

Eksisterer Kuhnske Paradigmer i det 21. Århundredes Videnskabelige Verden?

Er Sorte Huller en Myte?

Videnskabsteori og etik for fysikere.
John Niclasen

15. juni 2009

1 Indledning

Den moderne teori for sorte huller opstod i 1960'erne, og der er skrevet meget litteratur og drevet megen forskning på området siden da. Historien starter dog helt tilbage i slutningen af 1915, hvor Albert Einstein lagde sidste hånd på den Generelle Relativitetsteori, og Karl Schwarzschild frembragte den første løsning til Einsteins komplicerede feltligninger. En løsning der siges at indeholde en såkaldt *Schwarzschild radius*, som forårsager *begivenhedshorisonter* nær tunge legemer.

Det viser sig, at den senere version af "*Schwarzschilds løsning*" **ikke er Schwarzschilds oprindelige løsning**. Er det hele en misforståelse, så sorte huller er en myte, der ikke findes i den virkelige verden, som videnskaben forsøger at beskrive?

1.1 Problemformulering

Det er min målsætning her at klarlægge, om den moderne teori for sorte huller er et klasseeksempel på et *Kuhn'sk paradigme*. Eller måske mere præcist et *Kuhn'sk mini-paradigme*.

Jeg vil ligeledes belyse metoder til at afdække eventuelle mytiske forestillinger af denne art, og hvordan de i bekræftende fald kan bekæmpes med en god portion af Poppers *kritiske rationalisme*.

2 Historisk gennemgang

Efter Albert Einstein i 1905 havde formuleret den Specielle Relativitetsteori, arbejdede han efterfølgende bla. med at generalisere teorien til også at inkludere tyngdefelter. Dette arbejde kulminerede i efteråret 1915, hvor Einstein fik publiceret et antal artikler om emnet. Einsteins 11. november 1915-udgave med titlen "Zur allgemeinen Relativitätstheorie (Nachtrag)" (engelsk: "On the General Theory of Relativity (Addendum)"), publiceret 18. november 1915 [1], fik Karl Schwarzschild adgang til fra sin udstationering ved østfronten under den 1. verdenskrig, hvor han beregnede projektilbaner for langtrækkende artilleri.

2.1 Schwarzschilds oprindelige løsning

Schwarzschild skriver første gang om sin løsning til Einsteins feltligninger i et brev til Einstein dateret d. 22. december 1915. [2] (Se appendiks A for en dansk oversættelse af dette brev.) Schwarzschild lægger i brevet udtrykkelig vægt på, at hans løsning er singulær i nulpunktet (centrum af et massivt legeme) - og **kun** i nulpunktet. Løsningen er linie-elementet (metrikken):

$$ds^2 = \left(1 - \frac{\gamma}{R}\right) dt^2 - \frac{dR^2}{1 - \frac{\gamma}{R}} - R^2(d\vartheta^2 + \sin^2 \vartheta d\varphi^2)$$

, hvor

$$R = (r^3 + \alpha^3)^{1/3}$$

Det centrale i denne oprindelige løsning fra Schwarzschild er, at han har valgt sine koordinater sådan, at løsningen beskriver tyngdefeltet i en kontinuert rumtid, og at det kun er i centrum, løsningen bliver singular. Det svarer til, når man i den Newtonske Mekanik beskriver tyngdekraften omkring en rotations-symmetrisk sfære, som om al massen var samlet i et punkt i centrum af sfæren.

I Schwarzschilds løsning er store- R **ikke** radius. Det er lille- r , der er radius.

Man kan af efterflg. korrespondance mellem Einstein og Schwarzschild læse, at Einstein var overrasket og begejstret for løsningen, da han ikke forestillede sig, at der fandtes så enkle løsninger på de komplicerede feltligninger.

Schwarzschild fik publiceret sine resultater d. 13. januar 1916 i hans "Massenpunkt" papir. En nyere oversættelse med den engelske titel "On the Gravitational Field of a Mass Point according to Einstein's Theory" fremkom i 1999 fra to italienere, S. Antoci og A. Loinger [3].

2.2 Hilberts løsning

Der skete det meget uheldige for Karl Schwarzschild, at han pådrog sig en dødelig sygdom ved fronten i Rusland, og han døde 11. maj 1916 i en alder af 42 år - kun få måneder efter fundet af sin løsning. En Philipp Frank præsenterede nu Schwarzschilds "Massenpunkt" papir for det matematiske fællesskab. Genudledninger af Schwarzschilds løsning af folk som Droste, Hilbert og Weyl bevirkede, at der blev skabt en ny udgave af "Schwarzschilds løsning", nu med et nyt udseende. Det var især resultater fundet af David Hilbert, der førte til, at løsningen fik et nyt udseende, nemlig

$$ds^2 = \left(1 - \frac{2m}{r}\right) dt^2 - \left(1 - \frac{2m}{r}\right)^{-1} dr^2 - r^2(d\vartheta^2 + \sin^2\vartheta d\varphi^2) \quad ,$$

$$0 < r < \infty$$

(Gravitationskonstanten G og lyshastigheden c er udeladt af ligningerne, da de som regel bliver sat til 1 af teoretikere.)

Hilbert begik en fejl i sine udledninger, og det er kun p.gr.a. denne fejl, at han fandt frem til den manifold og det udseende af løsningen, som han gjorde. Der er desuden de problemer med Hilberts løsning, at r ikke er radius (men blev fortolket sådan), og løsningen gælder ikke i hele det angivne interval, men kun i $2m < r < \infty$. Efter Hilberts publicering af sine resultater i 1917, blev navnet "Schwarzschild" koblet sammen med denne anderledes og ikke-kompatible "løsning". De forskellige omstændigheder er nøjere beskrevet af Salvatore Antoci i papiret med titlen: **David Hilbert and the Origin of the "Schwarzschild Solution"** [4].

Det helt centrale i Hilberts løsning er, at store- R er skiftet ud med lille- r , som i den originale løsning er radius. Dette bevirker, at løsningen nu er singular 2 steder, nemlig i centrum og i afstanden $r = 2m$. Det var netop dette, Schwarzschild så smukt undgik med sit valg af koordinater. Det skal her nævnes, at Einsteins feltligninger er *covariante*, dvs. ligningernes form er uafhængig af valg af koordinatsystem, og dette var Schwarzschild klar over. Men dette faktum retfærdiggør ikke Hilberts løsning, der er fejlbehæftet (se [4]).

2.3 Einsteins 1939 artikel

I årene efter Hilbert knyttede navnet "Schwarzschild" til sin løsning, der altså var forskellig fra Schwarzschilds oprindelige løsning, blev der blandt forskere argumenteret for, at løsningen førte til de bizarre objekter, der meget senere blev kendt som sorte huller.

Einstein selv argumenterede imod de bizarre forslag, og fra hans hånd fremkom i 1939 en videnskabelig artikel med titlen "On a Stationary System with Spherical Symmetry consisting of many Gravitating Masses". [5] I den næstsids-te paragraf skriver Einstein:

The essential result of this investigation is a clear understanding as to why the "Schwarzschild singularities" do not exist in physical reality.

...

The "Schwarzschild singularities" does not appear for the reason that matter cannot be concentrated arbitrarily. And this is due to the fact that otherwise the constituting particles would reach the velocity of light.

- A. Einstein [5]

Einstein konkluderer altså, at de to singulariteter, i hvad der kendes som "Schwarzschilds løsning", ikke eksisterer som en fysisk realitet.

2.4 "Frozen star"

I mange år skete der ikke de store gennembrud eller tilføjet ny klarhed omkring, hvad der skete, når tunge legemer faldt sammen under deres egen tyngdepåvirkning. Den Generelle Relativitetsteori forudsagde, at rumtidskrumningen ville blive så stor, at tiden vil gå i stå så at sige. Dvs. det ville tage uendeligt lang tid at få dannet de bizarre objekter, forskere forudsagde ud fra Einsteins feltligninger og den såkaldte "Schwarzschild løsning". Man knyttede begrebet "Frozen star" til objekterne. Hvis man kunne stå i nærheden af et tungt legeme (f.eks. en meget tung stjerne) under kollaps og kunne observere, hvad der skete, ville man se, at kollapset vil gå langsommere og langsommere, som når man fryser en film i dens fremvisning.

Tiden går virkelig langsommere, jo mere rumtiden krummes. Det har moderne forsøg med atomure ved Jordens overflade og på rejse med fly vist. Astronomer kan observere samme tidsforlængelse i spektra fra mere eller mindre massive stjerner, da spektrallinierne bliver rødforskudt.

2.5 Diracs 1962 artikel

I 1960 kom der nyt syn på situationen, da nye matematiske beskrivelser fremkom fra M. D. Kruskal [6] i USA og uafhængigt af G. Szekeres [7] i Australien. Disse nye beskrivelser kunne udvide "Schwarzschild løsningen" til det indre af sorte huller, altså så løsningen kunne bruges for hele intervallet $0 < r < \infty$.

I 1962 kommenterede den store fysiker (og vel også matematiske geni), Paul Dirac, den nye udvikling omkring "Schwarzschild løsningen" til Einsteins feltligninger. Han skriver flg. i et papir med titlen "Particles of finite size in the gravitational field" [8]:

The mathematicians can go beyond this Schwarzschild radius, and get inside, but I would maintain that this inside region is not physical space, because to send a signal inside and get it out again would take an infinite time, so I feel that the space inside the Schwarzschild radius must belong to a different universe and should not be taken into account in any physical theory.

- P. A. M. Dirac

Det er altså ifølge Paul Dirac *ufysisk* at tale om rum, tid og begivenheder i øvrigt indenfor *Schwarzschild radius*, som er den afstand fra centrum, hvor Hilberts løsning er singularær. Medtages Newtons gravitationskonstant og lyshastigheden i ligningerne, er *Schwarzschild radius* defineret som:

$$r_s = \frac{2Gm}{c^2}$$

Området i denne afstand fra centrum kaldes *begivenhedshorisonten*.

2.6 ”Black hole”

Op gennem 60'erne tog de moderne teorier for sorte huller for alvor fat. En New Zealandsk matematiker, Roy Kerr, fandt løsning til beskrivelse af et ikke-ladet roterende sort hul. Den roterende singularitet i denne løsning er en ring, og altså ikke et punkt. Kort tid efter kunne den matematiske fysiker, Roger Penrose, bevise, at ethvert sort hul indeholder en singularitet.

Sidenhen er der kommet et væld af forskellige udgaver af sorte huller. Ud over det simple sorte hul med en singularitet er der beskrevet: *nøgne singulariteter, sorte huller uden hår, supermassive sorte huller i centre af galakser, sort huls kvasarer, binære systemer af sorte huller, kolliderende sorte huller, sorte huller med gammastråling, ladede sorte huller, roterende sorte huller, ladede og roterende sorte huller, primordial sorte huller, mini sorte huller, fordampende sorte huller, ormehuller* samt andre varianter, endda selv *hvide huller*. Alle disse varianter har bizarre karakteristika, så som at man kan få *begivenhedshorisonten* til at forsvinde, hvis det sorte hul tildeles en tilpas stor ladning.

Begrebet *black hole* tilskrives John Wheeler i hans 1967 lecture ”Our Universe: the Known and Unknown” som et alternativ til det mere besværlige ”*gravitationally completely collapsed star*”. Wheeler selv insisterer på, at en anden ved konferencer havde benyttet begrebet først. Begrebet er også benyttet tre år tidligere i et brev fra 1964 af Ann Ewing til *American Association for the Advancement of Science* (AAAS):

According to Einstein's general theory of relativity, as mass is added to a degenerate star a sudden collapse will take place and the intense gravitational field of the star will close in on itself. Such a star then forms a "black hole" in the universe.

- Ann Ewing [9]

2.7 En videnskabelig kontrovers om tab af information

Et paradoks kendt som *black hole information paradox* er opstået i kombinationen af kvantemekanikken og sorte huller. Man forestiller sig, at fysisk information kan "forsvinde" i et sort hul, når materiale falder ind bag *begivenhedshorisonten*.

I 1974 beskrev Stephen William Hawking på baggrund af arbejde udført af Jacob Bekenstein, at sorte huller i teorien kan udstråle energi (populært kaldet "fordampe") - også kendt som *Hawking stråling*. [10] Kort fortalt går det ud på, at partikel/antipartikel-par kan dannes nær *begivenhedshorisonten* på en måde, så den ene part falder ind bag horisonten, og den anden part undslipper. Et teorem (*no hair theorem*) siger, at denne stråling skal være fuldstændigt uafhængigt af det materiale, der oprindeligt faldt ind i det sorte hul. Dette bevirker, at information går tabt, og dette er i modstrid med kvantemekanikken.

Dette blev påpeget af forskere i kvantemekanikken, og der opstod en **videnskabelig kontrovers**. Diskussionen fortsatte i de efterflg. årtier, og i 1997 indgik på den ene side Kip Thorne og Stephen Hawking (tilhængere af sorte huller) og på den anden side John Preskill (ekspert i kvanteinformationsteori) et væddemål om udfaldet af dette paradoks. Væddemålet er kendt som *Thorne-Hawking-Preskill bet*.

Efter at have tænkt grundigt over problemet i mange år bekendtgjorde Hawking i 2004, at han havde noget vigtigt nyt at sige om det. Han ville tale ved **GR17** (*17th International Conference on General Relativity and Gravitation*) i Dublin, og Hawking siger i hans tale med titlen "The information paradox for black holes":

The Euclidean path integral over all topologically trivial metrics can be done by time slicing and so is unitary when analytically continued to the Lorentzian. On the other hand, the path integral over all topologically non-trivial metrics is asymptotically independent of the initial state. Thus the total path integral is unitary and information is not lost in the formation and evaporation of black holes. The way the information gets out seems to be that a true event horizon never forms, just an apparent horizon.

- S. Hawking [11]

Han siger altså, at der ikke dannes en *rigtig begivenhedshorisont*, men kun en *tilsyneladende horisont*. Hawking tog konsekvensen og kvitterede for væddemålet overfor Preskill. Det var store nyheder, der også nåede den alm. presse. Bla. kunne man i en nyhedsartikel hos BBC News under overskriften "Hawking backs down on black holes" læse:

Hawking's newly defined black holes did not have a well-delineated "event horizon" that hid everything in them from the outside world.

- Gary Gibbons [12]

Kip Thorne har endnu ikke vedkendt sig nederlaget, ligesom Hawkings forklaring endnu ikke er godkendt af andre forskere på området. Kontroversen kører altså videre i et vist omfang.

2.8 En artikel fra 2007

I 2007 udkom en videnskabeligt artikel fra en gruppe forskere ved *Case Western Reserve University*, hvor de konkluderer, at sorte huller ikke dannes. Deres udgivelse har titlen "Observation of Incipient Black Holes and the Information Loss Problem". [13] En af forfatterne udtaler:

From an external viewer's point it takes an infinite amount of time to form an event horizon and that the clock for the objects falling into the black hole appears to slow down to zero.

- Lawrence M. Krauss [14]

Gruppen har efter et års arbejde med komplekse formler til beregning af dannelse af sorte huller konkluderet, at sorte huller ikke dannes. Den oprindelige løsning fra Schwarzschild og også Hilberts løsning er statiske løsninger. Hvis man skal beregne, hvad der sker i kollapset af en tung stjerne, må man gå anderledes til værks. Gruppen har studeret et sådant kollaps ved brug af den *funktionelle Schrödinger formalisme*, og så viser det sig, at sorte huller ikke dannes.

3 Diskussion

Det kan være chokerende for en person med tiltro til den videnskabelige verden at læse den historiske gennemgang af, hvordan fænomenet *sorte huller* opstår. Et er, om sorte huller i det hele taget har sin fysiske berettigelse, noget andet er, om vi her har tale om et paradigme, som Kuhn definerer det. Og hvis det er et paradigme, er det så noget, man bør bekæmpe med kritisk rationalisme?

Mange vil mene, vi med Popper er gået bort fra Kuhns paradigmer. At den moderne naturvidenskab mere er styret af kritisk rationalisme end af videnskabsfolkets egen bestemmelse af, hvad der er videnskab og derfor bør forskes i.

Sorte huller er i vid udstrækning blevet normalvidenskab. Der er skrevet utroligt meget om fænomenet, både i form af videnskabelige artikler og populærvidenskabelige bøger. Ethvert universitet med respekt for sig selv har kurser specielt om sorte huller, og de indgår også i undervisningen af den Generelle Relativitetsteori. Ligeledes bliver sorte huller nævnt i flæng i astronomikurser med den største selvfølge.

Hvordan er denne situation opstået, især når det virker oplagt, at man kan sætte store spørgsmåltegn ved fænomenets berettigelse?

3.1 En inflydelsesrig matematiker

Da Schwarzschild havde udgivet sine resultater (og var død), var det naturligt for andre forskere at genudlede løsningen ud fra Einsteins feltligninger. Et er at læse en anden forskers udledninger og resultater, noget andet er at udlede dem selv. Man er nødt til at sætte sig ind i stoffet, og ved at gennemgå det hele trin for trin får forskeren en dybere forståelse af stoffet.

Droste og Weyls udledninger er kompatible med Schwarzschilds originale. Man kan gå frem og tilbage mellem løsningerne ved simpel koordinattransformation. Hilberts løsning er anderledes og ikke kompatibel med de andres. Desuden hævder flere kilder, at Hilberts løsning er behæftet med fejl. Hvorfor er det

så, at Hilberts løsning alligevel overlever og bliver kendt som "Schwarzschilds løsning"?

David Hilbert (1862 - 1943) var en tysk matematiker, som er kendt som en af de mest indflydelsesrige og universielle matematikere i det 19. og tidlige 20. århundrede. Fra 1902 til 1939 var Hilbert redaktør af den tids ledende matematiske journal "Mathematische Annalen", stedet hvor man fik udgivet sine resultater. Hvis Hilbert udtalte sig om noget inden for matematik, så sagde man ham ikke bare imod. Udledningen af Schwarzschilds løsning ud fra Einsteins feltligninger er komplekst matematik med tensorer og Riemann-manifolds. Hilbert havde magt i form af sin opbyggede troværdighed og status, ligesom Pasteur havde det modsat Poutier omkring spørgsmålet om livets spontane opståen. Jeg tror ikke, Hilbert forsøgte at nedgøre Schwarzschilds arbejde på nogen måde, og han sørgede jo for, at løsningen kom til at hedde "Schwarzschilds løsning" og ikke "Hilberts løsning". Hilbert skriver i en fodnote, at Schwarzschild gjorde noget lidt andet end han selv, og at det i Hilberts øjne ikke er anbefalelsesværdigt at gøre det på Schwarzschilds måde, samt at Schwarzschilds transformation er mindre simpel. Så er det jo blot ærgerligt, hvis Hilberts løsning indeholder fejl, som det påstås. [4]

Resultatet blev, at det der idag kendes som "Schwarzschilds løsning" i virkeligheden er Hilberts løsning, og at den påstås at indeholde fejl. I Schwarzschilds oprindelige løsning er der ikke plads til sorte huller.

3.2 De garvede fysikere

Hvordan kan det være, forskere af sorte huller ignorerer Einsteins og Diracs udtalelser omkring, at sorte huller ikke kan dannes, og at området bag *begivenhedshorizonten* ikke er fysisk område, der derfor ikke bør indgå i fysiske teorier?

Et svar kan være, at forskere ikke havde tiltro til Einstein og Dirac på dette område. Einsteins artikel fra 1939 skrev han i en alder af 60 år. [5] Samme år udgav J. R. Oppenheimer og H. Snyder et papir med titlen "On Continued Gravitational Contraction", hvor de for første gang beskriver, hvordan en stjerne kan kollapse under sin egen tyngdepåvirkning, og at lyset fra stjernen bliver rødforskuet. [15] De konkluderer, at det foregår i en endelig tid for en *comoving* observatør. En ekstern observatør vil se stjernen blive reduceret asymptotisk til sin gravitationelle radius. Oppenheim var i en produktiv periode i sit liv og skulle til at konstruere en atombombe for amerikanerne. Einstein var en ældre herre. Senere forskere kan have mere tiltro til Oppenheimer og fortolke hans udledninger derhen, at der kan dannes sorte huller. Andre vil nok fortolke det anderledes.

Mht. Diracs udtalelse i hans artikel fra 1962, så var også han 60 år gammel på dette tidspunkt. [8] Dirac har bidraget meget til kvantemekanikken og kvanteelektrodynamikken, og måske forskere ville mene, han var mindre troværdig, når det kom til den Generelle Relativitetsteori. Endelig er det muligt, forskere ikke har været bekendt med hans artikel fra 1962. Der bliver stadig flere og flere videnskabsfolk, og der udgives stadig flere og flere videnskabelige artikler. Det kan være meget svært at følge med i alt, hvad der skrives om et givent emne. Det bør dog ikke gå ubemærket hen, når forfatteren er Dirac.

3.3 Lucasian Professor of Mathematics

Stephen Hawking er *Lucasian Professor of Mathematics* ved universitetet i Cambridge. Det er samme post, som Sir Isaac Newton bestred i 1669 - 1701. Han er kendt for sine bidrag til kosmologien og kvantegravitation - specielt i forb. m. sorte huller. Han har status og er populært kendt som en genial hjerne fanget i en syg krop (Hawking lider af en nervesygdom og lever et liv i rullestol med meget begrænsede bevægelsesmuligheder.).

Det er uden tvivl meget spændende for både videnskabsfolk og lægmand at høre om de mystiske sorte huller og hvordan de over lang tid kan forsvinde igen gennem Hawking-stråling. Samtidig er matematikken ofte så kompliceret, at det er de færreste, der virkelig kan gennemskue, om beregningerne holder stik. En interessant personlighed som Stephen Hawking har virkelig været med til at gøre sorte huller populære.

Så i 2004 erkendte han, at sorte huller aldrig danner en *rigtig begivenhedshorisont*, men kun en *tilsyneladende horisont*, hvad det så skal betyde. [11] Det er interessant at bemærke, at de øvrige forskere på området ikke godtager Hawkings forklaring. Det kan jo måske betyde, at de skal smide mange års forskning væk. Eller sådan vil det måske føles.

Hawkings beskrivelse af Hawking-stråling førte til en videnskabelig kontrovers. Kragh skriver i sin bog om videnskabsteori, at efter en rationalistisk videnskabsopfattelse kan kontroverser kun skyldes faktorer, der er eksterne i forhold til den videnskabelige diskurs. For ved brug af den rette videnskabelige metode bør man jo hurtigt kunne komme til enighed. Jeg tror ikke, det helt er tilfældet her. Årsagen til kontroversen er ikke ekstern, og det er nok foregået i god videnskabelig ånd, og der er indgået videnskabelige væddemål. Alligevel kan kontroversen foregå over årtier. Årsagen er, at det er kompliceret teoretisk fysik med kompliceret matematik. Man kan ikke bare benytte sig af den videnskabelige metode og udføre et eksperiment, der afgør sagen.

3.4 Eksisterer sorte huller som en fysisk realitet?

Hvad siger teorien?

Det ser ud til, at teoretikerne har delte meninger. Går man ud fra Schwarzschild's oprindelige løsning til Einsteins feltligninger, eksisterer *begivenhedshorisonter* ikke. Uden *begivenhedshorisonter*, ingen sorte huller. Mange store fysikere og store teoretikere er af denne mening, f.eks. Einstein selv og også Dirac. Hawking ser ud til at have skiftet mening mht. *begivenhedshorisonten*. Tager man udgangspunkt i Hilberts løsning, så fremkommer bizarre objekter med *begivenhedshorisonter*. Det er, som jeg ser det, hovedsaglig matematikere mere end fysikere, der er fortalere for denne udlægning.

Kan eksperimentet afgøre sagen?

Man kan ikke udføre laboratorieforsøg med kollapsende stjerner. Der er dog tale om mulighed for dannelse af *mini sorte huller* i LHC ved CERN. Det bliver spændende at se resultaterne af disse forsøg i de kommende år, og hvordan dataene bliver fortolket. Mht. sorte huller i universet, så kigger astronomerne efter røntgenstråling, der opstår, når materiale falder ned mod de tunge objekter. Rammer materialet en hård overflade, som er tilfældet ved neutronstjerner,

har strålingen en anden profil, end hvis der ingen overflade er. Man observerer sådanne forskellige profiler, men en forklaring kunne være stærk rødforskydning af signalet, når rumtiden er kraftigt forvrænget. [16] [17]

3.5 Videnskabsteori

Efter Kruskal-Szekeres udvidelse af Hilberts løsning blev der pludselig meget at gøre for teoretikerne. Man havde nu værktøjet til at udforske området bag *begivenhedshorizonten*, og der blev forsket i ladningers og rotationens indvirkning på de matematiske modeller. Ud af dette sprang der et væld af ny forskning - al sammen dog meget teoretisk. Et mini-paradigme var skabt, og sorte huller er blevet **normalvidenskab**. Med Hawkings beskrivelser og bidrag blev det også meget populært udenfor videnskabelige kredse. Hawkings bog "A Brief History of Time" med introduktion af Carl Sagan blev en bestseller og er solgt i mere end 9 mio. eksemplarer. En stor del af bogen omhandler sorte huller.

Ifølge Poppers *demarkationskriterium* skal en videnskabelig teori som et minimum være *falsificerbar*. En teori, der ikke har denne egenskab, kan ikke betegnes som videnskabelig.

Det er vigtigt at påpege, at selvom sorte huller med *begivenhedshorisonter* skulle findes, så er området bag horisonten utilgængeligt for ethvert fysisk eksperiment. Teoretikere er enige om, at set fra en ekstern observatør tager det uendelig lang tid at falde ind bag horisonten, ligesom det er umuligt at få et signal fra bag horisonten til en ekstern position, fordi undvigelseshastigheden overstiger lysets hastighed. Fra et kritisk rationalistisk synspunkt er det ikke videnskab at beskæftige sig med området bag *begivenhedshorizonten*, så al spekulation om f.eks. *ormehuller* er ikke videnskab. Man bør ikke formulere videnskabelige teorier om det indre af sorte huller.

Den videnskabelige verden her i starten af det 21. århundrede er ikke rendyrket som beskrevet af nogen af videnskabsteoretikerne. Det er meget almindeligt for videnskabsfolk at henvise til *falsifikation* som et kriterie for videnskabelige teorier, men virkeligheden er i visse tilfælde anderledes. Hvordan griber man det an, hvis man vil det Kuhnske paradigme omkring sorte huller til livs? Kuhn er enig med Popper på mange områder, bla. at give teori prioritet frem for observationer, men det er jo ikke godt, når det hele fører til teorier, der ikke kan falsificeres. En svaghed hos Popper er *eksistensudsagn*, f.eks. udsagn som "X eksisterer". Kan man falsificere udsagnet "sorte huller eksisterer"?

Kigger man til Lakatos, så snakker han om *forskningsprogrammer*. Overgangen fra et forskningsprogram til et andet kan ske, hvis det nye program giver nogle bedre forklaringer. Måske det er en bedre forklaring på den manglende hårde røntgenstråling fra tunge objekter i universet, at strålingen er ekstremt rødforskudt, frem for at materialet falder ned i et sort hul? For at få forskningen på området til at skifte retning kunne man stille nogle gode, kritisk rationalistiske spørgsmål til forskerne, så man tvinger dem til at tænke i andre baner. Hvor knækkede filmen? Det gjorde den, da Hilbert ændrede Schwarzschilds løsning. Man kunne spørge, hvad der retfærdiggør Hilberts løsning frem for Schwarzschilds originale? Mange videnskabsfolk er slet ikke bekendt med Schwarzschilds originale løsning.

Vil man have en blød overgang fra de nuværende forskningsprogrammer til nogle, hvor sorte huller ikke eksisterer, kan man måske hente hjælp hos Larry Laudan, der deler mange af Kuhns og Lakatos' ideer. I modsætning til Lakatos

mener Laudan dog, at en forskningstraditions kerne kan ændres med tiden; og i modsætning til Kuhn fremhæver han, at en forsker godt kan arbejde inden for mere end én forskningstradition, endda på samme tid. Så hvis man fik forskerne til at tage et alternativt syn op, som bygger på Schwarzschilds originale løsning, og som ikke giver plads til sorte huller, så kunne forskningen som udgangspunkt fortsætte sideløbende med disse to alternative syn.

4 Konklusion

Mht. sorte huller er vi videnskabsteoretisk bombet århundredet tilbage i tiden. Det er Platonisme, der råder i den komplicerede teoretiske og matematiske ”verden”, der på baggrund af den Generelle Relativitetsteori har skabt de moderne teorier om sorte huller. Matematikere jonglerer med løsninger til feltligningerne, og ud fra de matematiske resultater konkluderer man, at sådanne objekter findes i den fysiske verden.

Matematiske singulariteter er blevet en fysisk realitet.

Et punkt er et abstrakt matematisk begreb. Det findes **ikke** i den fysiske verden, vil mange fysikere hævde. Til gengæld vil de hævde, at alting har en udstrækning i den fysiske verden. Teorien om *Big Bang* kan heller ikke forklare, hvad der skete i det første splitsekund efter dannelsen, men tager først udgangspunkt på et tidspunkt, hvor universet havde en vis udstrækning.

Der er mange kendetegn ved teorien (eller teorierne) om sorte huller, der er fælles med Kuhns beskrivelse af paradigmer. Sorte huller er blevet normalvidenskab, og der er ikke meget falsificerbart ved det.

Jeg kan ikke understrege nok, at Popper har nogle gode pointer med sin kritiske rationalisme. Man er nødt til at stille kritiske spørgsmål til forskerne og bede om falsifikation, hvis man vil undgå faren for, at forskningen ender i abstrakte teorier, der ikke har noget med fysiske realiteter at gøre. Men det kan være svært at stille de rigtige spørgsmål!

Jeg tror ikke, man skal forvente, at forskerne øjeblikkeligt smider alt, hvad de har i hænderne, og ikke længere vil beskæftige sig med sorte huller, som Popper tilråder, hvis man konkluderer, de ikke findes. Sorte huller er teoretisk matematik med en fysisk fortolkning. Poppers idéer passer nok bedre på mere virkelighedsnær fysik.

Måske sorte huller har en fremtid i den teoretiske matematik frem for fysikken og astronomien?

5 Litteraturliste

- A. J. Kox, Martin J. Klein, Robert Schulmann, *The Collected Papers of Albert Einstein, Volume 6, The Berlin Years, Writings, 1914-1917*, Princeton 1996, Princeton University Press
- Robert Schulmann, A. J. Kox, Michel Janssen, József Illy, *The Collected Papers of Albert Einstein, Volume 8, The Berlin Years, Correspondence, 1914-1917*, Princeton 1998, Princeton University Press
- Kurt Møller Pedersen, *Kompendium, Videnskabsteori og etik for fysikere*, København 2009, Niels Bohr Institutet, Det naturvidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- Helge Kragh, *Naturerkendelse og videnskabsteori*, Gyllinge 2004, Narayana Press
- Roger Penrose, *The Road to Reality*, Suffolk 2004, William Clowes
- Eric Poisson, *A Relativist's Toolkit*, Cambridge 2004, Cambridge University Press
- Edwin F. Taylor, John Archibald Wheeler, *Exploring Black Holes*, San Francisco 2000, Addison Wesley Longman
- Charles W. Misner, Kip S. Thorne, John Archibald Wheeler, *Gravitation*, New York 1995 (Nineteenth printing), W. H. Freeman and Company
- Poul Olesen, *General Relativity and Cosmology, Lecture notes*, København 2008, Niels Bohr Institute
- Jørgen Christensen-Dalsgaard, *Stellar Structure and Evolution, Lecture notes*, Aarhus 2008, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet
- Stephen Hawking, *A Brief History of Time*, London 1988, Bantam Books

6 Referencer

1. A. Einstein, "Zur allgemeinen Relativitätstheorie (Nachtag)", *Königlich Preußische Akademie der Wissenschaften* (Berlin). *Sitzungsberichte* (1915), pp. 799-801
2. Robert Schulmann, A. J. Kox, Michel Janssen, József Illy, *The Collected Papers of Albert Einstein, Volume 8, The Berlin Years, Correspondence, 1914-1917*, Princeton 1998, Princeton University Press, pp. 224-225
3. K. Schwarzschild, oversættelse og forord af S. Antoci og A. Loinger, *On the Gravitational Field of a Mass Point according to Einstein's Theory*, (1916), oversat 1999, <http://arxiv.org/abs/physics/9905030v1>
4. Salvatore Antoci, *David Hilbert and the Origin of the "Schwarzschild Solution"*, (2003), <http://arxiv.org/abs/physics/0310104v1>
5. A. Einstein, "On a stationary system with spherical symmetry consisting of many gravitating masses", *Annals of Mathematics, Vol 40, No. 4*, (1939)
6. M. D. Kruskal, "Maximal extension of Schwarzschild metric", *Phys. Rev.*, (1960), v. 119, 1743.
7. G. Szekeres, "On the singularities of a Riemannian manifold", *Math. Debrec.*, (1960), v. 7, 285.
8. P. A. M. Dirac, "Particles of finite size in the gravitational field", *PRSL A270*, (1962), pp. 354
9. Michael Quinion, "Black Hole" <http://www.worldwidewords.org/topicalwords/tw-bla1.htm>, *World Wide Words*, læst 11. juni 2009
10. S. W. Hawking, "Black hole explosions?", *Nature 248*, (1974), pp. 30-31
11. Stephen Hawking, "The information paradox for black holes", *GR17 in Dublin 2004*, http://www.dcu.ie/~nolanb/gr17_plenary.htm#hawking, læst 11. juni 2009
12. Gary Gibbons udtalelse i BBC News, <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/3897989.stm>, 15. juli 2004
13. Tanmay Vachaspati, Dejan Stojkovic, Lawrence M. Krauss, "Observation of Incipient Black Holes and the Information Loss Problem", *Accepted for publication in Phys. Rev. D*, (2007), <http://arxiv.org/abs/gr-qc/0609024v3>
14. Udtalelse fra Lawrence M. Krauss, <http://www.physorg.com/news101560368.html>, læst 11. juni 2009
15. J. R. Oppenheimer and H. Snyder, "On Continued Gravitational Contraction", *Phys. Rev. 56*, 455 - 459, (1939)
16. A Celotti, J C Miller and D W Sciama, "Astrophysical evidence for the existence of black holes", (1999), <http://arxiv.org/abs/astro-ph/9912186v1>
17. Andreas Mueller, "Experimental Evidence of Black Holes", (2007), <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0701228v1>

7 Appendiks A

Brev fra Schwarzschild til Einstein dateret 22-Dec-1915

Oversat af John Niclasen
med assistance fra Christine Søholm Hansen
Oktober 28. 2008

Højtærede hr. Einstein!

For at blive fortrolig med Deres Gravitationsteori, har jeg beskæftiget mig med det af Dem i arbejdet om Merkur-perihelion opstillede og i første tilnærmelse løste problem. Dernæst blev jeg forvirret over en omstændighed. Jeg fandt til første tilnærmelse af koefficienten $g_{\mu\nu}$ udover Deres løsning desuden følgende to:

$$g_{\rho\sigma} = -\frac{\beta x_\rho x_\sigma}{r^5} + \delta_{\rho\sigma} \left[\frac{\beta}{3r^3} \right] \quad , \quad g_{44} = 1$$

Herefter var der udover Deres α også givet en anden, og problemet ville være fysisk ubestemt. Som følge heraf gjorde jeg en gang på lykke og fromme forsøget på at finde en fuldstændig løsning. En ikke så stort udledning gav flg. resultat: Der er kun et linie-element, som Deres udregninger 1) til 4) omkring felt- og determinant-formler opfylder, og som i nulpunktet - og kun i nulpunktet - er singulær.

Givet:

$$x_1 = r \cos \varphi \cos \vartheta \quad , \quad x_2 = r \sin \varphi \cos \vartheta \quad , \quad x_3 = r \sin \vartheta$$
$$R = (r^3 + \alpha^3)^{1/3} = r \left(1 + \frac{1}{3} \frac{\alpha^3}{r^3} + \dots \right)$$

så bliver linie-elementet:

$$ds^2 = \left(1 - \frac{\gamma}{R} \right) dt^2 - \frac{dR^2}{1 - \frac{\gamma}{R}} - R^2 (d\vartheta^2 + \sin^2 \vartheta d\varphi^2)$$

R, ϑ, φ er ikke "tilladte" koordinater, og som man ikke bør bygge feltligningerne med, fordi de ikke har determinanten 1, men linie-elementet beskriver sig på skønneste måde i disse.

Banekurvens ligning bliver bevaret præcis som i Deres første tilnærmelse (11), dog må man for sit x benytte ikke $\frac{1}{r}$, men hellere $\frac{1}{R}$, hvilket er en forskel i størrelseorden 10^{-12} , altså i praktisk fuldstændig ligegyldigt.

Besværligheden med de to vilkårlige konstanter, α og β , som den første tilnærmelse gav, løste sig derhen, at β må have en bestemt værdi af størrelsen α^4 , såfremt som α er givet, ellers ville løsningen blive divergent under forudsætning af tilnærmelsen.

Det er altså også Deres problems entydighed på smukkeste vis.

Det er en ganske vidunderlig sag, som tvungent kommer ud af en så abstrakt idé som Merkur-anomalien.

Som De ser, er krigen venligt med mig, idet den på trods af skudild i det fjerne landskab tillader mig en spadseretur i deres idéland.

Rettelse

Schwarzschild skriver, at der er en forskel for radius i beregningen af bane-
kurven for Merkur på 10^{-12} . Det rigtige tal er 4.4×10^{-23} , og er 2. led i
Taylor-udviklingen:

$$\left(1 + \frac{1}{3} \frac{\alpha^3}{r^3} + \dots\right)$$

, hvor $\alpha = 2MG/c^2$, r er Merkurs middelfstand til Solens centrum og M er
massen af Solen.