

– Hur och var skapas och accelereras de kosmiska partiklarna? Hur tar de sig fram i rymden?

## CTA: VÄRLDENS STÖRSTA GAMMA OBSERVATORIUM

Det internationella projektet CTA ska studera strålning från världsrymden vid mycket höga energier: gammastrålning.

I en högt belägen ökendal eller nära toppen på ett berg ligger de sannolika platserna för ett ambitiöst projekt för att bygga ett observatorium för studier av universums mest extrema partikelacceleratorer: Cherenkov Telescope Array, CTA (på svenska Tjerenkovteleskopgruppen). På bilden här ovan ser du hur en konstnär tänker sig att det kan komma att se ut.

CTA kommer att ha stora möjligheter att utöka vårt vetande om universums mest energiska fenomen. Det ska genomföra ett brett vetenskapligt program. Det kommer att upptäcka okända källor till gammastrålning, studera redan kända i detalj, och undersöka vad som nu verkar vara utspridd strålning från Vintergatans plan.

Att bygga CTA, med dess känslighet inom ett brett energiomfång och förväntade optimala funktion, innebär att få ett observatorium som kan studera – bland mycket annat – gammastrålningsutbrott, aktiva galaxkärnor, mörk materia och källorna till de mest energiska kosmiska partiklarna.

CTA-observatoriet ska finnas på två platser, en på vardera halvklotet, för att möjliggöra täckning av hela himlen för de tusen eller så gammastrålningskällor som väntas bli upptäckta och undersökta.

Varje ställe ska härbärgera tiotals teleskop av ett särskilt slag, med supersnabba kameror som är känsliga för det svaga blå ljus som uppkommer när kaskader av partiklar skapas i atmosfären. Ljuset kallas tjerenkovstrålning efter fysikern Pavel Tjerenkov som var först med att detektera den. Kamerorna placeras i fokalplanet hos stora ljussamlande skivor.

Tekniken, som utvecklades under 1980- och 1990-talen främst av grupper i USA, Tyskland, Spanien och Frankrike, gjorde det möjligt att upptäcka mängder av gammastrålningsobjekt. Den första upptäckten av mycket högenergetisk gammastrålning kom från Krabbnubulosan, och snart därefter följde den från en utomgalaktisk kraftkälla med namn Markarian 421.

I och med att känsligare detektorer kom fram under början av 2000-talet exploderade katalogen över källor av olika typer, och i dag räknar vi med över 170 källor av många olika slag med mycket högenergetisk gammastrålning.

Här nedan beskrivs den teknik med vilken dessa har hittats och studerats, följt av de många upptäckter som vi berättat om, och som avslutning kommer den väg som i framtiden ska följas av mer än tusen forskare och ingenjörer världen över.

### Att hitta gammastrålar med mycket hög energi

Gammastrålning är fotoner (ljuspartiklar) med energier långt större än de hos synligt ljus – större till och med än i röntgenstrålning. Så mycket mer så att de snarare uppför sig som partiklar än som vågor, och därför beskrivs de bäst genom sin energi i elektronvolt (eV) eller biljoner eV (TeV) i stället för med sin våglängd. Alltmer energirika processer krävs i astrofysikaliska källor för att skapa fotoner med allt högre energier, och därför avtar flödet av

gammastrålar med mycket höga energier som vi tar emot från olika astrofysikaliska källor när vi försöker mäta de allra högsta. Flödet av gammastrålning över en TeV från de starkaste källor vi känner till är faktiskt litet: omkring tre gammafotoner per kvadratkilometer per minut, eller sex per kvadratmeter per år.

Som väl är för oss hindrar atmosfären mycket högenergetiska gammafotoner från att nå ned till marken, så vi behöver inte bekymra oss över inverkan på människor av så energirik strålning. Astronomi där låg- till högenergi-gammastrålning används måste göras med detektorer på satelliter, som direkt mäter hur gammastrålningen samverkar med detektorerna, medan det för den mycket högenergetiska gammastrålningen inte kan tillverkas satellitdetektorer som är stora nog för att fånga in dessa fotoner i en meningsfull takt, eftersom det mätbara flödet är mycket litet.

Men de mycket energirika gammastrålarna har så enorma energier att det när de stöter på en molekyl i atmosfären uppkommer en skur av partiklar. Skuren kan nå ända ned till marken om den inkommande gammastrålen har en energi över 10 TeV.

### Partikelskuror och ljuspöler

De partiklar som skapas i gammastrålnings-skuren, mest elektroner och positroner, delar upp den ursprungliga gammastrålningsenergin mellan sig och rör sig, åtminsto-

ne i skurens tidiga faser, nästan med ljusfart.

Många av skurens partiklar är faktiskt snabbare än ljuset i atmosfären, och det får dem att sända ut synligt ljus – tjerenkovstrålning – på ett sätt som påminner om ljudbängen från ett flygplan som åker fortare än ljudet, men i en blixtnärvaro bara varar några få miljarddelar sekunder (nanosekunder, ns), se bild på nästa sida.

Tjerenkovstrålningen karakteriseras av ett svagt blått ljus, som också kan ses – till exempel – i kärnreaktorers kylldammar, där ljushastigheten är tre fjärdedelar av den i vakuum, så de partiklarna måste inte ha så hög energi för att ge upphov till den. Tjerenkovljuset sänds ut i en kon med bestämd toppvinkel, mycket nära partikelkaskadens färdriktning men allt större längre ned i atmosfären. Effekten från hela skuren blir som en bilstrålkastare som lyser på en cirkel på marken med en diameter på omkring 250 m.

Sammansättningen av alla dessa effekter ger en stor yta på marken, "ljuspölen", inom vilken varje välkalibrerad detektor kan fånga upp en kortvarig blå tjerenkovblixtnärvaro från skuren som satts igång av högenergetiska gammastrålar. Den stora ytan kompenserar för det låga flödet från även de starkaste källor, så i exemplet ovan skulle vi få en takt av en TeV-gammastråle var sjätte minut.

Du skulle kunna se denna ljuspöl från skuren om ditt öga kunde registrera blixtnärvaror på några få nanosekunder. Då och då skulle du uppleva en följd av glimmande stavar på himlen, med en ljusstyrka som några miljondelar av fullmånens.

av Yvonne Becherini och Michael Punch

## AKTUELL FORSKNING

Hur tjerenkovljuset skapas i atmosfären: partiklar i "skuren" har hastigheter större än ljusets i luft, och därför sänds fotoner ut i en vinkel omkring  $1^\circ$  från partiklarnas färdriktning.

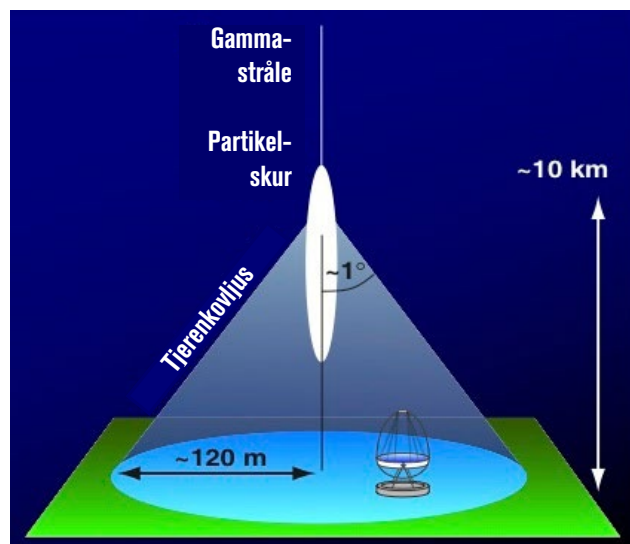
Precis som meteorskurar skulle dessa stavar peka mot källan till den gammastrålning som satte igång dem. Så genom stereoskopiska observationer, med "ögon" långt från varandra men inne i "ljuspölen", kan man bestämma var ursprunget till varje gammastråle ligger på någon tiondels grad när. På så vis kan man göra en karta, för en gammastråle åt gången; se till exempel kartan över supernovaresten RX J1713.7-3946 gjord med H.E.S.S.-teleskopen i Namibia, som är världens just nu kraftfullaste teleskop av det här slaget.

Problemet med markbaserade gammaobservationer av den här sorten är att mycket likartade skurar skapas i atmosfären också av laddade partiklar – den konstanta bakgrunden av protoner och andra laddade kosmiska partiklar (även känd som kosmisk strålning) som slår ned på jorden med en takt på en per kvadratmeter var tionde sekund.

Det komplicerade med detektortekniken, tillsammans med svårigheterna att bli av med bakgrunden av kosmisk strålning, innebar att det tog mer än tjugo år av försök att komma från den första upptäckten av ljus från skurar i atmosfären skapade av kosmisk strålning till upptäckten av den första högenergiska gammakällan på himlen.

### CTA: framtiden för gammaastronomi

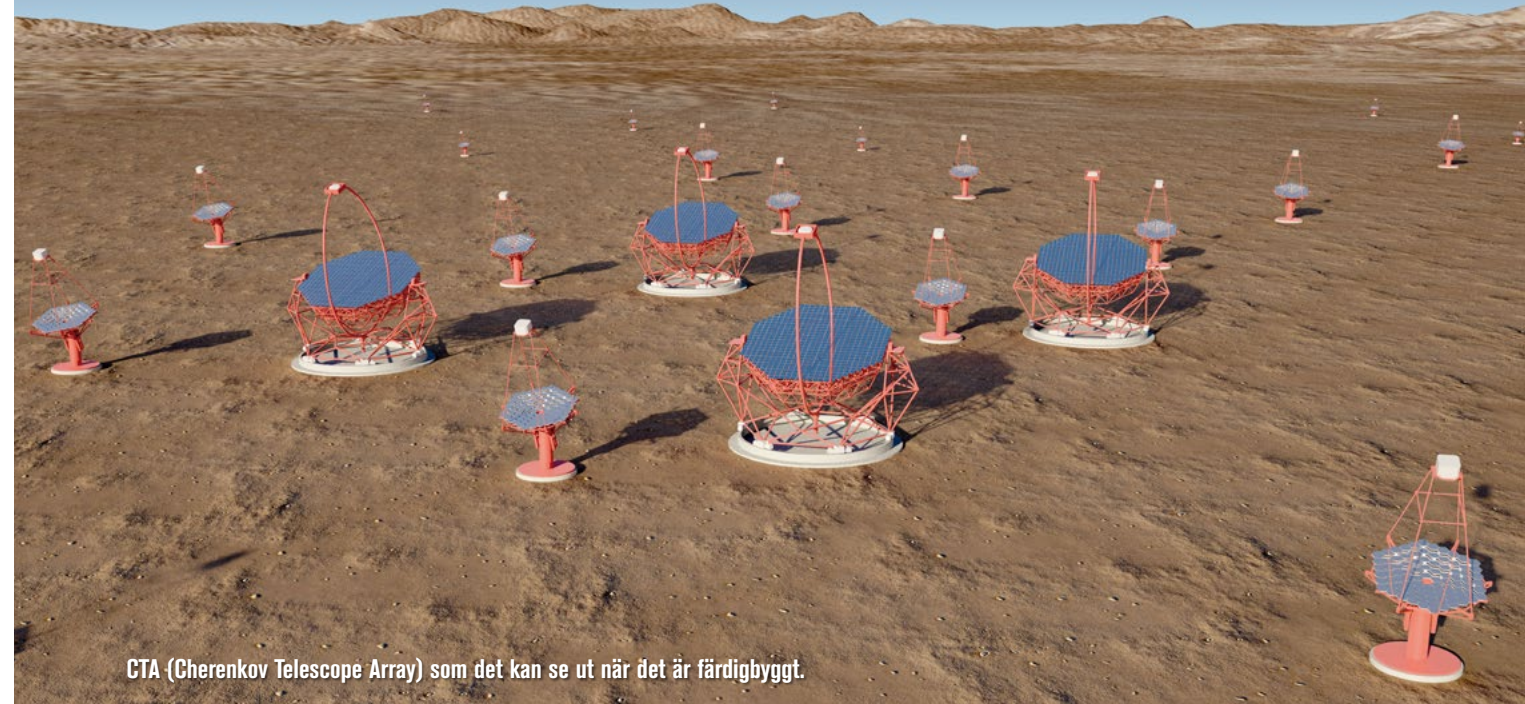
Den nuvarande generationen teleskop för tjerenkovljus består i allmänhet av samlingar (två eller fler) ljussamlade skivor på ett avstånd av omkring 120 m från varandra, var och en med en kamera innehållande snabba och känsliga detektorer för synligt ljus med en pixelstorlek mellan 0,1 och 0,2



grader och ett synfält på tre till fem grader. Tre större sådana uppsättningar tog emot sitt första ljus i början av 2000-talet: H.E.S.S. i Namibia, VERITAS i Arizona och MAGIC på Kanarieöarna. Alla dessa platser har goda molnfria vädervillkor, vilket medger maximalt bra observationstider under helt eller nästan månfria nätter. (H.E.S.S. = High Energy Spectroscopic System; VERITAS = Very Energetic Radiation Imaging Telescope Array System; MAGIC = Major Atmospheric Gamma Imaging Cherenkov.) Som nästa stora steg inom det här området kommer CTA. Det ska bestå av två grupper om 50–80 teleskop av olika storlekar placerade på norra och södra halvklotet. De två platser som valts för teleskopen är Kanarieön La Palma i Spanien och Paranal i norra Chile (där också jätteteleskopet VLT ligger).

Stora teleskop i mitten av uppställningen ska garantera att händelser vid de lägsta energierna upptäcks. De mellanstora teleskopen täcker medelenergierna, medan de små teleskop-

BILD: UNIVERSITY OF GENEVA



CTA (Cherenkov Telescope Array) som det kan se ut när det är färdigbyggt.

en täcker de högsta energierna; se bild ovan. De första prototyperna testas nu på europeiska platser, och man väntar att installationen av de första teleskopen på CTA-platserna ska kunna påbörjas under 2016.

### Spännande projekt och stora frågor

Högenergisk gammastrålning alstras både av källor nära oss i Vintergatan – till exempel nära pulsarer, i supernovarester och dubbelstjärnor – och av väldigt avlägsna extragalaktiska källor, så som aktiva galaxkärnor och galaxer där många nya stjärnor bildas samtidigt. På gammahimlen finns just nu runt 170 kända högenergiska källor – man räknar med att kunna upptäcka tio gånger fler med känsligheten som CTA erbjuder. När CTA är färdigbyggt kommer det att ta sig an ett brett spann av de viktigaste frågorna inom och bortom astrofysiken. Dessa kan man dela i tre breda teman: att förstå de relativistiska kosmiska partiklarna, deras ursprung och roll; att undersöka extrema miljöer i rymden; och att utforska helt nya områden i fysiken.

CTA borde kunna svara på en rad spännande frågor. Hur och var skapas och accelereras de kosmiska partiklarna? Hur tar de sig fram i rymden? Vilken påverkan har partiklarna på miljöerna som de passerar? Vilka processer ligger bakom gammastrålningen som skapas intill neutronstjärnor och svarta hål? Vilka processer försiggår i relativistiska jetstrålar, i vindar och i kosmiska explosioner?

För att kunna svara på dessa frågor kommer CTA att genomföra flera kartläggningsprojekt med olika mål. Kartläggningen av Vintergatsplanet väntas vara mellan 5 och 20 gånger känsligare än dagens bästa motsvarighet; en kartläggning av galaxens centrum ska hjälpa oss förstå källan i vår galax centrum. Även det Stora magellanska molnet, vår närmaste stjärnfabrik till galax, ska studeras. Och en genomströmming av källor utanför galaxen kommer att både fylla på i katalogen över aktiva galaxkärnor och studera hur de varierar, samt fånga eventuella gammablixtar. (Gammablixtarna är extremt kraftfulla explosioner som har upptäckts och studerats med rymdteleskop som är känsliga för gammastrålning. De har hittills inte kunnat studeras med

gammateleskop på marken.) Alla dessa projekt kommer att genomföras av CTA-konsortiet inom ramarna för dess nyckelprojekt, Key Science Projects, allt medan man även tar emot förslag från forskare i alla länder som hjälpt finansiera CTA-observatoriet.

Med dess ökade känslighet och vinkelupplösning kommer CTA att med hjälp av gammastrålning kunna avslöja var, och hur, högenergiska partiklar accelereras, på nära och långt håll i universum. Till exempel kommer CTA att undersöka kärnan i den närmaste aktiva galaxen, Centaurus A. Tack vare dess relativa närhet – "bara" 12 miljoner ljusår bort – kan många fenomen studeras i utomordentlig detalj.

Centaurus A, som redan varit föremål för observationer i alla möjliga våglängder, kan vara nyckeln till att förstå hur partiklar accelereras i galaxer där ett supertungt svart hål håller på att aktivt sluka materia. Galaxens struktur är också spännande och stor, med radiolober som sträcker sig tio grader på himlen, en ljusstark bula av stjärnor, samt områden där gas, damm och unga stjärnor skymmer sikten, och en dubbelriktad jetstråle som lyser starkt i radiostrålning.

### Svenskt deltagande i bygget av CTA

CTA är med andra ord ett ambitiöst och spännande projekt, där också Sverige har en viktig roll. I CTA deltar Linnéuniversitetet, Stockholms och Lunds universitet. Linnéuniversitetet bidrar till CTA genom att testa teleskopens kameror. Stockholms universitet bidrar till utvecklandet och installationen av stjärnföljningssystemet på de stora teleskopen och utvecklandet av ljuskällorna för att testa kamerorna. Lunds universitet arbetar med anpassningen av CTA som intensitetsinterferometer. ★

YVONNE BECHERINI och MICHAEL PUNCH är båda verksamma vid Linnéuniversitetet i Växjö, Michael Punch även vid Astroparticule et Cosmologie, CNRS/IN2P3 (Frankrike). Yvonne Becherini intervjuas på sidan 22. För mer om gammaastronomi och om CTA, se [www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS/](http://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS/) och [cta-observatory.org](http://cta-observatory.org).

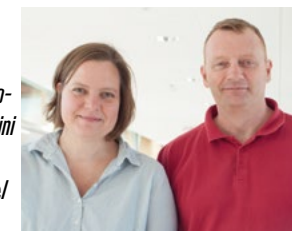
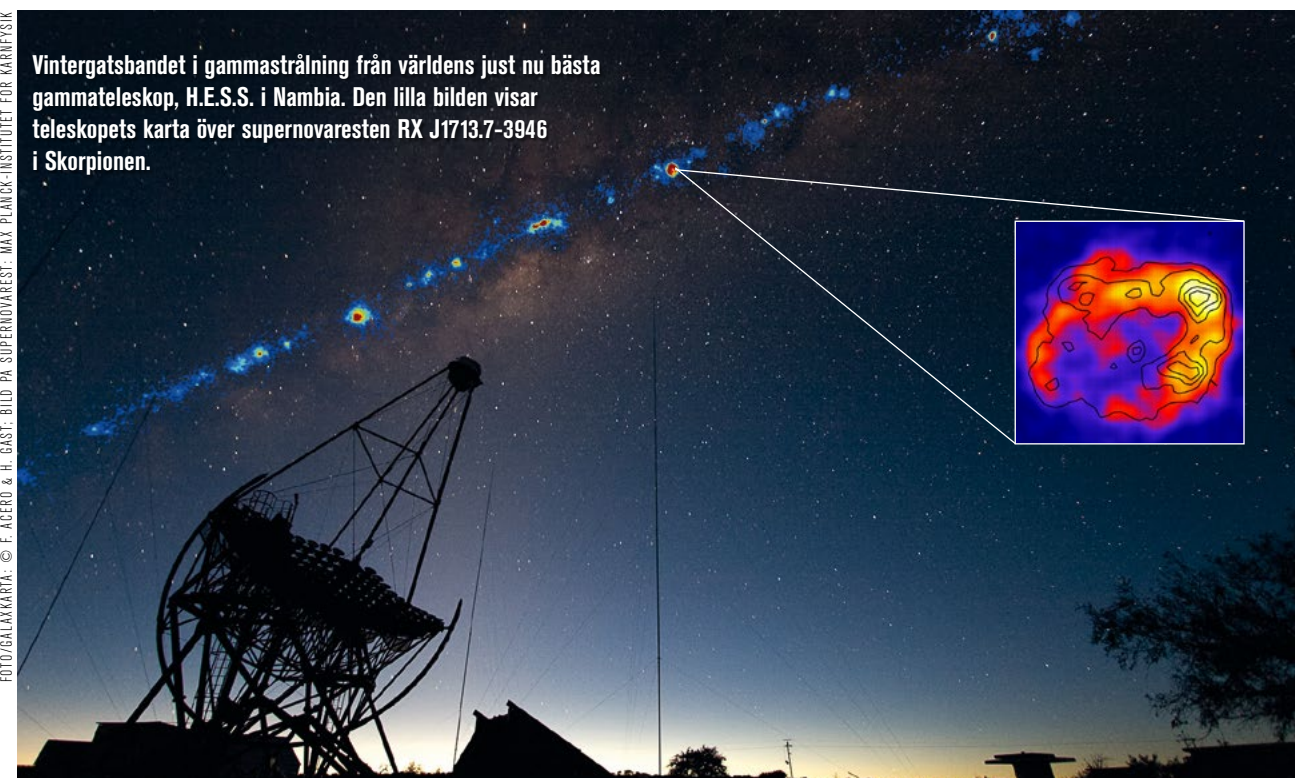


FOTO: R. CUMMING



Vintergatsbandet i gammastrålning från världens just nu bästa gammateleskop, H.E.S.S. i Namibia. Den lilla bilden visar teleskopets karta över supernovaresten RX J1713.7-3946 i Skorpionen.

FOTO: GALAXKARTA: © F. ACERO & H. GAST; BILD PÅ SUPERNOVAREST: MAX PLANCK-INSTITUTET FÖR KÄRNFYSIK