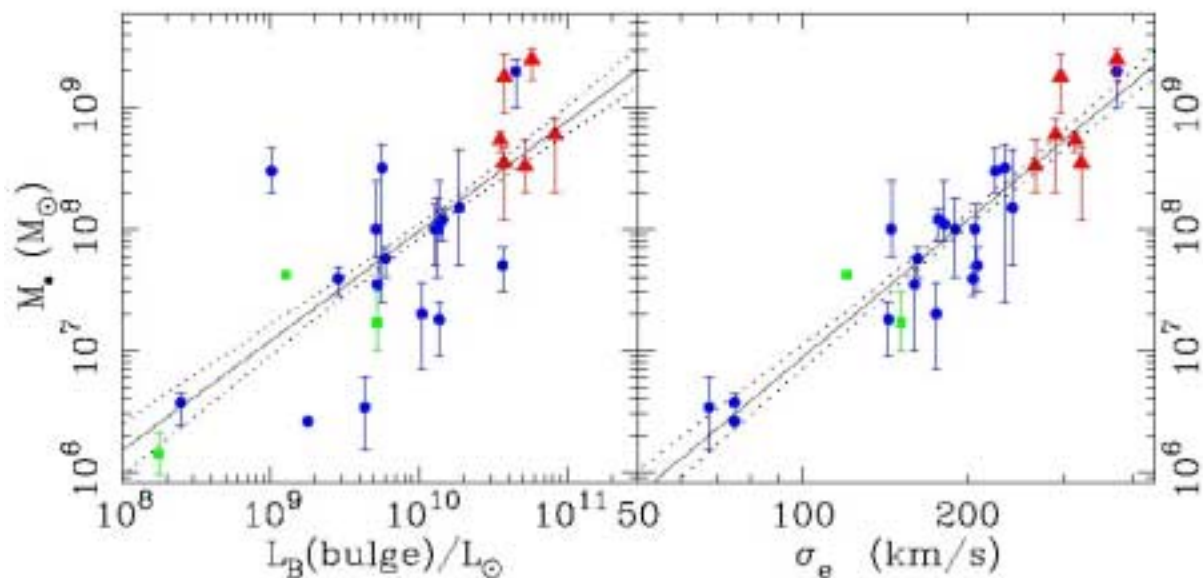


## Svarte hull kaster lys over galaksedannelse

I 1960-årene introduserte astronomene hypotesen om at det eksisterer supermassive svarte hull med masser fra en million til over en milliard solmasser i sentrum av aktive galaksekjerner slik som kvasarer. Opprinnelsen til slike svarte hull var ukjent.

Det var først med observasjoner ved hjelp av Hubble-teleskopet i 1990-årene at man fikk bekreftet denne hypotesen. Frem til tusenårsskiftet var det observert ca. 20 galaksekjerner der stjernene i de innerste områdene beveger seg så raskt rundt sentrum at bare gravitasjonsfeltet fra et supermassivt svart hull kan hindre dem i å bevege seg utover. I et møte i *the American Astronomical Society* 6. juni 2000 ble det presentert 15 nye observasjoner av galaksekjerner med svarte hull i sentrum.

Den store nyheten ved møtet var oppdagelsen av korrelasjoner mellom massen til det svarte hullet i sentrum av galaksene og stjernenes hastigheter i galaksene samt mellom massen til det svarte hullet og lysstyrken til utbulingen i galaksenes sentra. Resultatene er vist i figuren nedenfor, der  $M_{\bullet}$  er massen til det svarte hullet,  $M_{\odot}$  er Solens masse,  $L_B$  er luminositeten til galaksens sentrale utbuling,  $L_{\odot}$  er Solens luminositet og  $\sigma_e$  er en størrelse som karakteriserer stjernenes hastighet.



Observasjonene viser at jo større masse det svarte hullet har, desto større er hastigheten til stjernene og lysstyrken til den sentrale utbulingen i galaksen. Korrelasjonen med svart-hullmassen er bedre for hastigheten til stjernene enn for lysstyrken til utbulingen.

## **Svart-hull-masse og stjerne hastighet**

Et spørsmål som astronomene måtte oppklare for å vite betydningen av det de hadde observert, var om korrelasjonen mellom svart-hull-masse og stjerne hastighet hadde noen sammenheng med egenskapene til galaksen eller om det bare dreide seg om to måter å måle svart-hull-massen på. Ifølge Newtons gravitasjonsteori er det slik at hvis et stjerne beveger seg rundt et svart hull, så er massen til det svarte hullet proporsjonal med kvadratet av stjernens hastighet. Hvis dette er korrelasjonen som ble observert, forteller den ikke noe om galaksens egenskaper. Det er nettopp ved å benytte denne sammenhengen og å måle hastigheten til stjerner og gass i de sentrale områdene av galakser at man har estimert massene til de supermassive galaktiske svarte hullene.

I sentrum av galaksene er det store mengder materie utenfor det sentrale svarte hullet. Massen til denne materien er mye større enn massen til det svarte hullet. Newtons teori sier at det kun er den delen av en galakses masse som er innenfor banen til en stjerne som påvirker stjernens hastighet. Dette betyr at det kun er bevegelsen til den aller innerste delen av en galakse som påvirkes merkbart av det svarte hullet i sentrum. Målinger som skal brukes til å bestemme massen til et galaktisk svart hull krever en meget høy vinkeloppløsning, typisk mye bedre enn et buesekund, slik at man bare observerer området nær det svarte hullet. Det er kun i dette området at massen til det svarte hullet er proporsjonal med kvadratet av stjernenes hastighet.

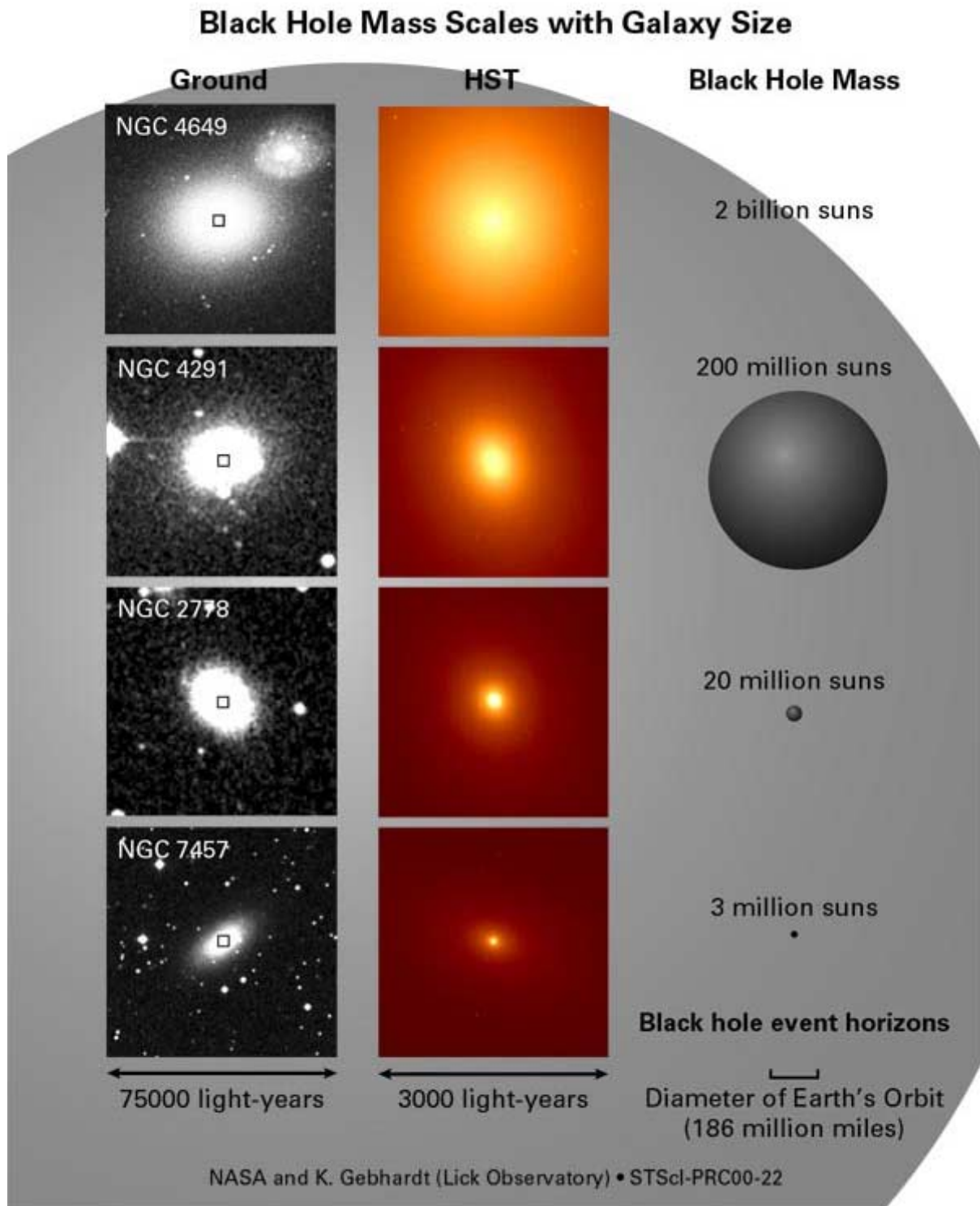
Observasjonene som ledet til den nye korrelasjonen mellom svart-hull-masse og stjerne hastighet hadde lavere vinkeloppløsning. Man observerte stjerner så langt fra sentrum av galaksene at hastighetene ikke var merkbart påvirket av det svarte hullet. I tillegg viste det seg at korrelasjonen mellom svart-hull-masse og stjerne hastighet var en annen enn den som gjelder når hastighetene er bestemt av massen til det svarte hullet. Resultatet av observasjonene var at svart-hull-massen med et visst slingringsmonn er proporsjonal med hastigheten i fjerde for stjerner i elliptiske galakser og for stjerner i den sentrale utbulingen av spiralgalakser.

Denne nye sammenhengen kan blant annet utnyttes til å bestemme massen av galaktiske svarte hull ved hjelp av observasjoner med en lavere vinkeloppløsning enn man tidligere mente var nødvendig.

## **Svart-hull-masse og galaktisk lysstyrke**

Sammenhengen mellom masse og lysstyrke er vist i figuren nedenfor, der fargebildene i midten er tatt med Hubble-teleskopet og viser de sentrale områdene av galaksene innenfor

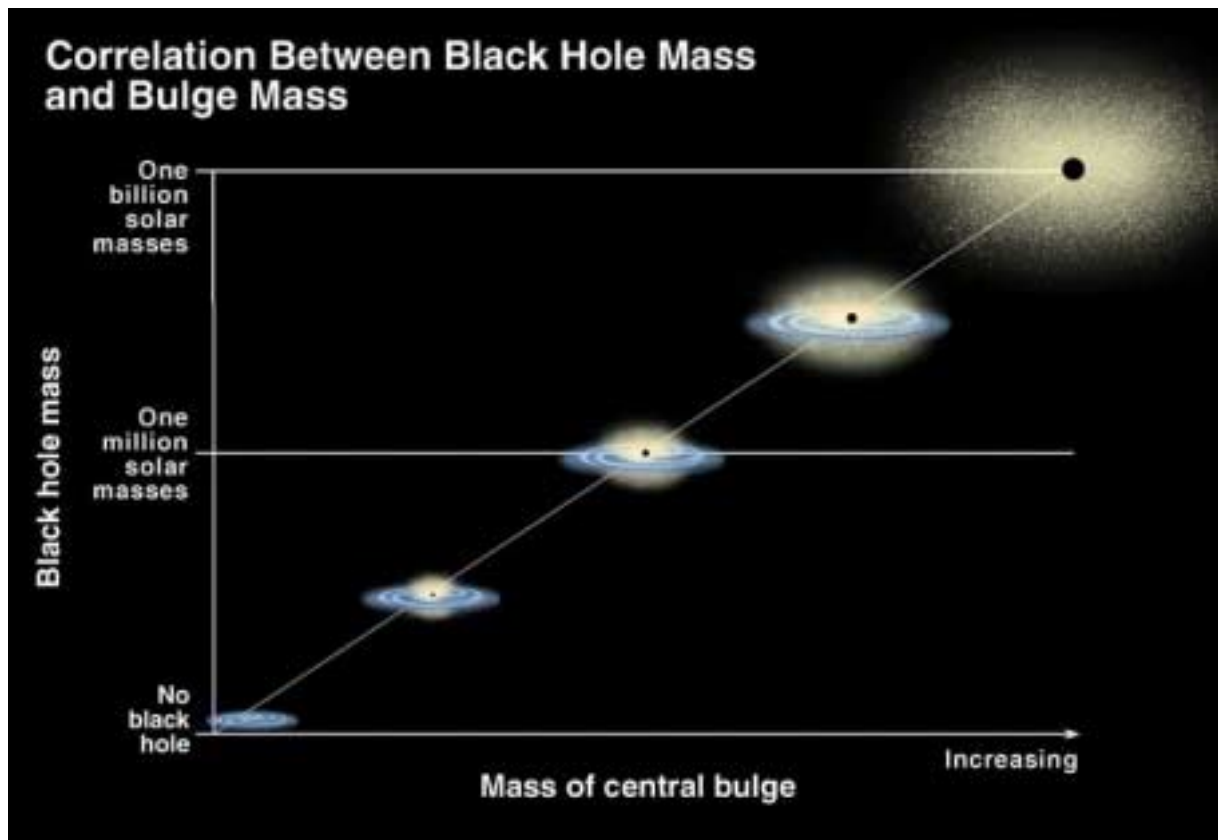
boksene i bildene til venstre. De svarte hullene er tegnet med en utstrekning som svarer til deres horisontradier (Schwarzschild radien) som er proporsjonal med deres masser.



Jo større masse det er i den sentrale utbulingen til en galakse desto sterkere gravitasjonsfelt lager den, og desto raskere beveger stjernene seg rundt galaksens sentrum. Korrelasjonen

mellom svart-hull-masse og stjernehastighet innebærer derfor en korrelasjon mellom svart-hull-masse og massen til den sentrale utbulingen i spiralgalakser.

Det er også slik at jo større masse en galakse har desto sterkere lyser den. Korrelasjonen mellom svart-hull-masse og lysstyrke innebærer også en tilsvarende korrelasjon mellom svart-hull-masse og massen til den sentrale utbulingen i galaksene. Dette er illustrert i figuren nedenfor.



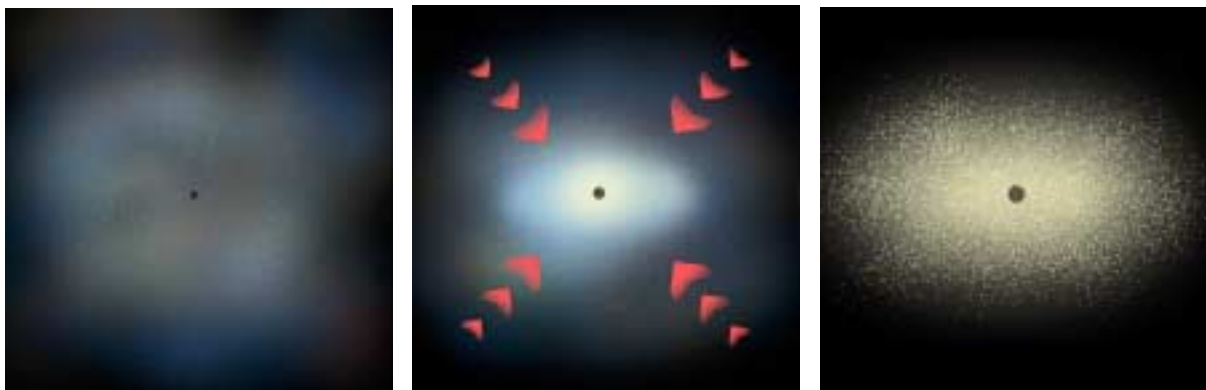
### Dannelse av galaktiske svarte hull

I astronomiens historie har observerte korrelasjoner mellom ulike størrelser ofte ført til stor fremgang i forståelsen av de observerte objektene. I vårt tilfelle dreier det seg om korrelasjoner som innebærer en sammenheng mellom hvordan galakser dannes og hvordan de svarte hullene i galaksenes sentra dannes.

En viktig observasjon er at korrelasjonene kun dreier seg om den sentrale utbulingen til spiralgalaksene og massen til det supermassive svarte hullet i galaksens sentrum. Svart-hull-masse lysstyrke korrelasjonen viser at massen til det svarte hullet er omtrent 0,2 % av massen til den sentrale utbulingen i galaksen det hører til. Det er ingen korrelasjon mellom massen til det svarte hullet og egenskapene til den galaktiske skiven der spiralarmene er. Det svarte hullet "vet ikke om" eksistensen av den galaktiske skiven. Dette betyr at massen til de

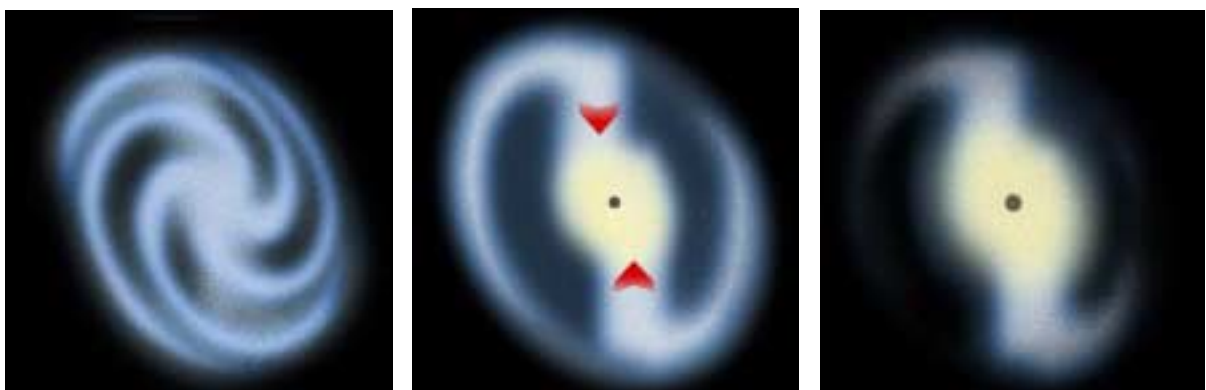
galaktiske svarte hullene er resultat av en prosess som har sammenheng med dannelsen av galaksenes sentrale utbulinger.

Det er særlig tre mekanismer for dannelse av galaktiske svarte hull som har vært diskutert. Den første tar utgangspunkt i at det kan dannes svarte hull i den første brøkdelen av et sekund under universets inflasjonsfase. Gravitasjonsfeltet fra disse trekker til seg noe av den opprinnelige kosmiske hydrogengassen og det dannes en fortetning av gass rundt det svarte hullet. Utviklingen er vist i de tre figurene nedenfor.



I figuren til venstre vises en sky av hydrogen rundt det opprinnelige svarte hullet. Gravitasjon trekker materie mot hullet som vist i den midterste figuren, og til høyre ser vi sluttresultatet: en elliptisk galakse med et supermassivt svart hull.

Den andre mekanismen er illustrert i figurene nedenfor.



Først dannes en spiralgalakse. Så trekker gravitasjon masse mot det sentrale området av galaksen og det dannes en utbuling. Deretter faller en del av massen i utbulingen inn mot setrum og det dannes et svart hull. Sluttresultatet er en spiralgalakse med en massiv utbuling og et svart hull i galaksens sentrum.

Den tredje mekanismen går ut på at spiralgalakser kolliderer.



I galaksenes sentra var det svarte hull med liten masse, dannet tidlig i universets historie. Under kollisjonen trekkes en stor del av den galaktiske massen mot galaksenes felles massesenter og det kan dannes en spiralgalakse med en sentral utbuling eller en elliptisk galakse, begge med et supermassivt svart hull i sentrum. Det svarte hullet har fått mesteparten av massen sin i prosessen der galaksene kolliderer og danner en sentral utbuling eller en elliptisk galakse.

Den første mekanismen for dannelse av galaktiske svarte hull innebærer at det svarte hullet har fått mesteparten av massen sin før galaksen det hører til ble dannet. Den andre mekanismen er slik at det svarte hullet oppsto etter at spiralgalaksen og den sentrale utbulingen ble dannet. Den tredje mekanismen går ut på at det svarte hullet utvikler seg samtidig med den sentrale utbulingen i en og samme prosess.

De nye observasjonene har vist at dannelsen av de galaktiske supermassive svarte hullene og de sentrale utbulingene ikke skjer uavhengig av hverandre. De store masseforskjellene for de galaktiske svarte hullene skyldes ikke hendelser før galaksene begynte å utvikle seg. De svarte hullene får nesten all sin masse i en prosess som samtidig utvikler de sentrale utbulingene i galaksene. Observasjonene favoriserer den tredje mekanismen.

Det at svart-hull-masse hastighet korrelasjonen har mindre spredning enn svart-hull-masse lysstyrke korrelasjonen, styrker også denne konklusjonen. Denne forskjellen i spredningen til korrelasjonene betyr at galakser med mer massive svarte hull enn det korrelasjonen med lysstyrken til den sentrale utbulingen skulle tilsi, også har større stjernehastighet enn man venter ut fra lysstyrken. Forklaringen er at elliptiske galakser med uvanlig store stjernehastigheter er kompakte. De har kollapset mer enn gjennomsnittsgalaksene. Observasjonene tyder med andre ord på at galakser som har kollapset mer enn normalt, har

svært massive svarte hull. Dette tyder igjen på at massen til de galaktiske svarte hullene er bestemt av prosessen som danner de elliptiske galaksene og utbulingene til spiralgalaksene.

Når disse observasjonene knyttes sammen med observasjoner av UltraLyse InfraRøde Galakser (ULIRG) inkluderes aktive galaksekjerner og kvasarer i bildet av hva som har foregått. 2/3 av strålingen fra ULIRGer skyldes eksploderende stjerner og 1/3 aktive galaksekjerner knyttet til prosesser nær supermassive svarte hull i galaksenes sentra.

Man mener nå at ULIRGer er kvasarer, dvs. aktive galaksekjerner som utvikles ved kollisjoner mellom galakser samtidig med at de svarte hullene øker sin masse og det dannes sentrale utbulinger eller elliptiske galakser med omtrent fem hundre ganger så stor masse som de svarte hullene. Det ser ut til at utviklingen av supermassive svarte hull, kvasarer og galaktiske utbulinger er resultater av en og samme prosess i unge galakser.