

Crafoordpriset 2008

Årets Crafoordpris kombinerar abstrakt matematik med astrofysik. Det belönar matematiska upptäckter av betydelse för de grundläggande naturlagarna, samt forskning om svarta hål och det tidiga universum. Årets pristagare har var och en lämnat avgörande bidrag till förståelsen av universums ursprung.

Matematik

Årets pristagare i matematik, matematikern **Maxim Kontsevich** och den teoretiske fysikern **Edward Witten**, har använt fysikens metoder för att utveckla ny matematik. Deras resultat har stor betydelse för fundamental fysik som partikelfysik och strängteori.

Strängarnas matematik

Fysiken har under hela sin historia utvecklats i intimt samspel med matematiken. Det är vanligt att matematik som nyfikna matematiker tar fram utan tanke på tillämpning får en oväntad användning inom fysiken. Men ibland inträffar också det motsatta. Metoder avsedda för att hantera fysikaliska problem visar sig leda till ny matematik. Detta gäller i hög grad den forskning som årets pristagare Maxim Kontsevich och Edward Witten arbetat med.

Witten hör till de mest framstående teoretiska fysikerna genom tiderna och har i sin forskning främst ägnat sig åt strängteorin. Strängteorin är ett försök att foga samman kvantmekaniken med den allmänna relativitetsteorin för gravitationen till en motsägelsefri helhet. Det skulle innebära ett stort genombrott att på detta sätt skapa en teori som beskriver alla de fyra fundamentala naturkrafterna.

Figur 1.

Enligt strängteorin är de partiklar som bygger upp vår värld olika manifestationer av strängar. Beroende på hur en sådan sträng vibrerar uppträder den som en elektron, kvark, foton eller någon annan partikel.

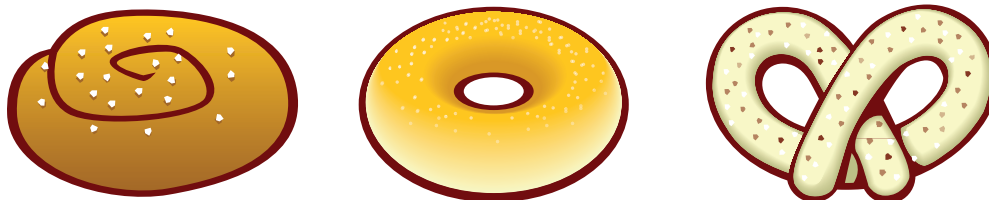


Strängteorin kräver att rummet har fler dimensioner än de tre vi känner till vardags. Sex eller till och med sju stycken extra behövs för att ekvationerna skall gå ihop. De extra dimensionerna måste vara oerhört små för att ha undgått upptäckt vid de experiment man hittills lyckats utföra vid partikelacceleratorer världen över. Men strängteorin förutsäger att om energin blir tillräckligt hög kommer man till slut att kunna urskilja ytterligare riktningar i rummet.

För att räkna fram teorins förutsägelser behöver man ny matematik. Det är just detta som Witten tagit fasta på, och med hjälp av metoder lånade från den teoretiska fysiken har han genomfört beräkningar som tidigare varit omöjliga. Kontsevich har i sin tur använt sig av samma slags fysikaliska intuition men på ett banbrytande sätt tagit ytterligare steg och verifierat att de av fysiken inspirerade metoderna faktiskt fungerar matematiskt och ger upphov till korrekta resultat. Kontsevich har i sina arbeten visat att han hör till vår tids mest originella matematiker.

Munkar, knutar och fisknät

En viktig del av matematiken handlar om att klassificera och numrera olika geometriska objekt. Ett enkelt exempel är slutna ytor. Om man inte får slita sönder eller lappa ihop, men i övrigt får böja och töja som man vill, kan de klassificeras genom antalet hål. En bulle har inget och en munk från ett bageri i allmänhet ett hål.



Figur 2.

Ett sätt att skilja på olika typer av bakverk kan vara att räkna antalet hål. På liknande sätt skiljer matematiker på olika slags geometriska objekt.

När det gäller fler dimensioner än två är det besvärligare att hålla koll på geometrin och mycket spännande matematik återstår att upptäcka. En särskilt betydelsefull och vacker egenskap som Kontsevich och Witten studerat är den så kallade spegelsymmetrin. Den har att göra med hur strängarnas extra dimensioner under vissa omständigheter geometriskt kan se helt olika ut men ändå ge upphov till samma fysik i den vanliga fyrdimensionella rumtiden bestående av höjd, bredd, djup och tid.

De metoder som ligger till grund för de matematiska framstegen har lånats från partikelfysiken där man använder den kraftfulla kvantfältteorin för att beskriva elementarpartiklarna och deras växelverkan. Genom att summera alla de sätt partiklar kan röra sig på och omvandla sig till nya kan man med kvantfältteorin beräkna sannolikheter för olika resultat när man kolliderar partiklar i partikelacceleratorer.

Dessa summor kan uttryckas med hjälp av *Feynmandiagram*. Diagrammen är uppkallade efter den amerikanske fysikern och Nobelpristagaren Richard Feynman och visar de olika sätt som partiklar kan röra sig på. Fysikerna har utarbetat metoder för att räkna ut dessa summor av möjligheter som också framgångsrikt har kunnat tillämpas.

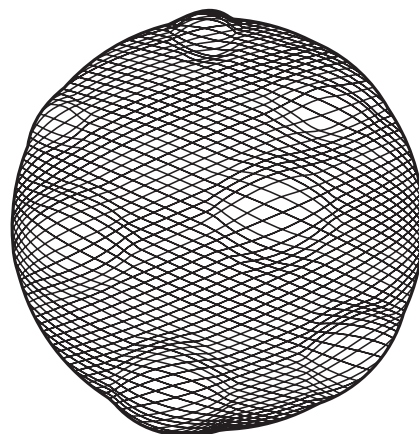
Överensstämmelsen med de experimentella resultaten är många gånger häpnadsväckande – det fungerar verkligen.

Trots framgången finns det ändå principiella svårigheter med metoderna. Många gånger uppträder besvärliga oändligheter som egentligen borde göra resultaten meningslösa. Den allmänna uppfattningen bland fysiker är att man lyckats bemästra problemen och att de resultat man får fram är både meningsfulla och korrekta. Men ur en matematisk utgångspunkt är detta inte helt tillfredsställande. Kan man verkligen räkna så här? Är allt verkligen väldefinierat? För att ett resultat skall kunna sägas vara säkerställt matematiskt ställs höga krav. Det som ligger bakom framgången hos årets pristagare är att man trots dessa farhågor vågat använda sig av fysikens metoder – särskilt Feynmandiagrammen – i sökandet efter ny matematik.

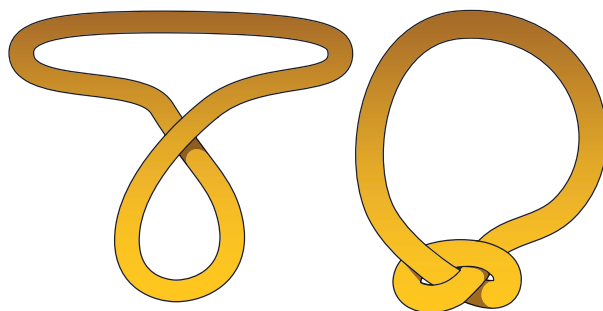
Ett exempel rör gravitation i två dimensioner som i princip går ut på att summera alla olika sätt som en yta kan vara knölig på. Witten kunde gissa sig till en relation mellan två skilda sätt att lösa problemet, där den ena metoden gick ut på att ersätta den geometriska ytan med ett fisknät av samma form uppbyggt av Feynmandiagram. Genom att använda Feynmandiagrammen på ett helt nytt sätt kunde Kontsevich visa att Wittens gissningar var helt korrekta.

Figur 3.

Med nät uppbyggda av Feynmandiagram kan man skapa ytor av olika form och analysera deras egenskaper, till exempel på vilket sätt de är knöliga.



Något så skenbart enkelt som en knut gömmer också mycket spännande matematik där liknande metoder kommer till användning. Genom att se tråden i en knut som ett spår av en partikel kunde Witten ta fram matematiska uttryck som skiljer på olika slags knutar. Kontsevich kunde också i detta fall gå vidare och visa att matematiken verkligen går ihop.



Figur 4.

Att matematiskt skilja på olika typer av knutar är ett besvärligt problem som pristagarna har hittat fungerande lösningar för.

Den matematik som Witten och Kontsevich utvecklat inspirerade av den fundamentala fysiken är av stort principiellt intresse. Resultaten är oberoende av hur och när det blir möjligt att testa strängteorin, och det är mycket möjligt att de kommer att finna sin tillämpning inom helt andra områden.

Många fysiker menar dock att det med hjälp av kosmologin, som studerar universums uppkomst, utveckling och storskaliga struktur, kommer att bli möjligt att söka ledtrådar till den nya värld där all denna matematik kommer att spela en avgörande roll. Detta för oss över till den andra delen av årets Crafoordpris.

Astronomi

Årets pristagare i astronomi, **Rashid Sunyaev**, har ägnat sig åt att studera universums mest extrema processer. Han har utvecklat teoretiska modeller för den kosmologiska bakgrundsstrålningen och för hur svarta hål slukar materia. Han har också varit ledare för forskarlag som arbetat med instrument på satelliter och rymdstationer.

Hur man ser ett svart hål

Ett svart hål svarar mot ett område i rymden där gravitationen är så stark att ingenting, inte ens ljuset, kan slippa därifrån. De första spekulationerna kring objekt av detta slag går tillbaka till 1700-talet, men det var först med hjälp av Einsteins allmänna relativitetsteori som man riktigt kunde förstå vad det handlade om.

Svarta hål kan bildas när en jättestjärna dör i form av en supernova. Det inre av stjärnan störtar samman och en stor mängd materia koncentreras till ett litet område. Svarta hål av den här typen väger upp till något tiotal gånger mer än vad solen gör, medan deras radie räknas i kilometer.

Man vet också att det finns betydligt större svarta hål i kärnan hos de flesta galaxer. Dessa svarta hål kan väga miljoner eller miljarder gånger mer än vad solen gör och ha samma storlek som vårt solsystem. Även vår galax Vintergatan gömmer ett stort svart hål i sitt centrum.

Ett svart hål i närbild skulle se ut som ett stort och alldeles svart klot – inte ens ljuset kan ju ta sig ut därifrån. Det är därför en rimlig slutsats att svarta hål måste förbli svåra eller omöjliga att upptäcka. Men det paradoxala är att svarta hål hör till de mest kraftfullt strålande objekten i hela universum. Teorin bakom hur detta går till utarbetades av Sunyaev tillsammans med den ryske astrofysikern Nikolay Shakura. Arbetet hör till ett av de allra mest citerade inom den moderna astrofysiken.

Hemligheten med hur svarta hål kan bli synliga är att de ofta befinner sig i närheten av stjärnor eller annan materia. Om den stjärna som exploderade som supernova inte var ensam utan medlem av ett dubbelstjärnesystem – och systemet överlever explosionen – kan det svarta hålet suga åt sig materia från sin tilltufsade partner. På liknande sätt kan vilsegångna stjärnor bli offer för de jättelika svarta hålen i galaxernas kärnor.

Materien som ramlar in mot det svarta hålet slukas inte genast utan går först in i en omloppsbanan. Den snabbt roterande skivan av materia kallas *ackretionsskiva*, och dess struktur och egenskaper beskrivs av den teori som Sunyaev och Shakura utarbetat.



Figur 5.

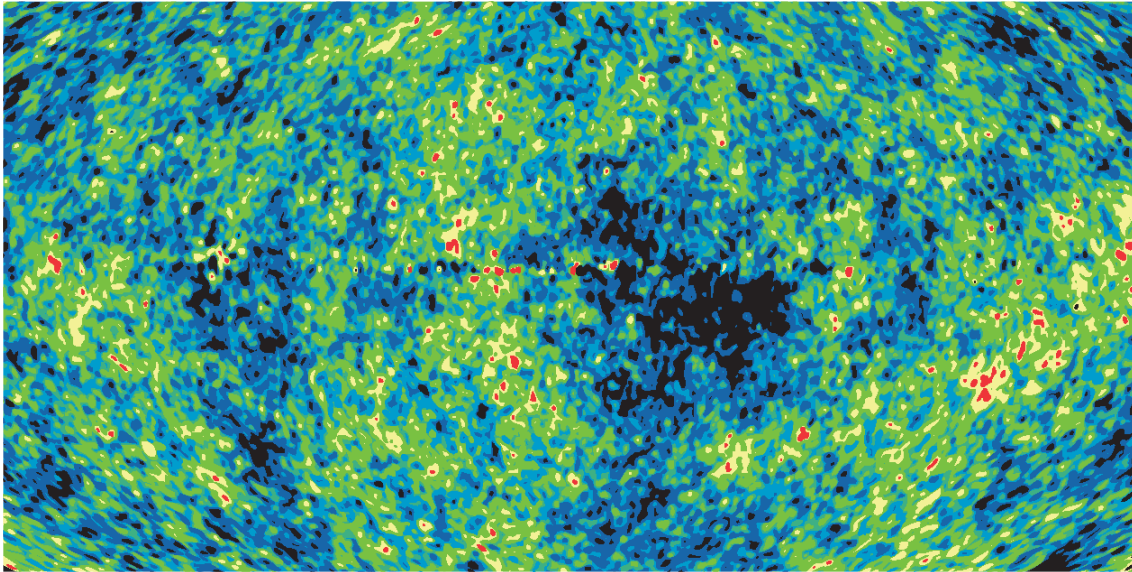
Materia som faller in mot ett svart hål bildar en tunn, snabbt roterande skiva. Stora svarta hål omgivna av sådana skivor gömmer sig i galaxernas kärnor.

När materiemolnen i skivan gnids mot varandra hettas de upp av friktionen. Friktionen har dessutom en inbromsande effekt på molnen som gör att de närmar sig det svarta hålet alltmer. Till slut trillar de in i det svarta hålet men innan detta sker hinner de sända ut röntgenstrålning som är så stark att vi kan mäta den från Jorden. Vi kan alltså inte observera det svarta hålet direkt men ändå tydligt påvisa dess existens genom ackretionsskivans strålning. Det är på detta sätt man sedan några decennier tillbaka vet att det verkligen finns svarta hål.

Sunyaevs och Shakuras teori för ackretionsskivor går att använda så väl för små svarta hål skapade av supernovaexplosioner som för de stora svarta hålen i galaxkärnorna. De ljusstarkaste objekten som finns i hela universum – kvasarerna – kan på så sätt få sin förklaring i form av aktiva galaxkärnor med svarta hål som energikälla.

Ljuset från ursmällen

Sunyaev har även bidragit till kosmologin och våra möjligheter att ta reda på vad som hände när universum skapades. Tillsammans med en annan framstående rysk astrofysiker, Yakov B. Zeldovich, lade Sunyaev grunden för dagens framgångsrika försök att läsa av universums egenskaper i den kosmologiska bakgrundsstrålningen.



Figur 6.

Den kosmologiska bakgrundsstrålningens fördelning över himlen kan kartläggas med hjälp av teleskop känsliga för mikrovågor. Strålningens struktur ger ledtrådar till vad som hände vid Big Bang. Bild: NASA/WMAP Science Team <http://map.gsfc.nasa.gov>

Strålningen härstammar från en tid några hundratusen år efter Big Bang då universum för första gången blev genomskinligt. Teorin för hur detta gick till är en viktig del av Sunyaevs och Zeldovichs arbeten. Strålningen har sedan dess färdats nästan ostört genom universum och kan nu observeras som mikrovågor. När vi studerar den kosmologiska bakgrundsstrålningen ser vi tillbaka i tiden nära 14 miljarder år.

Men strålningen är inte helt jämn utan bär på viktiga spår av vad som hände i det tidiga universum. Våldiga ljudvågor från Big Bang rullade fram genom den heta materien vilket i sin tur gav upphov till variationer i bakgrundsstrålningens temperatur som vi nu kan observera. Genom att undersöka hur mycket variation i temperaturen det finns på olika skalor kan man analysera ljudvågornas framfart och ur detta dra slutsatser om universums egenskaper. Vågornas påverkan på bakgrundsstrålningen förutsades både av Sunyaev/Zeldovich och P. J. E. Peebles (Crafoordpristagare 2005)/J.T. Yu oberoende av varandra redan 1970, och deras beräkningar har verifierats med hjälp av observationer utförda från satelliter och ballonger. Studiet av den kosmologiska bakgrundsstrålningens struktur är en av de absolut viktigaste metoderna att nå kunskap om det tidiga universum.

Bakgrundsstrålningen kan också användas för att ta reda på hur universums materia var fördelad vid tidpunkter långt efter Big Bang. På sin väg till oss under årmiljarderna passerar bakgrundsstrålningens ljuspartiklar eller fotoner galaxer och galaxhopar. Fotonerna kan påverkas av galaxhoparna bland annat genom att de krockar med elektroner i de heta moln som många galaxhopar ligger inbäddade i. Effekten kallas för Sunyaev-Zeldovich-effekten och kan i kombination med andra mätningar av särskilt röntgenstrålning ge viktiga ledtrådar till egenskaperna hos vårt universum. På detta sätt kan man få hjälp att mäta avstånd till galaxhopar, men också få mer information om mörk materia och mörk energi, som man antar utgör en stor del av universum men ännu inte vet så mycket om. Sunyaev-Zeldovich-effekten kommer dessutom att vara ett av de viktigaste verktygen för nästa generations radioteleskop.



Figur 7.

Bild tagen med Hubbleteleskopet på en enorm galaxhop 9 miljarder ljusår från Jorden. Med nästa generations radioteleskop kommer man med hjälp av Sunyaev-Zeldovich-effekten att kunna upptäcka galaxhopar betydligt längre bort, ända ut till gränsen för det synliga universum. Till skillnad från strålningen inom det synliga våglängdsområdet på denna bild blir Sunyaev-Zeldovich-signalen inte svagare med större avstånd. Bild: Hubble Space Telescope, NASA, ESA, J. Blakeslee (JHU), M. Postman (STScI), och P. Rosati (ESO), <http://hubblesite.org>

Sunyaev har som få andra kombinerat teori och observationer. De observationer av den kosmologiska bakgrundsstrålningen och högenergetisk strålning från kosmos som Sunayev banat vägen för, hör till de absolut viktigaste och aktivaste områdena inom modern astronomi. Sunyaev fortsätter att vara en ledargestalt inom dessa områden.

LÄNKAR OCH LÄSTIPS

Artiklar:

"M-teorin" av Ulf Danielsson, *Forskning & Framsteg* 5/98, s. 40–45.

"Till strängteorins försvar" av Ulf Danielsson, *Forskning & Framsteg* 8/04, s. 22–23.

"Cosmic microwave background radiation" i *Science Daily*. Läs hela artikeln (engelska) och se grafik på: www.sciencedaily.com/articles/c/cosmic_microwave_background_radiation.htm

Böcker:

"Kosmos – en kort historik" (1989) av Stephen Hawking, Prisma, Stockholm, 194 s.

"Ett utsökt universum – supersträngar, dolda dimensioner och sökandet efter den slutgiltiga teorin" (2001) av Brian Greene (övers. av Hans-Uno Bengtsson), Norstedts, 519 s.

"Enumerative Geometry and String Theory" (2006) av Sheldon Katz, American Mathematical Society, Institute for Advanced Study, Student Mathematical Library, Vol. 32, 206 s.

Länkar:

Många länkar till artiklar på Edward Witten's hemsida:
www.sns.ias.edu/~witten

Sök på "Knot theory" på Wikipedia. Flertalet bra illustrationer.

Om WMAP-projektets hemsida (se figur 6 sidan 5):

<http://map.gsfc.nasa.gov>

Svarta hål:

http://hubblesite.org/explore_astronomy/black_holes/index.html

http://hubblesite.org/explore_astronomy/black_holes/modules.html

PRISTAGARE

MATEMATIK

MAXIM KONTSEVICH

Institut des Hautes Études Scientifiques (IHÉS)

Le Bois-Marie

35, Route de Chartres

FR-91440 Bures-sur-Yvette

FRANKRIKE

www.ihes.fr/IHES-A/People/pers-sciencA.html

www.cirs-tm.org/researchers/researchers.php?id=295

Rysk och fransk medborgare. Född 1964 i Khimki, Ryssland. F.D. i matematik 1992 vid University of Bonn, Tyskland. Professor vid Institut des Hautes Études Scientifiques (IHÉS), Bures-sur-Yvette, Frankrike.

EDWARD WITTEN

Institute for Advanced Study

School of Natural Sciences

Einstein drive

Princeton, New Jersey 08540

USA

www.sns.ias.edu/~witten

Amerikansk medborgare. Född 1951 i Baltimore, MD, USA. F.D. i fysik 1976 vid Princeton University, NJ, USA. Charles Simonyi Professor vid School of Natural Sciences, Institute for Advanced Study, Princeton, NJ, USA.

ASTRONOMI

RASHID ALIEVICH SUNYAEV

Max Planck Institute for Astrophysics, Garching

Karl-Schwarzschild-Str. 1

Postfach 1317

DE-85741 Garching

TYSKLAND

www.mpa-garching.mpg.de/~sunyaev

<http://hea.iki.rssi.ru>

www.cirs.net/researchers/Astronomy/SUNYAEV.htm

Rysk medborgare. Född 1943 i Tashkent, Uzbekistan. F.D. i astrofysik 1968 vid Moscow University, Ryssland. Professor vid Max Planck Institute for Astrophysics, Garching, Tyskland. Chef för Department of High Energy Astrophysics, Space Research Institute (IKI), Russian Academy of Sciences, Moskva, Ryssland.