk konstant så kommer expansionen att fortsätta i allt snabbare takt, även om universum är plant.

Årets pristagare var ute efter att mäta den kosmiska inbromsningen. Metoden de valde var i princip samma som astronomerna använde sex decennier före dem: hitta stjärnor som ligger långt bort från oss och mäta hur de rör sig. Det är dock lättare sagt än gjort. Cepheiderna är till hjälp bara som ett första steg trots att många fler och mer avlägsna cepheider har hittats sedan Henrietta Leavitts dagar. På miljarder ljusårs avstånd syns inte deras strålar längre. Det gällde att förlänga den kosmiska måttstocken.

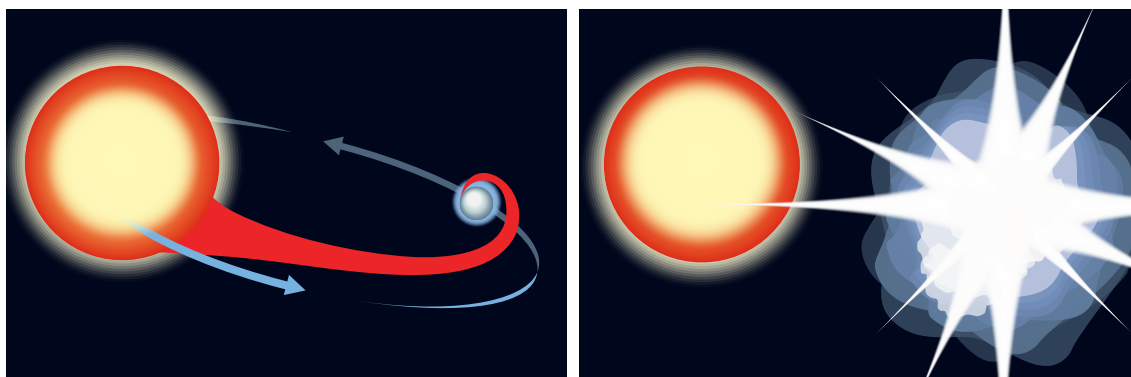
Det gjordes med supernovor, stjärnutbrott, som blev de nya standardljusen. Tillsammans med mer sofistikerade teleskop på marken och i rymden samt kraftfullare datorer öppnades på 1990-talet möjligheten att få de kosmiska pusselbitarna på plats. Avgörande för upptäckten var de ljuskänsliga digitala bildsensorerna (CCD), en uppfinning som belönades med 2009 års Nobelpris i fysik till Willard Boyle och George Smith.

De vita dvärgarnas häftiga utbrott

Astronomins nya redskap är en särskild sorts stjärnutbrott, *supernovor av typ Ia*. En enda sådan supernova kan under några veckor överglänsa en hel galax. Det är en oerhört kompakt gammal stjärna som exploderar, tung som solen men liten som jorden, och den kallas *vit dvärg*. Explosionen utgör sista etappen av dess liv.

Vita dvärgar bildas när bränslet i en stjärnas inre tagit slut, allt väte och helium har förbrukats i fusionsprocesserna. Kvar finns bara kol och syre. Så kommer också vår sol att blekna och svalna av när den slutar sina dagar som en vit dvärg om några miljarder år.

Ett mycket häftigare slut väntar dock en vit dvärg som lever i par med en annan stjärna, vilket är ganska vanligt. Den vita dvärgens starka gravitation drar till sig stjärnkompanjonens materia. Men när den vita dvärgen uppnår en massa på 1,4 solmassor orkar den inte hålla ihop längre. Stjärnan blir så het i sitt inre att fusionsreaktioner sätter igång och på bara några sekunder slits den vita dvärgen sönder i en kraftfull explosion.



Figur 3. Supernovautbrott. En kompakt gammal stjärna, vit dvärg, stjälar gas från sin kompanjon med hjälp av sin gravitation.

När den vita dvärgen når 1,4 solmassor exploderar den som supernova av typ Ia. Supernovan flamlar då upp med ljus som kan överglänsa en hel galax.

Kärnprocesserna avger stark strålning som ökar kraftigt under några veckor för att sedan avta under de nästföljande månaderna. Det är alltså bråttom att hitta supernovorna – deras våldsamma flamma är kortvarig. I hela vårt synliga universum inträffar kanske tio supernovautbrott av typ Ia i minuten. Men universum är stort. I en galax tänds bara 1–2 supernovor per 1 000 år. Därför var det ovanligt att vi i september 2011 kunde se en sådan supernova i en galax nära Karlavagnen på himlen med en vanlig fältkikare. De allra flesta supernovorna är dock mycket ljussvaga, så när och var ska man titta på det stora himlavalvet?

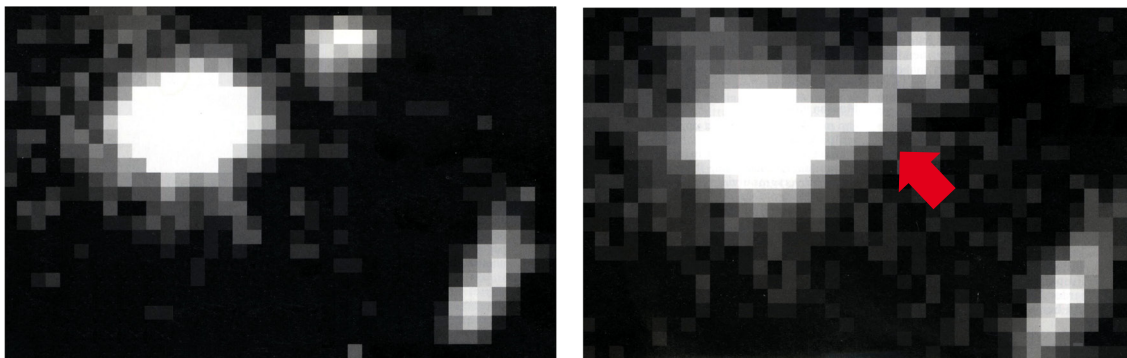
Häpnadsväckande slutsats

Det gällde att finkamma himlen på avlägsna supernovor. Knepet är att avbilda en så stor yta av himlen som möjligt (ungefär en tumnagel på armlängds avstånd) två gånger – strax efter nymåne och sedan tre veckor senare, innan månluuset återigen dränker annan strålning. Så jämförs bilderna i jakt på en liten ljusprick som kanske kan vara ett tecken på att det i en galax långt borta tänts en supernova, en pixel bland otaliga andra på den digitala bildsensorn. Bara de supernovor som är tillräckligt långt borta, kanske en tredjedel ut i det synliga universum, räknas så att själva utvidgningen kan mätas utan att lokala störningar kommer emellan.

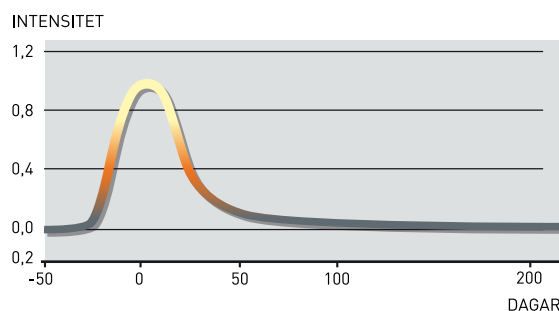
Men det var också många andra svårigheter som behövde undanröjas på vägen. Supernovor av typ Ia är inte riktigt så pålitliga som de tycktes från början – de ljusstarkare utbrotten avtar långsammast. Dessutom behöver ljuset från supernovorna skiljas ut från bakgrunden som deras värdgalaxer utstrålar.

En viktig fråga var att få fram rätt ljusstyrka. Svårigheten är att rymdens stoff som ligger i vägen mellan oss och stjärnorna förändrar stjärnljuset. Detta snedvrider resultaten när supernovans maximala ljusstyrka ska räknas fram.

Att hitta rätt supernovor blev en utmaning som sträckte inte bara kunskapens och teknikens gränser utan även logistikens. Först – hitta en kandidat för rätt sorts supernova, sedan – mäta dess rödförskjutning och ljusstyrka. Ljuskurvan måste då följas under en tid för att kunna jämföras med andra supernovor av samma



Figur 4. Supernova 1995ar. Så hittades den: ett område på himlen skannades av under en mörk natt strax efter nymåne. Tre veckor senare dök en ljusfläck upp! Att det var en supernova av typ Ia visade sig efter ytterligare observationer med teleskop då det för supernovan karakteristiska ljuset kunde studeras närmare. Ljuskurvan är likadan för alla sådana supernovor, mest ljus avger de under bara några veckor (diagram till höger).



typ och med känt avstånd. Det krävdes ett nätverk av forskare som mycket snabbt kunde ställa diagnos på vilken stjärna som var lämplig att följa. Man behövde kunna växla mellan teleskopen och begära observationstid, vilket annars oftast tilldelas månader i förväg. Och det var bråttom – supernovorna falnar snabbt. Då och då korsade de två konkurrerande grupperna diskret varandras spår.

Fallgroparna hade varit många, så när resultaten kom blev forskarna faktiskt stärkta av att båda grupperna kommit fram till samma överraskande slutsats. Sammanlagt hittade de drygt 50 avlägsna supernovor som verkade lysa svagare än väntat. Detta var tvärt emot vad grupperna förväntat sig att finna – supernovorna borde lysa starkare om universums utvidgning saktas av. Istället bleknar ljuset när de bärs, inbäddade i sina galaxer, iväg med rymdens utvidgning som går allt snabbare. Expansionen bromsas inte, utan tvärtom – den tilltar, blev den oväntade slutledningen.

Härifrån till evigheten

Vad är det som håller på och ger universum extra skjuts? *Mörk energi* kallas det och är en utmaning för fysikens teorier som ännu ingen kunnat anta. Flera lösningar har föreslagits. Det enklaste är att återuppliva Einsteins kosmologiska konstant, den som tidigare hade förpassats bort från teorin. Då sattes den kosmologiska konstantens antigravitation in som motvikt till gravitationen från materien för att få fram ett stillastående universum. I dag tycks den kosmologiska konstanten snarare kunna stå för den av Nobelpristagarna upptäckta accelerationen av vårt expanderande universum.

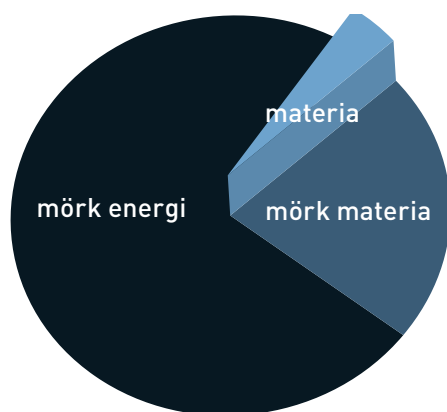
Den kosmologiska konstanten är konstant, alltså förändras den inte med tiden. Så när gravitationen från materian späds ut i takt med rymdens utvidgning spelar den mörka energin en allt större roll. Därför gav sig den kosmologiska konstanten tillkänna först senare i universums historia, resonerar forskarna, någon gång för fem–sex miljarder år sedan. Då hade gravitationen från rymdens materia försvagats tillräckligt i förhållande till den kosmologiska konstanten. Innan dess bromsades utvidgningen något istället.

Den kosmologiska konstanten kan ha sin källa i tomrummet som enligt kvantfysiken aldrig är riktigt tomt. Istället sjuder det av energi skapad när virtuella materie- och antimateriepartiklar oavbrutet föds och förintas i en ständigt bubblande kvantsoppa. Problemet är dock att mängden av denna mörka energi,

enligt den enklaste kvantfysikaliska uppskattningen, inte stämmer det minsta överens med vad som har uppmätts i rymden – den blir 10^{120} (en etta följd av 120 nollor) gånger större. Det är ett oförklarligt gigantiskt gap mellan teorin och observationerna – på alla jordens stränder finns det inte fler än 10^{20} (en etta med 20 nollor) sandkorn.

Det har också spekulerats i att konstanten kanske inte är konstant. Kanske ändras den med tiden. Kanske har den mörka energin sitt ursprung i något okänt kraftfält som då och då ger upphov till mörk energi. Det finns många sådana fält i fysiken med samlingsnamnet kvintessens, efter grekiskans namn för det femte elementet. Det skulle ge universum extra fart, men bara ibland. Och då går det inte att förutsäga vilken framtid universum går tillmötes.

Vad den mörka energin än är för något verkar den vara här för att stanna. Den faller väl in i det kosmiska pussel som sedan länge håller



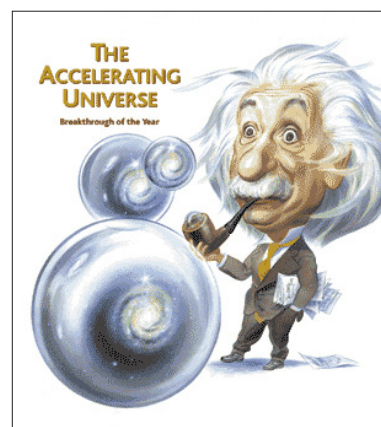
Figur 6. Bakom accelerationen ligger den mörka energin. Tillsammans med lika okänd mörk materia utgör den 95 procent av världsalltet. Bara fem procent är känd materia som stjärnor, galaxer och vi själva är gjorda av.

på att sättas ihop av fysiker och astronomer. Enligt den

bilden består universum till cirka tre fjärdedelar av mörk energi. Resten är materia, men det stoff som galaxerna, stjärnorna, vi och blommorna är gjorda av utgör bara ynk fem procent av universum. Den resterande femtedelen kallas mörk materia och är av okänt slag.

Mörk materia är ytterligare ett mysterium i det redan till största delen okända kosmos. Liksom den mörka energin är den mörka materian osynlig. Båda ger sig tillkänna bara genom sin inverkan på omgivningen – den ena drar ihop, den andra pressar på. De verkar inte ha något annat gemensamt än förnamnet.

Årets Nobelpristagare har alltså bidragit till att forskarna numera måste konfrontera ett kosmos där 95 procent av innehållet är en gåta. Och allt är möjligt igen.



Figur 5. Årets upptäckt. 1998 utnämnde tidskriften *Science* upptäckten av universums accelererande utvidgning till årets upptäckt. På omslaget fick Albert Einstein begrunda sin kosmologiska konstant som åter kommit in i teorierna om världsalltet.

KÄLLA: John Kasch/Science, 18 december 1998, vol. 282, no. 5397.

LÄNKAR OCH LÄSTIPS

Mer information om årets priser, bland annat en vetenskaplig bakgrundsartikel på engelska, finns på Kungl. Vetenskapsakademiens webbplats, <http://kva.se> och på <http://nobelprize.org>. Där kan man också se presskonferensen som webb-TV. Mer information om utställningar och aktiviteter kring Nobelprisen och Ekonomipriset finns på www.nobelmuseum.se.

Populärvetenskapliga artiklar

Goobar, A. (1998) Universums öde – evig expansion, *Forskning & Framsteg*, nr 4.

Perlmutter, S. (2003) Supernovae, Dark Energy and the Accelerating Universe, *Physics Today*, vol. 56, nr 4.

Krauss, L.M. och Turner, M.S. (2004) A Cosmic Conundrum, *Scientific American*, <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=a-cosmic-conundrum>

Riess, A.G. och Turner, M.S. (2004) The Expanding Universe: From Slowdown to Speed up, *Scientific American*, <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=expanding-universe-slows-then-speeds>

Appell, D. (2008) Dark forces at work, *Scientific American*,
<http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=dark-forces-at-work>

Intervjuer

Heard, M. (2001) *Interviews with Australian scientists. Dr Brian Schmidt Astronomer*. The Australian Academy of Sciences, www.science.org.au/scientists/interviews/s/bs.html

Appell, D. (2008) Discovering a Dark Universe: A Q&A with Saul Perlmutter. *Scientific American*,
www.scientificamerican.com/article.cfm?id=discovering-a-dark-universe

Webbplats

Runaway Universe, www.pbs.org/wgbh/nova/universe/

Böcker

Livio, M. (2000) *The Accelerating Universe*, Wiley, New York.

Krauss, L. (2000) *Quintessence*, Basic Books, New York.

Goldsmith, D. (2000) *The Runaway Universe*, Perseus Books, Cambridge, MA.

Kirshner, R. (2002) *The Extravagant Universe*, Princeton University Press, Princeton, NJ.

Vetenskapliga artiklar

Riess, A.G. et al. (1998) Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant, *Astronomical Journal* 116: 1009–1038.

Perlmutter, S. et al. (1999) Measurement of Ω and Λ from 42 High-Redshift Supernovae, *Astrophysical Journal*, 517: 565–586.

Perlmutter, S. och Schmidt, B.P. (2003) Measuring Cosmology with Supernovae, *Lecture Notes in Physics*,
<http://arxiv.org/abs/astro-ph/0303428>

PRISTAGARE

SAUL PERLMUTTER

Amerikansk medborgare. Född 1959 (52 år) i Champaign-Urbana, IL, USA. Fil.dr 1986 vid University of California, Berkeley, CA, USA. Head of the Supernova Cosmology Project, Professor of Astrophysics, Lawrence Berkeley National Laboratory och University of California, Berkeley, CA, USA.

www.physics.berkeley.edu/research/faculty/perlmutter.html

BRIAN P. SCHMIDT

Amerikansk och australisk medborgare. Född 1967 (44 år) i Missoula, MT, USA. Fil.dr 1993 vid Harvard University, Cambridge, MA, USA. Head of the High- z Supernova Search Team, Distinguished Professor, Australian National University, Weston Creek, Australien.

<http://msowwww.anu.edu.au/~brian/>

ADAM G. RIESS

Amerikansk medborgare. Född 1969 (42 år) i Washington, DC, USA. Fil.dr 1996 vid Harvard University, Cambridge, MA, USA. Professor of Astronomy and Physics, Johns Hopkins University och Space Telescope Science Institute, Baltimore, MD, USA.

www.stsci.edu/~ariess/