

Ausbildungsseminar Astroteilchenphysik

Seminararbeit WS 08/09

Thema:

Aktive Galaktische Kerne

Alexander Igel

13. Januar 2009



Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	3
2 Aktive Galaktische Kerne.....	4
2.1 Kurze Erläuterung.....	4
2.2 Entdeckung.....	4
2.3 AGN-Paradigma.....	5
2.3.1 Supermassereiches schwarzes Loch.....	6
2.3.2 Akkretionsscheibe.....	7
2.3.3 Jets.....	8
2.3.4 Staubtorus.....	10
2.3.5 Korona.....	12
2.4 Strahlungsprozesse.....	13
2.5 Beispiele.....	15
2.5.1 Quasare/Blasare.....	15
2.5.2 Seyfertgalaxien.....	16
2.5.3 Radiogalaxien.....	17
3 Zusammenfassung und Ausblick.....	18
4 Literaturverzeichnis.....	19

1 Einleitung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit Aktiven Galaktischen Kernen. Doch bevor ich im Einzelnen die Struktur und die physikalischen Prinzipien dieser Objekte verdeutlichen werde, möchte ich einleitend eine kleine Beispielrechnung durchführen.

Stellen wir uns einmal vor, wir wären der König der Welt und wir wären in der Lage die Erde nach unserem Belieben zu bebauen. So könnten wir, auch wenn wir der König sind, leider nur 29% der Erdoberfläche hernehmen, da der Rest bekanntlich Wasser ist. Dies entspricht dann ungefähr 150 Millionen km^2 Landfläche, was ja auch schon ganz nett ist. Nun kommen wir auf die lustige Idee, diese ganze Fläche mit Kernkraftwerken zu überdecken. Dafür nehmen wir näherungsweise an, dass ein KKW mit Gelände ungefähr 15 km^2 Grundriss besitzt und legen los. Dh. wir erhalten ca. 10 Millionen KKW auf unserem Planeten – eine gigantische Menge will man meinen. Beabsichtigt man sich jedoch mit der Leistung eines starken aktiven galaktischen Kerns zu messen, so wirkt diese Zahl gerade zu mikroskopisch. Bei einer Leistung von 10^{31} Kernkraftwerken müssten wir noch 10^{24} Erden mit KKW “zupflastern” um diesen Giganten an Energie gerecht zu werden.

2 Aktive Galaktische Kerne

2.1 Kurze Erläuterung

Der Begriff “Aktive Galaktische Kerne” (engl. Active Galactic Nuclei, kurz **AGN**) bezeichnet allgemein das besonders hell leuchtende Innere aktiver Galaxien. Dabei handelt es sich um sogenannte Wirtgalaxien. Diese aktiven Galaxien zeichnen sich dadurch aus, dass in Ihrem Zentrum ein supermassereiches schwarzes Loch sitzt, bei dem die Umgebung als Wirt fungiert und das schwarze Loch mit Materie versorgt. In astronomischen Kreisen wird jener Vorgang kurz als Akkretion verstanden.

Somit werden enorme Mengen an Energie freigesetzt, mit der Folge, dass das Leuchten des Kerns oftmals um vieles stärker ist, als jenes der Sterne der Galaxie selbst. Da sich diese Objekte auch meist nur in sehr weiter Entfernung (bis zu mehreren Milliarden Lichtjahren) von der Erde finden lassen, erscheinen sie uns optisch als sternförmige Objekte. Ein Grund, warum es sich bis zu ihrer Entdeckung auch als sehr schwierig erwies, sie von gewöhnlichen Sternen unterscheiden zu können.

Die prinzipielle Sichtbarkeit der AGN im optischen Spektrum, trotz ihrer, selbst für astronomischen Distanzen, riesigen Entfernungen von der Erde, beweist ihre enorme Leuchtkraft. In Zahlen entspricht ihre Leuchtkraft bis zu 10^{14} Sonnen. Damit sind sie neben Gammastrahlenausbrüchen (Leuchtkraft bis 10^{19} Sonnen) die hellsten Objekte des Universums.

2.2 Entdeckung

Von den ersten Entdeckungen der Aktiven Galaktischen Kerne bis zu einer einheitlichen Klassifizierung verging knapp ein halbes Jahrhundert. Begonnen hat die Forschung über diese außergewöhnlichen Himmelskörper etwa im Jahre 1943 als die ersten sogenannten Seyfertgalaxien von *Carl. K. Seyfert* entdeckt wurden. Da diese Galaxien jedoch nur sehr schwache Vertreter der AGN sind, musste man auf weitere Entdeckungen warten um genauer erforschen zu können. Mit der Entdeckung der ersten Radiogalaxie durch *Bolton* im Jahre 1949 und der Quasare Anfang der Jahre wurde der Grundstein für einen

neues Forschungsgebiet der Astronomie gelegt – die Physik der Aktiven Galaktischen Kerne.

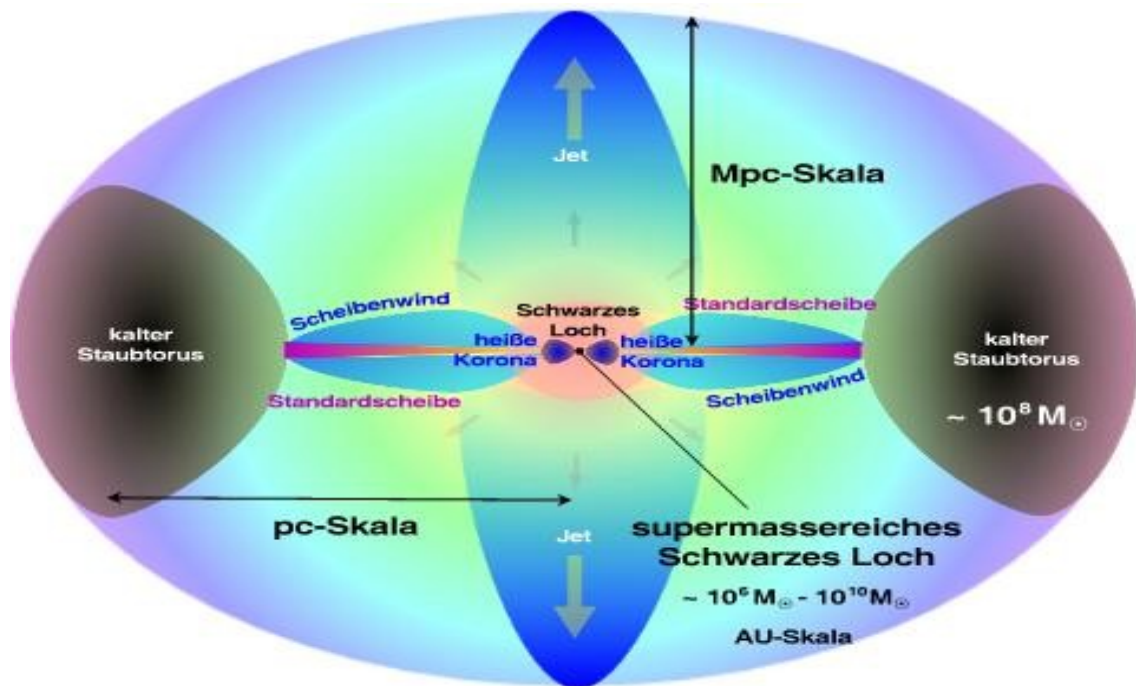
Die Entdeckungen zur damaligen Zeit wurden vor allem radioastronomisch bestätigt, da alle diese Objekte aufgrund ihrer großen Entfernung zur Erde im Optischen sternförmig erschienen. Die Spektren die dabei gemessen wurden, waren im Vergleich zu anderen bekannten Spektren von Sternen gänzlich verschieden. Dies bereitete den Wissenschaftlern zu Beginn großes Kopfzerbrechen, bis ein junger Physiker namens Marteen Schmidt 1963 auf die Idee kam, dass diese Objekte sehr weit von uns entfernt sind und man ihr Spektrum deshalb stark ins Rote verschieben muss, um es zu entschlüsseln. Anhand der Messungen der verschiedenen Linien im Spektrum, kristallisierte sich über die Jahre ein vereinheitlichendes Modell der AGN heraus – das sogenannte AGN Paradigma.

Erst viel später, im Jahre 1996, konnte das Hubble Teleskop erstmals die Wirtsgalaxien auflösen und damit die Annahme der hell leuchtenden Kerne bestätigen.

2.3 AGN-Paradigma

Das AGN-Paradigma bildet also eine Art Standardmodell der Aktiven Galaktischen Kerne. Bei allen AGN entspricht die Morphologie mehr oder weniger stark der im Folgenden dargestellten Abbildung (Abb. 1). Je nach Typ sind die verschiedenen Merkmale unterschiedlich stark ausgeprägt. Auch die Neigung zum Beobachter, spektrale Eigenschaften und die Leuchtkraft variieren, je nach Art des AGN. Die Größenverhältnisse sind in der Einheit Parsec angegeben, wobei gilt: 1 pc entsprechen 3,3 Lichtjahre oder $3 \cdot 10^{13}$ km.

Die Besonderheiten der einzelnen Merkmale werden nun im Folgenden näher betrachtet.



AGN-Paradigma als Querschnitt (Abb. 1)

2.3.1 Supermassereiches schwarzes Loch

Das supermassereiche schwarze Loch (engl. Supermassive Black Hole, kurz SMBH) sitzt im Zentrum eines Aktiven Galaktischen Kerns. Es wird sogar vermutet, dass sich in jedem Zentrum einer Galaxie ein solcher schwarzer Riese befindet, nur nicht zwingend aktiv ist. So auch in unserer Heimatgalaxie, der Milchstraße. Die Masse dieses schwarzen Lochs wird zu 3,6 Mio. Sonnenmassen errechnet. Dabei wird mit Hilfe von Teleskopen die Bewegung von Sternen rund um das schwarze Loch beobachtet und an Hand der Allgemeinen Relativitätstheorie ein Wert für dessen Masse bestimmt. Die SMBH vieler AGN können sogar bis zu Milliarden Sonnenmassen schwer sein. Jedoch ist die Ausdehnung, im Verhältnis zu Ihrer Masse, sehr gering: So beträgt der Horizontradius, also der Radius des schwarzen Loches, bei einer Masse von 10^{10} Sonnenmassen gerade einmal $3 \cdot 10^{10}$ km. Als Anschauung ist dann leicht nachzuvollziehen, sollte unsere Sonne ein SMBH darstellen, müsste sie bei gleichbleibender Masse auf 3 km Radius verkleinert werden.

Zudem dienen die SMBH als Motor der AGN in dem sie rotieren und Materie in sich hineinziehen - sie halten die Akkretion in Gange und somit bleiben die Galaxien aktiv.

2.3.2 Akkretionsscheibe

Die Akkretion ist der effektivste Vorgang um Materie in Strahlung zu wandeln. Wie in 2.1 bereits erwähnt, muss die Materie hierfür in ein schwarzes Loch fallen. Haben wir ein rotierendes schwarzes Loch vorliegen, so kann bis zu 40% der Materie direkt in Energie gewandelt werden.

Doch wo liegt die Ursprung der Akkretion? Dafür gibt es zwei verschiedene Möglichkeiten, wobei beide einer gemeinsamen Ursache unterliegen: der Gravitationskraft. Die erste Möglichkeit ist die sogenannte „Galaxienhochzeit“ oder „galaktischer Kannibalismus“. Dies war vor allem im frühen, noch viel dichteren Universum möglich, als sich zwei verschiedene Galaxien aufgrund ihrer Gravitationskraft anzogen und somit verschmolzen. Eine andere Variante wäre, dass ein größerer Stern dem SMBH durch die Gravitation so nahe kommt ist, dass der gesamte Stern in das schwarze Loch fällt. In beiden Fällen wird das SMBH mit soviel Materie versorgt, dass es den Akkretionsprozess startet und das schwarze Loch aufgrund der Drehimpulserhaltung zu rotieren beginnt.

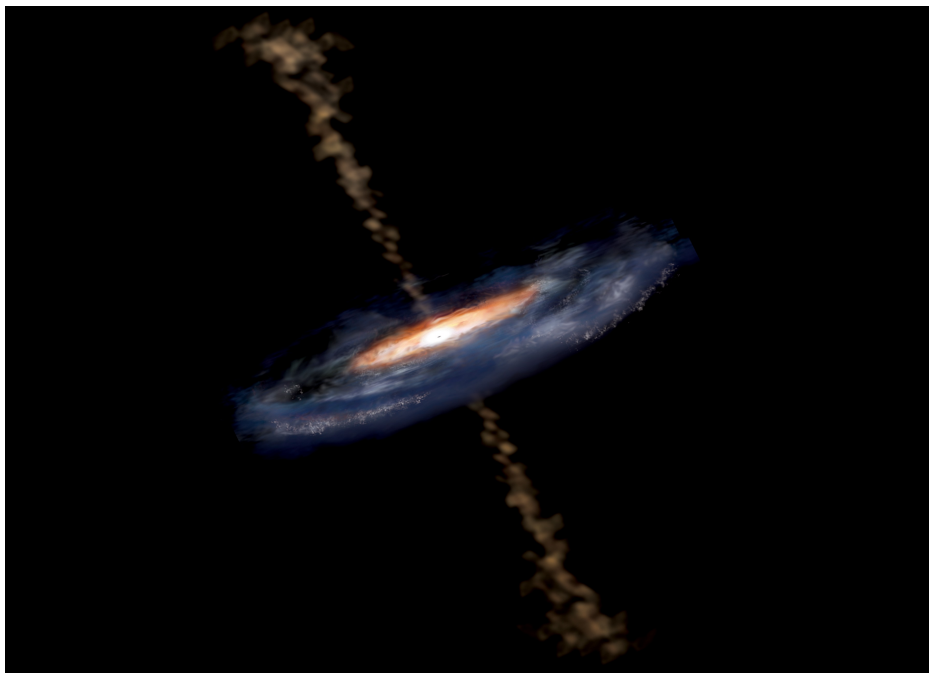
Der Staubtorus (vgl. Abb. 1) und die „cooling flows“ (Materieströme aus großer Entfernung) sind die Materiereservoirs der AGN und versorgen die Akkretionsscheibe (Standardscheibe - vgl. Abb. 1) und das SMBH fortlaufend mit Materie. Ihre Scheibengestalt lässt sich dadurch erklären, dass die einströmende Materie im Allgemeinen einen Drehimpuls besitzt, der durch nach innen abnimmt. Erklärt wird das ganze durch die magnetische Rotationsinstabilität, bei der magnetische Turbulenzen in der Scheibe einen nach außen gerichteten Drehimpulstransport bewirken. Außerdem haben Strahlungsprozesse einen Einfluss auf die Scheibengeometrie. Sie kühlen die Scheibe und verhindern eine Aufblähung aufgrund von hoher Temperatur. Doch nur wenige Gravitationsradien vor dem schwarzen Loch entfernt, wird die Temperatur gerade so groß, dass es zur Aufblähung kommt und die Scheibenform in eine Kugelform übergeht.

Jene hohen Temperaturen sind auf Reibungsprozesse und sehr hohe Geschwindigkeiten der Teilchen in der Akkretionsscheibe zurückzuführen. Folglich kommt es zur Ionisierung des akkretierenden Materials. Die Zustandsform dieser Trennung in Ladungsträger und Elektronen nennt man Plasma. Das Plasma kann man im physikalischen ähnlich

wie eine Flüssigkeit beschreiben, da aber auch sich bewegende Ladungsträger vorliegen entsteht nach Maxwell ein Magnetfeld. Deswegen taufte man diese neue Physik auf den Namen: Magnetohydrodynamik.

Aktuell ist diese jedoch noch Gegenstand der Forschung, könnte aber vor allem bei der Entstehung der Jets neue Aufschlüsse geben.

2.3.3 Jets



AGN mit Jets (Abb. 2)

Bei den Jets handelt es sich um gebündelte Materieausstöße, die über riesige Längenskalen verlaufen (Abb. 2). Die typischen Längen liegen dabei im Bereich der pc – Mpc Skala. Um Teilchen über solche Distanzen beschleunigen zu können, braucht es Unmengen an Energie. Diese zieht sich der AGN deshalb aus dem Akkretionsmechanismus. Somit kann man festhalten, dass Jets und Akkretion zwei untrennbare Phänomene der Astronomie sind.

Durch intensive Forschung in der theoretischen Astrophysik, haben sich über die Jahre zwei Modelle für den Entstehungsmechanismus der Jets in den Vordergrund gestellt. Beide sollen im Folgenden erläutert werden:

Blandford-Payne-Szenario

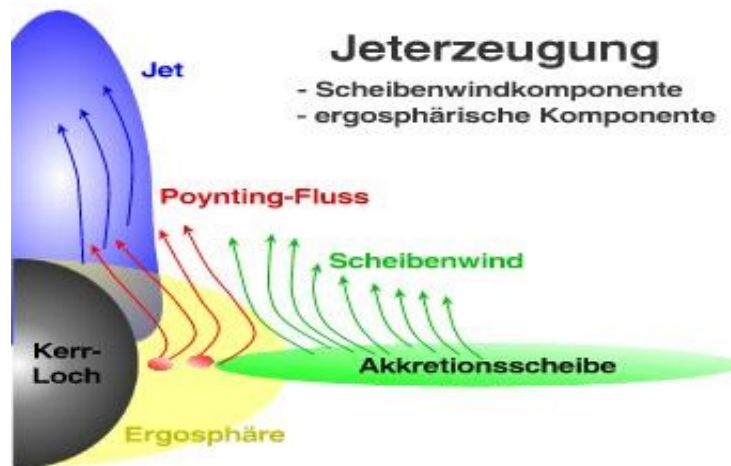
Bereits im Jahr 1982 wurde die Theorie von den beiden Physikern Blandford und Payne vorgeschlagen. Wie unter 2.3.2 bereits erwähnt, liegt die Materie in der Akkretionsscheibe als Plasma vor und es wird ein Magnetfeld erzeugt. Das Magnetfeld ist wiederum in der Lage aus der magnetisierten Akkretionsscheibe Teilchen heraus zu beschleunigen. Genau diese Phänomen kennt man auch von der Sonne – man nennt es Sonnenwind. In unserem Fall ist es gerade der Scheibenwind. Die typischen Ausfließgeschwindigkeiten der Teilchen entsprechen in etwa der Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe am jeweiligen Radius. Da die Bahngeschwindigkeit nach innen stark zunimmt, können sie mit Hilfe der Magnetfelder zu Jets gebündelt werden.

Das Besondere an dieser Theorie ist, dass sie nicht die Existenz von schwarzen Löchern voraussetzt, aber dennoch damit vereinbar ist, wie wir im Weiteren noch sehen werden.

Blandford-Znajek-Mechanismus

Dieses Modell wurde bereits im Jahr 1977 entwickelt. Der zentrale Gedanke dieser Theorie besagt, dass ein schwarzes Loch existiert, das durch seine Eigenrotation selbst die Raumzeit mitrotieren lässt. Diesen Effekt bezeichnet man auch gern als Frame-Dragging. Demnach werden die Magnetfelder der Akkretionsscheibe in unmittelbarer Nähe des schwarzen Lochs verdrillt und schnüren ein zopfartiges Gebilde. Durch weiteres Verdrillen kommt es zur Entkopplung dieses Zopfes, da Magnetfeldlinien unterschiedlicher Polarität aufeinander treffen. Diese entkoppelte magnetische Energie wird wiederum auf das akkretierende Plasma übertragen, welches nun eine solch hohe kinetische Energie besitzt um sogar der Anziehung des schwarzen Lochs entkommen zu können. Nun kommt es zu trichterförmigen Materieauswürfen – den Poynting-Flüssen. Die endgültige Bündelung zum Jet findet jedoch erst weit außerhalb der Ergosphäre – Gebiet in dem die Raumzeit sich mitdreht – statt.

Erweitert man nun das erste Szenario um ein schwarzes Loch, so kann man beide Theorien ohne Probleme zu einem neuen Modell koppeln. Das folgende Schema soll dies illustrieren.



Jeterzeugung (Abb. 3)

2.3.4 Staubtorus

Bei dem Staubtorus handelt es sich um ein weit ausgedehntes, schlauchförmiges Gebilde, welcher dem Aktiven Galaktischen Kern als Materiereservoirs dient. Die Abb. 1 zeigt recht schön, dass der Staubtorus direkt an die Standardscheibe anschließt und somit das Äußere eines AGN bildet. Da der Staubtorus ziemlich groß ist, trägt er auch einen großen Anteil der Gesamtmasse des AGN. Sein Gewicht soll im Bereich von 10^4 bis 10^8 Sonnenmassen liegen. Je nach Typus des AGN variieren Größe und Gewicht sehr stark.

Der Staub selbst stammt von verschiedenen Sternen einer Galaxie, wie Roten Riesen oder AGB-Sternen, die am Ende Ihrer Zeit Materie ins interstellare Medium ausstoßen und als Weiße Zwerge enden. Genau der Prozess, bei dem der leuchtende, farbenfrohe Planetarische Nebel entsteht.

Die Temperaturen im Staubtorus liegen mit 100 bis 1500 Kelvin, verglichen mit dem Rest des AGN, in einem sehr niedrigen Bereich. Dies macht es für die Wissenschaftler sehr schwer, die Art der in ihm enthaltenen Moleküle nachzuweisen. Bisher konnten deshalb nur polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, Silikate und Graphit nachgewiesen werden. Dies passiert entweder durch die direkte Messung von Moleküllinien oder indirekt durch Infrarotemission. Letzteres bedeutet lediglich, dass hochenergetische UV-Strahlung aus dem Inneren an den Staubmolekülen gestreut wird und sich da-

durch zu niederenergetischerer Infrarotstrahlung abschwächt. Diese wird dann in Emission gemessen.

Eine weitere Besonderheit ist eine Sublimationskante, die sich am Innenrand des Staubtorus bildet. Erklären lässt sich diese durch die hochenergetische Strahlung die aus dem Innern des AGN auf den Staubtorus trifft. Dabei entstehen Temperaturen bis zu 1500 Kelvin, was gerade die Sublimationstemperatur von Staub entspricht – der Aggregatzustand von Staub geht von fest direkt in gasförmig über.

Zuletzt noch ein wichtiger Punkt: Die Neigung des Staubtorus gegenüber dem Beobachter teilt die AGN in zwei verschiedene Typen ein.

Typ 1

Kleine Neigung (Inklination) zum Beobachter: etwa $0^\circ - 35^\circ$.

Der Beobachter schaut entlang der Symmetrieachse der Galaxie – somit mit direktem Blick auf den Kern. Die Strahlung wird in Emission gemessen.

Typ 2

Große Inklination: $35^\circ - 90^\circ$

Der Beobachter schaut genau auf den Staubtorus. Die Sicht zum Kern ist verdeckt. Die Strahlung wird in Absorption gemessen.

2.3.5 Korona

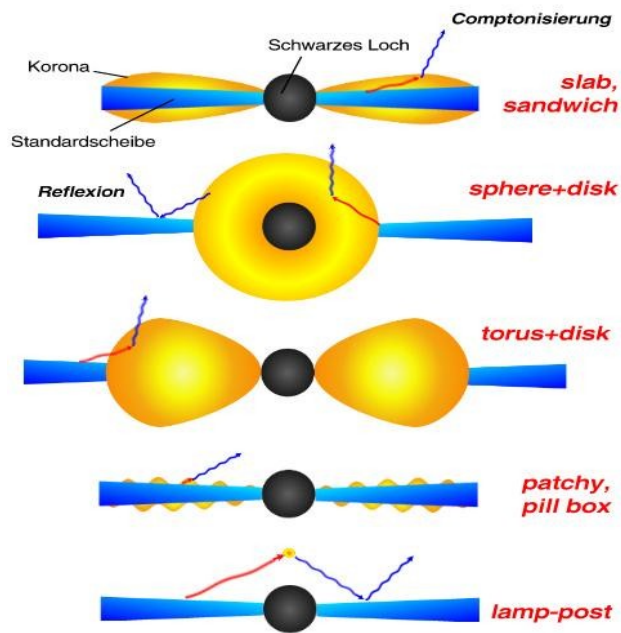
Ganz allgemein bezeichnet der Begriff Korona in der Astronomie ein sehr heißes Gebiet. Die bekannteste Korona ist die der Sonne. Sie stellt die Berandungszone der Sonne dar und in ihr werden Temperaturen bis zu fünf Millionen Grad erreicht. Aufgrund dieser hohen Temperaturen strahlt sie thermisch bei hohen Strahlungsenergien, weshalb man die Korona auch in die Röntgenastronomie kategorisiert.

Doch nicht nur die Sonne besitzt eine Korona, sondern auch die Aktiven Galaxien. Dort, so vermuten die Wissenschaftler, hängt die Morphologie jedoch sehr stark mit der Akkretion zusammen. Um dies weiter zu erforschen, macht man sich das sogenannte Reverberation Mapping zu nutze. Bei diesem Verfahren werden die Strahlen, welche direkt aus der Korona stammen mit denjenigen zeitlich verglichen, die an der “kalten” Standardscheibe gespiegelt werden. Über die Laufzeitunterschiede lässt sich dann auf die Geometrie der Korona rückschließen. Leider ist dies dann doch nicht ganz so einfach festzustellen, weshalb wir wieder an einen aktuellen Forschungsbereich stoßen.

Es wird sogar vermutet, dass die gesamte Geometrie des Akkretionsflusses instabil ist – das heißt die Gestalten der Korona, der Standardscheibe und sogar des Staubtoruses variieren mit der Zeit. Als Ursachen hierfür vermutet man magnetische Instabilitäten und Turbulenzen. Folgende Konfigurationen sind möglich:

- ▶ slab, sandwich model
- ▶ sphere and disc model
- ▶ torus and disc model
- ▶ patchy corona model, pill box model
- ▶ lamp-post corona model

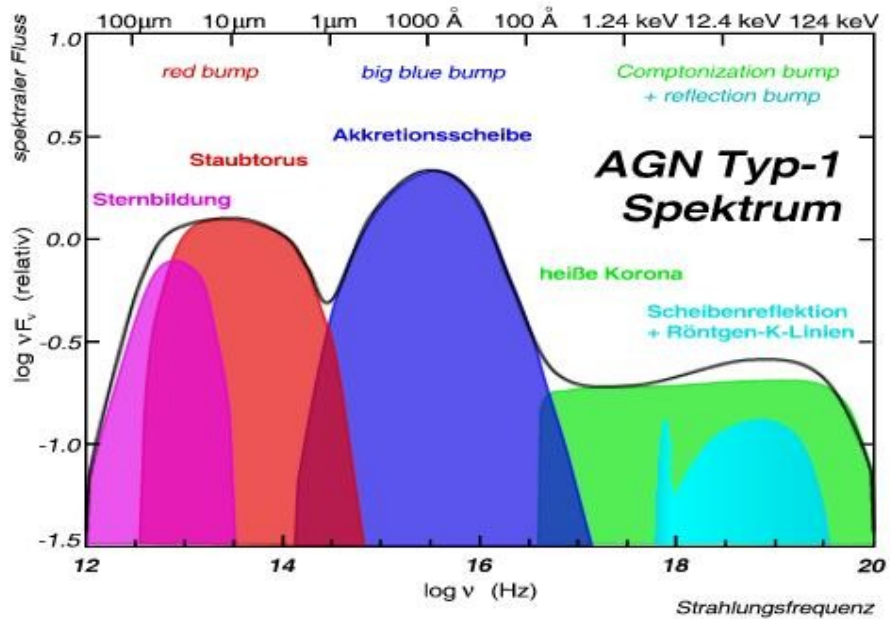
Deutlicher werden die Begriffe durch Abb. 4 – nächste Seite.



Akkretionsmechanismus (Abb. 4)

2.4 Strahlungsprozesse

Um zu verstehen welche Strahlungsprozesse in einer Aktiven Galaxie ablaufen, betrachtet man am Besten folgende Abbildung:



AGN Typ-1 Spektrum (Abb. 5)

Als kurze Bemerkung sei gesagt: Die Spektren der verschiedenen AGN sind grundsätzlich sehr vielfältig und erstrecken sich meist über den gesamten Wellenlängenbereich des elektromagnetischen Spektrums. Ähnlich dem AGN-Paradigma zur Beschreibung der Morphologie, kann jedoch Abb. 5 zur Veranschaulichung des Spektrums benutzt werden.

Der lila Buckel

Junge Sterne entstehen und strahlen im Bereich der Wärmestrahlung (z.B.: Protosterne).

Der rote Buckel

Hierbei handelt es sich um ursprünglich hochenergetische Strahlung aus dem Inneren des AGN (UV, Röntgenstrahlung), die infolge von Streuprozessen am Staubtorus und intergalaktischen Medium so stark abgeschwächt wird, dass sie nun im Bereich von Infraroten bis roten Licht strahlt. Dieses Phänomen wurde bereits in 2.3.4 besprochen.

Der große, blaue Buckel

Die Strahlung kommt von der Akkretionsscheibe, welche in Richtung des Zentrums immer heißer wird. Stellt man sich die Scheibe als Summation über immer größer werdende Ringe vor, so strahlt jeder Ring seine charakteristische Wärmestrahlung ab – bedingt durch seine Temperatur. Die Überlagerung der abgestrahlten Strahlung ergibt den Buckel.

Der Compton- und Reflektionsbuckel

Nahe des Zentrums des AGN wird hochenergetische Strahlung emittiert (Röntgen, Gamma-, und TeV-Strahlung), sowie Synchrotronstrahlung die entsteht, wenn elektrisch geladene Teilchen in Magnetfeldern auf relativistische Geschwindigkeiten beschleunigt werden. Diese treffen auf die deutlich kältere Akkretionsscheibe und werden dadurch teilweise gespiegelt. Diese detektierte, gespiegelte Strahlung bildet den Reflektionsbuckel (reflection bump). Außerdem kommt es dadurch zur Fluoreszenz in der Scheibe und man erhält im Spektrum zudem charakteristische Linienstrahlung. Der stärkste Vertreter ist die Eisenlinie, die zu den Röntgen-K-Linien gehört. Sie dient den Forschern als eine Art Radarpistole, um die Rotationsgeschwindigkeit eines schwarzen Lochs bestimmen zu können.

Erklären lässt sich das ganze folgendermaßen: Die fluoreszierenden Eisenatome in unmittelbarer Nähe des schwarzen Lochs, bewegen sich im Bereich relativistischer Geschwindigkeiten. Deshalb kommt es zum relativistischen Dopplereffekt bei der abgestrahlten Wellenlänge der Eisenatome. Doch durch das enorm starke Gravitationsfeld des schwarzen Lochs tritt außerdem eine Gravitationsrotverschiebung, erklärt mit der Allgemeinen Relativitätstheorie, auf. Diese Wellenlängenverschiebung erlaubt es nun den Astronomen, durch theoretische Überlegungen, Rückschlüsse auf die Rotationsgeschwindigkeit zu machen.

Zudem passiert es, dass niederenergetische Strahlung aus der Umgebung an dem heißen Akkretionsfluss gestreut wird und dadurch an Energie gewinnt. Dieses Phänomen bezeichnet man als Comptonisierung – sie bildet den Comptonbuckel (compton bump).

Des Weiteren lässt sich eine starke Variabilität der Strahlung feststellen. Diese ist besonders im Bereich der Röntgenstrahlung sehr groß und variiert innerhalb nur eines Tages. Daraus folgert man, dass das Gebiet ziemlich klein sein muss und höchstens die Größe einiger Lichttage haben kann.

2.5 Beispiele

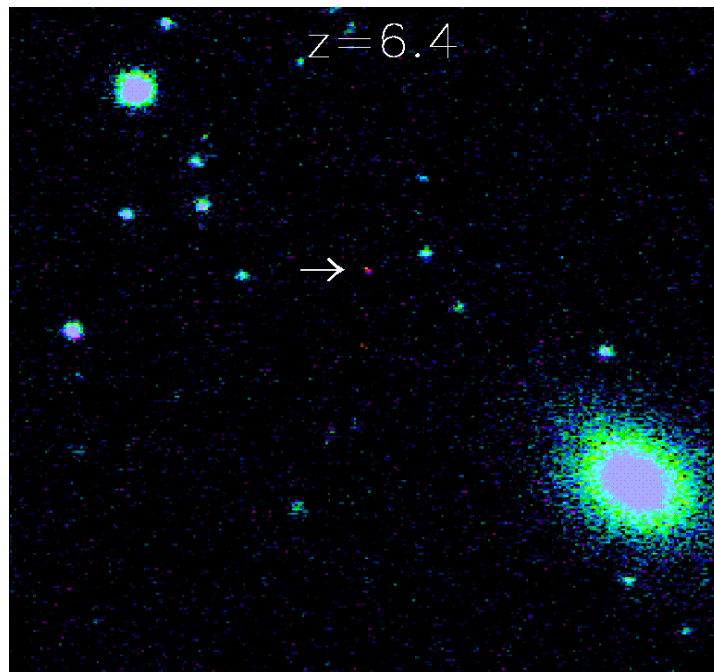
Einleitend bereits erwähnt, gibt es verschiedene Arten von AGN. Auf die Wichtigsten und Bekanntesten wollen wir nun im Einzelnen eingehen.

2.5.1 Quasare/Blasare

Der Ausdruck Quasar steht für quasi-stellare (sternähnliche) Radioquelle. Die Abb. 6 macht dies deutlich. Es handelt sich um radio-laute Galaxien, dh. sie besitzen eine hohe Radioleuchtkraft – strahlen aber auf dem gesamten elektromagnetischen Spektrum. Quasare gehören zu den leuchtkräftigsten AGN im Universum, mit bis zu 10^{47} erg/s – das entspricht einer Leuchtkraft von 100 Billionen Sonnen. Da sie aber aufgrund dieser extremen Helligkeit nur als Stern erscheinen, macht die große Entfernung zur Erde deutlich. Das weiteste Objekt befindet sich ca. 13 Milliarden Lichtjahre von uns entfernt – astronomisch gesprochen hat dieser Quasar eine Rotverschiebung von $z=6,4$. Die In-

formationen, die uns das Licht heute über die Quasare schickt, kommen aus einer Zeit als das Universum gerade einmal mehrere 100 Millionen Jahre alt war.

Quasare und Blasare sind prinzipiell die selben Objekte, nur wie in Kapitel 2.3.4 besprochen, können AGN eine unterschiedliche Inklination zum Beobachter haben. Schauen wir deshalb entlang der Symmetrieachse oder des Jets, so haben wir einen AGN Typ 1 und man nennt das Objekt Blasar. Entsprechend ist ein AGN Typ 2 ein Quasar.



Aufnahme eines Quasars (Abb. 6)

2.5.2 Seyfertgalaxien

Prinzipiell ähneln Seyfertgalaxien in ihrer Aktivität den Quasaren, doch sie strahlen deutlich schwächer. Damit zählt man sie in der Astronomie auch zu den radioleisen Objekten. Die geringe Aktivität hat zur Folge, dass Seyfertgalaxien nur sehr schwach ausgeprägte Jets besitzen. Zudem charakterisiert sie eine hohe optische Variabilität auf Zeitskalen bis zu einigen Monaten und ihre Wirtsgalaxien sind meist Spiralgalaxien.



Die Circinusgalaxie, eine Typ-2-Seyfertgalaxie (Abb. 7)

2.5.3 Radiogalaxien

Radiogalaxien gehören, genau wie die Quasare, zu den radiolauten Objekten im Universum. Ihre Morphologie ähnelt ebenfalls sehr stark den Quasaren und sie besitzen immer Jets. Im Gegensatz dazu

gleichet ihr Emissionslinienspektrum eher den Seyfertgalaxien.

Außerdem werden Radiogalaxien in drei verschiedene Arten eingeteilt:

- ▶ Broad Line Radio Galaxies (breite Emissionslinien und blaues Kontinuum)
- ▶ Narrow Line Radio Galaxies (mit schmalen Emissionslinien)
- ▶ High-z Radio Galaxies (hochrotverschobene Radiogalaxien)

3 Zusammenfassung und Ausblick

Wenn man bedenkt, dass man die AGN mit dem bloßen Auge nicht von einem Stern unterscheiden kann, so ist es doch beachtlich wie viel Wissen wir über diese besonderen Objekte gesammelt haben. Dank neuester Teleskope konnten viele theoretische Vorhersagen auch bestätigt werden. Es bleibt wohl auf jeden Fall ein interessantes Forschungsgebiet. Denn wenn man nochmal bedenkt, dass die weitesten entfernten AGN in einem nur mehrere Millionen Jahre alten Universum liegen und wir dank ihrer Leuchtkraft überhaupt die Möglichkeit besitzen dort hinzuschauen, so könnten diese Objekte vielleicht vor allem auf die Frage nach dem Ursprung der Universums weitere wichtige Antworten liefern. Man mache sich nur mal klar, dass manche AGN noch aus der Zeit der Reionisation strahlen – zu dieser Zeit war das intergalaktische Medium teilweise noch neutral.

Die Physiker von Morgen werden auf jeden Fall genügend zu tun haben auf diesem Gebiet – das sei gesagt.

4 Literaturverzeichnis

- <http://www.wissenschaft-online.de/astrowissen/lexdt.html>
Lexikon der Astrophysik
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Quasar>
- <http://www.spiegel.de/video/>
Forscher wiegen Schwarzes Loch
- <http://www.sdss.org/news/releases/20030109.quasar.html>
- <http://www.br-online.de/br-alpha/alpha-centauri/alpha-centauri-quasar-2000-ID1208779628972.xml>
- <http://www.br-online.de/br-alpha/alpha-centauri/alpha-centauri-blazar-2006-ID1208178904983.xml>
- http://www.nasa.gov/centers/goddard/images/content/182565main_1agn_HI.Jpg
- <http://www.eurekaalert.org/staticrel.php?view=mbhi022405ge>