

# SVARTA HÅLEN

*som håller*  
**UNIVERSUM**  
*igång*

BILD: X-RAY: NASA/CXC/CFA/R.KRAFFT ET AL.; SUBMILLIMETER: MPI/ESO/APEX/A.WEISS ET AL.; OPTICAL: ESO/WFI

Svarta hål, från de allra minsta som kan ha bildats vid stora smällen till de supertunga i centrum av de stora galaxerna, spelar en viktig roll för hur hela universum utvecklas. Från de insamlingskivor av infallande gas som bildas runt de svarta hålen utgår högenergetiska jetstrålar som visar hur oerhört effektiva de svarta hålen är för att omvandla olika energiformer.

av Kambiz Fathi

När man studerar svarta hål märker man ganska snabbt att de utmärks av en rad egenskaper som inte bara gör dem till unika fenomen, utan också hjälper oss att sammanföra olika områden inom den moderna fysiken. Teorier rörande kvantmekanik, atomfysik, termodynamik, gravitation och inte minst själva rumtidens uppbyggnad samspelar i de extrema förhållandena i omgivningen av ett svart hål. Där är gravi-

tationskraften så stark att det svarta hålet slukar all materia och allt ljus som kommer i dess närhet. Materia som faller in accelereras så häftigt att den når relativistiska hastigheter, och därmed beskrivs dess rörelse av den speciella relativitetsteorin. Den starka gravitationskraften beskrivs förstås av den allmänna relativitetsteorin, men för att förstå den kringliggande materians öde måste man använda termodynamikens lagar och kvantmekaniken. Det är just

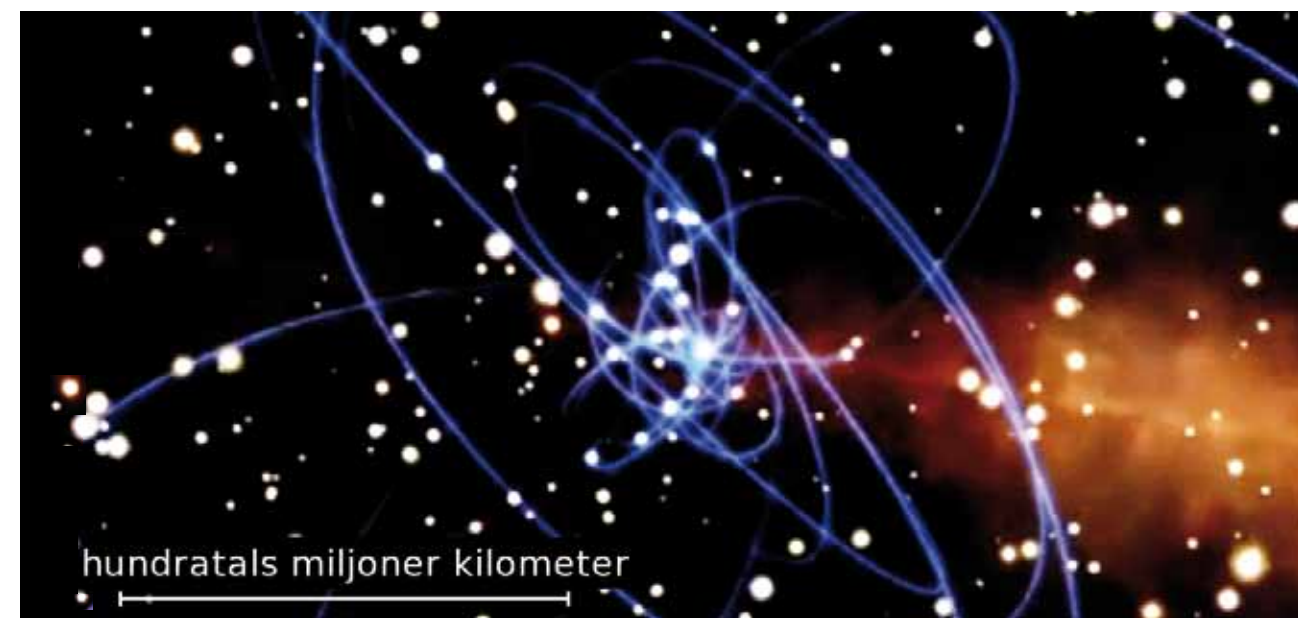
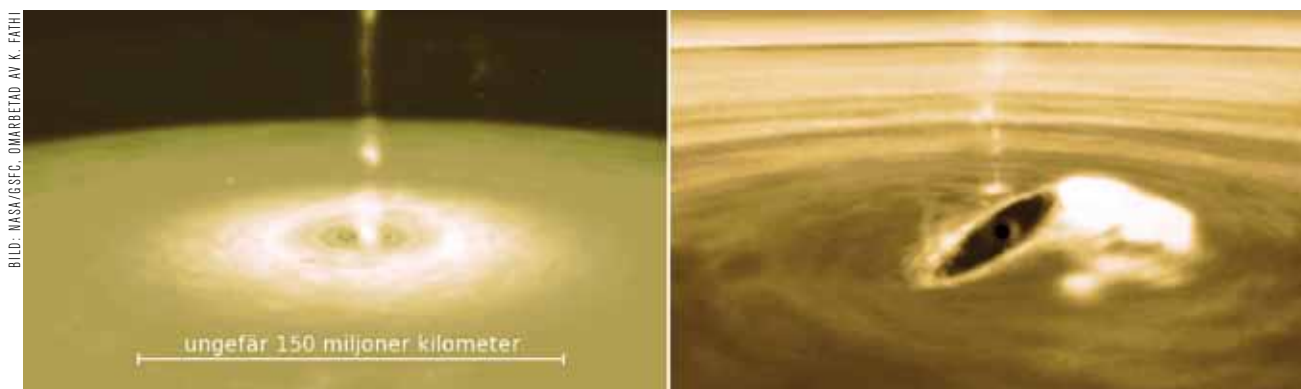


BILD: ESO / K. FATHI

I mer än femton år har astronomer följt stjärnor i de innersta delarna av Vintergatan, och med hjälp av många observationer har de kunnat beräkna att stjärnorna rör sig i banor kring ett osynligt centrum. Stjärnornas banor (utritade som blå kurvor här) följer Keplers lagar, precis på samma sätt som planeternas banor kring solen. Med hjälp av banornas form och orientering, och noggrann mätning av varje stjärnas massa, har man därmed kommit fram till att det i centrum av Vintergatan finns ett supertungt svart hål som väger fem miljoner gånger så mycket som solen.

Motsatt sida: I mitten av galaxen NGC 5128 (Centaurus A) finns vårt närmaste supertunga svarta hål, som är kraftkällan bakom jetstrålar som sträcker sig hela 13 000 ljusår ut mot galaxens utkanter.





Så här kan gasen i en insamlingskiva se ut. Till höger: en förstoring av de inre delarna av skivan. Där bucklas den till och en jetstråle uppkommer.

detta intima samspel som drar till sig en fysikers uppmärksamhet och som sätter svarta hål på en egen piedestal inom den moderna fysiken.

Den gällande teorin för bildning av svarta hål förklarar att när en massiv stjärna förbränt all sitt kärnbränsle, så genomgår den en dramatisk gravitationskollaps. Stjärnan exploderar som en supernova. Kollapsen resulterar i ett objekt som har så starkt gravitationsfält att inget kan undgå det. Gränsen för objektet är den så kallade händelsehorisonten. När någonting väl kommit innanför händelsehorisonten kan det aldrig lämna det svarta hålet, hur stor kraft som än används. Strax utanför händelsehorisonten är det dock möjligt att lämna det svarta hålet om tillräcklig kraft används.

Den kollapsande stjärnan reglerar det resulterande svarta hålets storlek enligt Schwarzschildformeln:

$$R = 2GM/c^2$$

$R$  är den sfäriska händelsehorisontens radie,  $M$  är stjärnans massa,  $G$  är Newtons gravitationskonstant och  $c$  är ljusets hastighet. Strax utanför denna händelsehorisont gäller alltså relativitetsteori, och ännu längre ut mot normala gravitationsförhållanden gäller klassisk gravitationsteori.

Ekvationen öppnar roligt nog ett utrymme för att hjälpa vår mänskliga intuition att sätta svarta hål i perspektiv. Man kan leka med de värden man sätter in för att beräkna händelsehorisontens storlek, vare sig stjärnfysiken tillåter skapandet av ett svart hål eller inte.

Ett typiskt svart hål, som väger ungefär tio gånger så mycket som vår egen sol, har en sfärisk händelsehorisont på 30 km. Om man istället sätter in solens massa i ekvationen – och glömmar en stund att solen aldrig kommer att utvecklas till ett svart hål – ser man att dess radie måste krympa till strax under 3 km. Skalar man sedan ner detta ser man att det motsvarar samma förhållanden som om man skulle krympa jorden till 8,9 mm. Svarta hål är alltså extremt kompakta objekt.

### Olika tunga hål

Stjärnkollaps är inte den enda process som bildar svarta hål i universum. Kvantmekaniken förutsäger att höga densiteter kan uppstå på kvantnivå, och därmed kan mikro-svarta hål bildas. Särskilt i det tidiga universum var förhållandena gynnsamma för mikro-svarta hål att uppstå emellanåt, men inte många sådana är kvar då dessa ”förångats” mycket snabbt efter det de bildats.

### Värst av alla: de supertunga

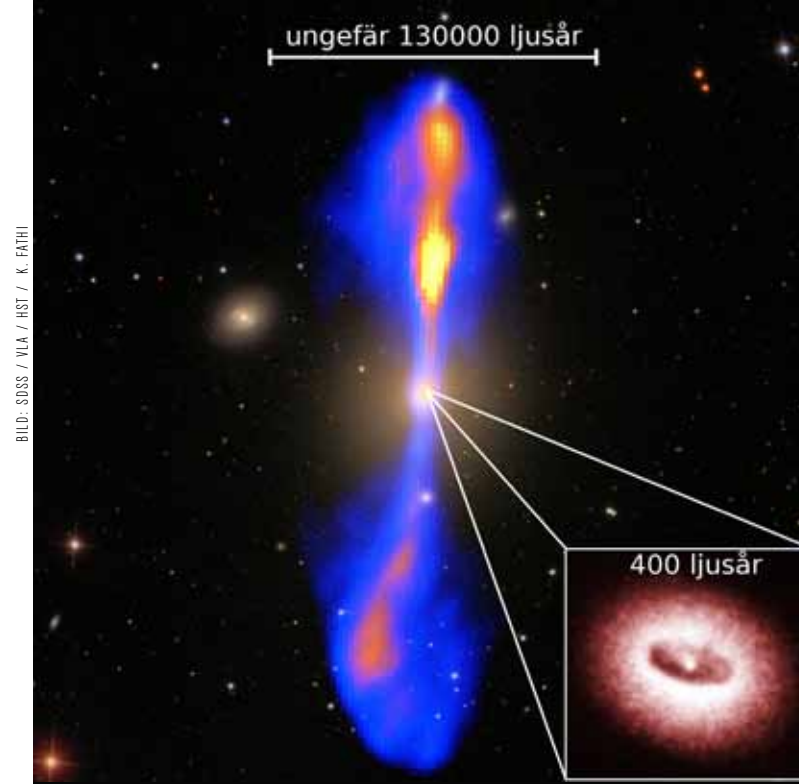
Ytterligare en typ av svarta hål är de så kallade supertunga svarta hålen. Dessa bjässar har en gravitationskraft som beräknas motsvara en massa som är flera miljoner till flera miljarder större än solens. Händelsehorisonten för ett supertungt svart hål kan vara lika utsträckt som hela solsystemet.

Med hjälp av moderna teleskop har astronomer sett indirekta tecken på supertunga svarta hål i centrum av många galaxer, och man tror nu att det finns ett sådant i centrum av alla stora och medelstora galaxer.

De tecken som man sett är indirekta. Observationer visar rörelser av stjärnor i närheten av ett supertungt svart hål, och högenergetisk strålning från materia som är på väg att falla in i ett supertungt svart hål. Genom noggranna observationer, och med hjälp av sofistikerad matematisk modellering, har man sålunda kunnat beräkna massan för flera supertunga svarta hål.

### Skivor och strålar

Supertunga svarta hål har en del underliga egenskaper som utmärker dem bland andra astronomiska objekt. När det finns interstellär gas och stoft i deras närhet slukas de av det supertunga svarta hålet, som det förväntas av ett svart hål. På väg in mot det svarta hålet accelereras gasen och



Jetstrålar visar upp hur otroligt effektiva svarta hål kan vara. I bilden här ser vi två strålar, observerade i radiovåglängder, som härstammar från en insamlingskiva kring det supertunga svarta hålet i galaxen M 87 – som syns i mitten av bilden.

Jetstrålen är så kraftfull att den sträcker sig mer än 130 000 ljusår ut från galaxen. I en högupplöst bild tagen med rymdteleskopet Hubble (nere till höger), syns en skivliknande struktur. Mitt i den, och inte upplöst ens i den här bilden, ligger den mindre insamlingskivan runt själva svarta hålet.

stoffet till så höga hastigheter att de samlas i en skivliknande form som sedan matar det centrala svarta hålet med materia. Den så kallade insamlingskivan har ungefär 150 miljoner kilometers radie, och det tätt packade plasma som den innehåller hettas upp ganska snabbt. Insamlingskivan matas kontinuerligt med gas utifrån, den roterar med hastigheter upp mot 10 000 kilometer i sekunden och gasen transporteras efterhand in mot det centrala svarta hålet. En kombination av hastigheter som närmar sig ljusets och friktion skapar hetare områden, där gasen slungas ut ur insamlingskivan och formar en så kallad jetstråle som består av partiklar med hög energi.

Denna typ av jetstråle är ett av de märkligaste astronomiska fenomen som kännetecknar ett supertungt svart håls enorma kraft. Jetstrålar är inte helt ovanliga i universum och har observerats i ungefär 25 % av alla elliptiska galaxer och spiralgalaxer. Genom mätning av strålningens styrka kan man uppskatta den energi som en sådan stråle bär med sig ut i rymden, och kombinerar man detta med det supertunga svarta hålets gravitationsstyrka kan man göra en uppskattning av ett supertungt svart håls energiomvandlingseffektivitet. Den typiska effektiviteten har uppskattats i flera system, och det typiska värdet för ett roterande svart hål motsvarar  $E = 0,4 \times mc^2$ . Detta bör jämföras med en glödlampa, som har  $E = 10^{-11} \times mc^2$ , eller med kärnfusion som har en energiomvandlingseffektivitet motsvarande  $E = 0,005 \times mc^2$ . Dessa värden visar att supertunga svarta hål ger de mest effektiva processer vi känner till i universum.

Under det senaste decenniet har astronomer runtom i världen mätt massan hos ett flertal supertunga svarta hål, och märkligt nog har man kommit fram till att det råder en del mystiska samband mellan dessa supertunga svarta hål och deras värdgalaxer. Galaxer med större centralpartier har supertunga svarta hål med större massor. Dessutom har man sett att inte alla supertunga svarta hål omges av en insamlingskiva. Vintergatan är just en sådan galax med ett supertungt svart hål, men utan en insamlingskiva. Kombinerar man dessa med det faktum att det ur teoretisk stjärnbildnings- och stjärnutvecklingsynvinkel är möj-

ligt att ett gasmoln skulle bilda en supertung stjärna som sedan kollapsar till ett supertungt svart hål, så kommer man fram till att det bör ligga mera bakom historien om supertunga svarta hål.

När och hur har de bildats? Kan de ha blivit till efter flera sammanslagningar av mindre svarta hål? Hur har de hamnat i mitten av sina värdgalaxer? Varför är inte alla supertunga svarta hål omgivna av en insamlingskiva?

### Universums dynamik

Dessa frågor saknar ännu svar, och vägen till att hitta svaren medför en samverkan mellan flera olika områden inom den moderna astronomin. För att förstå hur det kan bildas frön till supertunga svarta hål strax efter stora smällen krävs goda insikter i den moderna kosmologin och uppkomsten av strukturer i universum. För att sedan veta hur de ursprungliga svarta hålen kan ha förts samman krävs att man behärskar universums dynamik: alltifrån stjärnornas atmosfärer ut till den tunna heta gasen mellan galaxerna. Och inte nog med det. För att förstå hur vissa supertunga svarta hål kan matas med interstellär gas och stoft och ändå hindra att andra matas krävs en utarbetad teori om hur gasen mellan stjärnorna i det interstellära mediet, från atomnivå och molekylär kemi, beter sig i olika delar av universum.

Supertunga svarta hål är med andra ord supereffektiva maskiner som håller universum vid liv. Sökandet efter en komplett teori om deras skapande och utveckling lär oss inte bara en massa astronomi, utan stärker också vår kunskap om universums fysik och kemi. ★

KAMBIZ FATHI är docent i astrofysik vid Stockholms universitet och Oskar Klein-Centrum. Han ingår dessutom i Populär Astronomis nätredaktion.

