2003-02-27

SVARTA HÅL

Gabriel Jonsson

Inledning

De allra flesta har nog hört talas om svarta hål, genom science fiction-historier och genom populärvetenskapliga program och tidskrifter. Under arbetet med denna uppsats försöker jag ta fram och presentera de viktigaste teorierna och fakta forskarna kommit fram till. Ett av huvudmålen med detta arbete är att reda ut vad man egentligen vet om svarta hål, vad som är rena hypoteser och vad som bara är science fiction. En annan intressant fråga är när olika upptäckter gjorts. Har något viktigt hänt de senaste decennierna?

Grundläggande om svarta hål

En grundläggande beskrivning av svarta hål hittas i Nationalencyklopedin (NE)[1]. Ett svart hål är en himlakropp som är så massiv och tät att flykthastigheten överstiger ljushastigheten. Därmed kan varken materia eller ljus lämna det svarta hålet. Flykthastigheten minskar med avståndet och gränsen där flykthastigheten är exakt lika med ljushastigheten kallas händelsehorisonten, eller Schwarzschild-radien. Schwarzschild-radien är alltid direkt proportionell mot det svara hålets massa, och för en solmassa gäller radien 3km (Burrows 1987).
Fram till mitten av 1900-talet ansågs svarta hål endast som matematiska konstruktioner, men nu tror man att de verkligen existerar även om man enligt NE inte har några direkta bevis för detta.

Teori om skapande och förintande av svarta hål

I käll-artiklarna nämns teorier om tre sätt för svarta hål att skapas. Det första sättet är att en stjärna som fått slut på fusionsbränsle kollapsar till en neutronstjärna och därefter möjligen till ett svart hål (Burrows 1987). Det andra sättet är att svarta hål bildas i galaxers centrum pga. det höga trycket och den höga plasmadensiteten som råder där (Burrows 1987). För dessa svarta hål är det vanligt med massor på flera miljarder solmassor. Det tredje sättet, beskrivet i Encyklopedia Britania (EB)[2], är att mycket små svarta hål, med massan ungefär som hos en typisk asteroid, skapas under extremt höga temperaturer. Många sådana svarta hål tros ha bildats strax efter Big Bang.
Enligt EB har de lätta svarta hål som skapades i samband med Big Bang sannolikt avdunstat. Som ett exempel på hur avdunstningen kan se ut bildas ibland en proton och en antiproton strax utanför det svarta hålets händelsehorisont. Om dessa kolliderar förintas de och fotoner sänds ut. Dessa fotoner bär med sig energi ursprungligen tagen från det svarta hålet. Detta upprepas till dess att all energi, och därmed massa, är uttömt ur det svarta hålet som därmed försvinner.
Serway beskriver i boken Modern Physics[3] om samma fenomen och motiverar partiklarnas möjlighet att hamna utanför det svarta hålet med det välkända tunnlingsfenomenet. Tunnlingsfenomenet säger att varje partikel har en liten sannolikhet att plötsligt uppträda på en position utan för det område den enligt klassisk fysik har energi nog att nå. Klassiskt kan inget innanför händelsehorisonten ha energi nog att komma ut.

---

[1] Nationalencyklopedin, uppslagsord: svart hål
[2] Encyklopedia Britania, uppslagsord: black hole
[3] Serway (1989) *Modern Physics* s. 251

Svarta hål med massa i storleksordningen några solmassor avdunstar också på samma sätt men med drastiskt minskad effekt pga. den större massan. Enligt Serway ger kvantmekaniska beräkningar att ett sådant svart hål skulle behöva 10^{66} år för att avdunsta, vilket i praktiken innebär att avdunstningen kan försummas inom all överskådlig tid.
Burrows (1987) beskriver i sin artikel *The birth of neutron stars and black holes* processerna i vilka stjärnor kollapsar till svart hål och andra objekt. De svarta hål som bildas ur stjärnor uppkommer när gravitationen mellan partiklarna övervinner alla repellerande krafter mellan dessa. Så länge fusion fortgår i en stjärna skapas fotoner som rör sig ur från centrum och bär med sig en rörelsemängd som är tillräcklig för att motverka gravitationen. Detta fungerar även för superjättar på hundratals solmassor (Lagerkvist 1999). När fusionsbränslet tar slut kollapsar stjärnan i en explosion som kastar ut de yttre delarna av stjärnan i rymden medan de inre delarna faller in mot centrum. För lätta stjärnor, på mindre än 6 solmassor före kollaps, bildas då en så kallad vit dvärg - en tät himlakropp med massa under 1.4 solmassor och radie ungefär som jordradien. Den vita dvärgen svalnar så småningom.
För tyngre stjärnor bildas istället en neutronstjärna. En neutronstjärna är en himlakropp med en massa mellan 1.4 och 3 solmassor, och en radie på bara några kilometer, vilket innebär att samtliga nukleider är tätt sammanpressade. Uppbyggnaden kan liknas vid en enda enorm atom med omkring 95% neutroner och resten protoner och elektroner (Burrows 1987). En vit dvärg kan kollapsa till en neutronstjärna om materia faller in i denna så att massan överstiger 1.4 solmassor.
Typiskt för en neotronstjärna är att den roterar mycket fort, med rotationstid i storleksordningen en sekund eller mindre, samt att den utsänder stora mängder elektromagnetisk strålning, ofta i storleksordningen 10000 gånger mer än solen. Den kända krabbnebulosan får sin energi från en sådan neutronstjärna (Burrows 1987). Energin hos neutronstjärnan kommer från gravitationell potentiell energi som förlorades under kollapsen.
En tillräckligt massiv neutronstjärna kan i sin tur kollapsa till ett svart hål. Detta händer när stjärnans radie blir mindre än Schwarzschild-radien $2GM/c^2$. Gravitationen blir då starkare än trycket mellan de sammanpressade neutronerna, som har sitt ursprung i stark växelverkan. Man har ännu inga formler eller ekvationer som beskriver vad som händer med materian här eller efteråt. Själva kollapsen beräknas ta mindre än en millisekund. Den exakta massgränsen för när neutronstjärnan kollapsar är svårare att bestämma än den för vita dvärgar eftersom man här måste kombinera kvantmekanik med allmän relativitetsteori. Det uppskattade värdet av gränsen är ca 3 solmassor - en ickerelativistisk beräkning skulle ge 5.8 solmassor. Dessa svarta hål beräknas bildas om den ursprungliga stjärnan hade en massa på minst 30-40 solmassor (Burrows 1987).

Teorier om vad som händer inuti en svart hål

De teorier som tas upp här kommer från artikeln *Black holes: the inside story*, av S Droz (1996).
Einsteins allmänna relativitetsteori innehåller bland annat ekvationer som relaterar gravitation och krökning av rumtiden. Dessa ekvationer har lösningar som beskriver svarta hål. Viktigt att notera är att bara för att en modell passar in i en accepterad teori, och än så väl testat som allmän relativitetsteori, är det inte skäl nog att anta att modellen behöver ha en motsvarighet i verkligheten. Den allmänna relativitetsteorin har många lösningar. Enligt Ferrarese (2002) trodde inte Einstein själv att svarta hål existerar och publicerade två artiklar där han talade mot deras existens.

Schwarzschild hittade en lösning till allmänna relativitetsteorin (NE)[4] som beskriver ett svart hål utan laddning och rörelsemängdsmoment. Senare har andra lösningar hittats som beskriver svarta hål med laddning och eller rörelsemängdsmoment. Dessa upptäckter gjordes av bland annat Roy Kerr (NE). Man tror nu att svarta hål endast kan ha tre egenskaper: massa, laddning och rörelsemängdsmoment (NE).
Ett svart hål med noll laddning och rörelsemängdsmoment skulle enligt teorin ha en perfekt sfärisk händelsehorisont innanför vilken materia och strålning endast kan röra sig inåt. Det är alltså omöjligt att sända signaler utåt men ingenting hindrar att man tar emot signaler utifrån under hela vägen mot centrum. I centrum skulle all materia samlas i en punkt utan utsträckning, eller åtminstone asymptotiskt röra sig mot detta tillstånd.
För svarta hål med laddning eller rörelsemängdsmoment blir det däremot annorlunda. Händelse-horisonten ser ut på samma sätt förutom att den nu inte måste vara helt sfärisk. Dessutom finns en andra horisont längre in – Cauchy-horisonten. Innanför denna kan man varken sända eller ta emot signaler utifrån. Men ett objekt som faller mot denna horisont kommer ändå att ta emot ”alla signaler” innan den passerar horisonten. Utifrån skulle det se ut som att den fallande minskade sin hastighet asymptotiskt mot noll och aldrig nådde horisonten, medan den fallande skulle uppleva sin hastighet som ökande och att tiden gick obegränsat snabbare och snabbare utanför. Denna tidsdilation har stöd i den allmänna relativitetsteorin som säger att tiden går saktare för observatörer som befinner sig närmare ett massivt objekt än för de som befinner sig längre bort. Det framgår att en svartahål-resenär har två problem. Dels måste man undvika att slitas itu av tidvattenkrafterna (det svarta hålet utövar en betydligt större kraft på den del av kroppen som befinner sig närmast hålet, och detta ger en kraftigt uttänjande effekt). Dels måste man klara av att ta emot miljarder års stjärnljus som når en under den sista sekunden innan man passerar Cauchy-horisonten.
Droz beskriver i sin artikeln som att ett nytt universum har skapats innanför denna Cauchy-horisont, där vad som sker inte på något sätt behöver vara deterministiskt förutbestämt vid ögonblicket då kollapsen till det svarta hålet sker.
Bland de mera hypotetiska teorierna finns vita hål och maskhål. Ett maskhål skulle förbinda ett svart hål med ett vitt hål, så att det som försvinner i det svarta hålet kommer fram i det vita hålet som ligger på ett annat ställe i rumtiden. Eventuellt kan materia t o m färdas bakåt i tiden. Dessa teorier passar i den allmänna relativitetsteorin med saknar vad jag kan se empiriska belägg. (NE)[5]

Vad har man hittat?

Forskare har enligt Burrows (1987) identifierat många neutronstjärnor de senaste åren. De flesta har en massa på drygt 1.4 solmassor och några har högre massor uppemot 1.8 solmassor. Dessa värden stämmer bra överens med teoretiskt beräknade möjliga massor för neutronstjärnor (se rubriken *Teori om skapande och förintande av svarta hål*).
Svarta hål är till skillnad mot neutronstjärnor svåra att hitta dels eftersom de inte utsänder något ljus och dels för att de är små till storleken. Ett svart hål med solens massa skulle t.ex. ha en händelseradie på 3km (Burrows 1987). Det finns dock två sätt att indirekt observera svarta hål. Det ena sättet är att studera ett dubbelstjärnesystem där den ena parten är ett svart hål. Genom att studera periodtiden för rotationen och avståndet mellan himlakropparna kan man via Keplers tredje lag räkna fram summan av himlakropparnas massor. För övrigt kan nämnas att studier av

[4] Nationalencyklopedin, uppslagsord: svart hål
[5] Nationalencyklopedin, uppslagsord: maskhål

dubbelstjärnesystem är den enda pålitliga metoden för att bestämma massan även hos vanliga stjärnor (Lagerkvist 1999). Det andra sättet att detektera ett svart hål är att studera röntgenstrålning från gas som sugs in i ett svart hål. En partikel som dras in accelereras nämligen till mycket hög hastighet och sänder då ut strålning med omkring hundra gånger större intensitet än vad som skulle sändas ut om partikeln ingick i en fusionsreaktion. Burrows (1987)
Enligt teorier kan en neutronstjärna på mer än ca 3 solmassor inte hålla ihop utan kollapsar till ett svart hål (se rubrik *Teori om skapande och förintande av svarta hål*). Enligt Burrows (1987) har man hittat ett dubbelstjärnesystem där en av himlakropparna har en massa som fastställts till 7-14 solmassor, samt stämmer in på övriga kännetecken för svarta hål. T.ex. kan man se plasma från den närliggande stjärnan accelereras mot det förmodade svarta hålet och gå in i en spiralrörelse runt detta.
Man har även hittat mycket massiva svarta hål i centrum av många galaxer. Dessa har vanligen en massa på miljarder solmassor. De är lättare att upptäcka än svarta håll med ursprung i en stjärna eftersom de är så mycket större. Enligt Ferrarese (2002) har astronomer bekräftat att i alla galaxers centrum finns ett supermassivt svart hål.

Slutsatser

Ingen av artiklarna går så långt som att säga att det finns bevis för att svarta hål existerar. Istället används uttryck som ”starka belägg”, och ”bekräftelse” av objekt som inte kan förklaras på annat sätt än med svarta hål. Utifrån artiklarna drar jag ändå slutsatsen att det nu är ett av vetenskapsvärlden accepterat faktum att svarta hål existerar, både de enorma svarta hål som finns i centrum av galaxer och de svarta hål som blivit kvar efter kollapsade stjärnor. Det hindrar dock inte att forskare fortsätter leta efter alternativa förklaringar till empiriska upptäckter.
Vad som händer innanför händelsehorisonten hos svarta hål får däremot ses som enbart mer eller mindre välgrundade teorier. Tidsresor får ses som ren science fiction, även om inget kan uteslutas i nuläget.
Jag anser mig ha hittat den information jag sökte både vad gäller fysiken hos svarta hål och vilka empiriska upptäckter som gjorts.
Om man ser på utvecklingen av forskningen inom svarta hål ser man att det mesta teoretiska arbetet gjordes under en period i första halvan av 1900-talet, medan nästan alla empiriska upptäckter har gjorts de senaste två decennierna. Detta verkar lovande vad gäller möjligheten till fler spännande upptäckter inom den närmaste framtiden.

Referenser

1. Burrows, A. (1987). The birth of neutron stars and black holes. *Physics Today, Vol. 40 Issue 9*, 28-37.
2. Droz, S.; Israel, W.; Morsink, S.M. (1996). Black holes: the inside story. *Physics World (UK), vol.9, no.1*, 34-40.
3. *Encyklopedia Britania*. ”black hole”. 2002-10-29. http://search.eb.com/eb/article?eu=15686
4. Ferrarese, L.(1987). Supermassive black holes. *Physics World, Vol. 15 Issue 6*, 41-46.
5. C.I. Lagerkvist, K. Lodén: *Planeter, stjärnor, galaxer*, Liber utbildning, Stockholm (1999)
6. *Nationalencyklopedin.* “svart hål”. 2002-10-29. http://www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=319788
7. R.A. Servey, C.J. Moses & C.A. Moyer: *Modern Physics*. Saunders, Philadelphia (1989).