

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
INSTITUTO DE FÍSICA

ALINIAMIENTO DE AGNs CON SU ENTORNO A GRAN ESCALA

Daniel Esteban Montenegro Taborda

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Instituto de Física

Asesor: Sebastian Bustamante-Jaramillo

Co-asesor: Juan C. Muñoz



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
INSTITUTO DE FÍSICA

ALINIAMIENTO DE AGNs CON SU ENTORNO A GRAN ESCALA

Daniel Esteban Montenegro Taborda

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Instituto de Física

Asesor: Sebastian Bustamante-Jaramillo

Co-asesor: Juan C. Muñoz

Estudiante

Asesor

Co-asesor

Medellín, Noviembre 2018

*Este trabajo esta dedicado a mi amada abuela y madre. Por su lucha
incansable para que todo esto se hiciera posible.*

Resumen

Los actuales desarrollos en los modelos de estructura del Universo a gran escala, observaciones y las últimas simulaciones con un poder de resolución mayor, a su vez muestran un Universo distribuido en regiones (estructuras). Estas estructuras se distribuyen de una manera compleja y en forma de filamentos. Dichos filamentos representan una sobre densidad de materia y son producto de la no linealidad del sistema. La estructura que conforman el universo se le denomina la red cósmica.

La estructura del Universo plantea una duda que es el problema que se pretende resolver. ¿Es posible encontrar una relación de las estructuras del Universo con las galaxias, o para ser más específico con el spin de la misma? Este trabajo nace la categorización del mismo Universo, la particularidad de ciertas regiones da indicios de la relación entre entorno galaxia; es por esto que se quiere conocer si la "mejorrelación es por parte del spin de las galaxias.

La presencia(existencia) de las regiones(estructuras) son resultado de la evolución del universo.

En estas regiones de sobre densidad se agrupan gran cantidad de materia que está constituida por cúmulos o agrupaciones de galaxias. Como su nombre lo dice, los cúmulos o agrupaciones de galaxias son agrupaciones de galaxias debido a la interacción gravitacional entre los cuerpos. Además, se conoce la existencia de los agujeros negros al interior de las galaxias, el cual tiene asociado un spin.

La motivación de este trabajo es poder encontrar una relación entre

.....

Agradecimientos

.....

Sinceramente,
Daniel Montenegro
septiembre 2018

Índice general

Índice de figuras	vii
1 Cosmología y Formación de Estructuras.	1
1.1 Relatividad General en el ámbito cosmológico (Universo homogéneo e isótropo)	1
1.2 Geometría	3
1.2.1 Métrica	3
1.3 Ecuaciones de Friedmann	6
1.4 Formación de Estructuras.	8
1.4.1 Régimen Lineal Para la Formación de Estructuras.	9
1.4.1.1 Régimen Newtoniano.	9
1.4.2 Régimen no lineal Para la Formación de Estructuras.	11
1.4.2.1 Aproximación de Zeldovich	11
2 Teoría sobre AGN.	15
2.1 Introducción a AGN's	16
2.1.1 Historia	16
2.1.2 Propiedades fundamentales de los Cuásares	17
2.1.3 Cuásares, radio fuentes.	18
2.1.3.1 Clasificación de las fuentes de radio.	18
2.1.3.2 Radiación Sincrotrón	18
2.2 Tipos de AGN's	19
2.2.1 Quasi-Stellar Objects.	19
2.2.2 Galaxias Seyfert.	19

ÍNDICE GENERAL

2.2.3	Radio Galaxias	20
2.2.4	Variables Ópticamente Violentas	20
2.2.5	Objetos BL Lac	20
2.3	El Enigma Central: La existencia de un Agujero Negro	21
2.3.1	La Existencia de los Agujeros Negros	22
2.3.2	Proceso de Acreción.	23
2.3.3	Generación de Jets.	23
2.3.4	Formación de Lóbulos.	24
2.4	Modelo Unificado	25
3	Modelo de Spin.	27
4	Algoritmo y Modelación.	29
5	Clasificación entorno cosmológico (Cosmic Web)	31

Índice de figuras

1.1	<i>Representación del diferencial de línea para simetría esférica. . .</i>	4
1.2	<i>Tres espacios con curvatura constante, esfera con curvatura positiva (izquierda), hiperboloide con curvatura negativa (centro) y plano con curvatura cero (derecha).</i>	5
2.1	<i>Espectro combinado de varios QSOs, usando las observaciones del Large Bright Quasar Survey (Francis et al. 1991).</i>	17
2.2	<i>Los diferentes tipos de AGNs solo dan información de que lugar del AGN se está observando.</i>	21
2.3	<i>Bosquejo del modelo de la estructura del núcleo del AGN, donde se puede ver el mecanismo de Blandford- Znajek</i>	24
2.4	<i>Simulación de un AGN. En la parte central se encuentra el BH, los jets son por donde se desplaza la materia y los lóbulos son los grumos donde se aglomera la materia que viene del núcleo.</i>	25

Cosmología y Formación de Estructuras.

1.1 Relatividad General en el ámbito cosmológico (Universo homogéneo e isótropo)

En la naturaleza existen cuatro fuerzas fundamentales. Al considerar un sistema donde interactúan dos ó más cuerpos con masa, la fuerza que intermedia entre las partículas es la fuerza de la gravedad. Es por eso que cuando se pretende abordar el estudio de la dinámica de este tipo de interacciones se debe remitir a la teoría de la gravedad. En la actualidad la mejor forma de reproducir la dinámica del universo es haciendo uso de la teoría de la Relatividad de Albert Einstein.

En el camino de poder estudiar la dinámica del universo, un paso obligado es conocer las ecuaciones de Einstein y poder ende conocer sus soluciones, que son de gran importancia, porque relaciona la estructura del espacio-tiempo con su contenido de materia y su energía. La cosmología pretende describir el funcionamiento del universo a muy grandes escalas, donde al despreciar las contribuciones de las galaxias, estrellas y otros objetos es posible obtener solución a las ecuaciones de Einstein.

1. COSMOLOGÍA Y FORMACIÓN DE ESTRUCTURAS.

Aunque la cosmología pueda describir los eventos a grandes escalas es necesario partir de algo, introducir restricciones que permitan reproducir el universo actual. Es por esto, que la cosmología parte de dos principios fundamentales:

- El primer principio cosmológico, habla sobre la distribución de la materia y la forma del universo a medida que evoluciona. Si se toma un punto cualesquiera en el espacio, la distribución alrededor de él es invariante en el tiempo, sin importar la dirección en la cual se observe. Una forma más estricta de decir este principio es:

Principio cosmológico: *El cualquier momento, el universo es homogéneo e isótropo a muy grandes escalas.* (Bert Janssen, 2013, p. 207).

Cuando se cuenta con un espacio el cuál es homogéneo e isótropo este espacio presenta un máximo de simetría. Matemáticamente, nos dice que la métrica es invariante bajo cualquier rotación o traslación.

¿Qué tan cierto puede llegar a ser esto? ¿el universo sí es homogéneo e isótropo? Cuando se observa el universo, la materia tiende a estar concentrada, las estrellas se concentran en galaxias, las galaxias en cúmulos de galaxias y a su vez estos cúmulos en otros súper cúmulos. Entonces, ¿que tan cierto es que el universo sea homogéneo? Para tener un universo homogéneo e isótropo se debe considerar observaciones a una escala mucho mayor (en el orden de 10^9 años luz), un ejemplo es la radiación cósmica de fondo, que corresponde a la radiación térmica proveniente del origen del universo, la cual tiene una anisotropía del orden de $\Delta T/T \approx 10^{-5}$.

- El segundo principio cosmológico trata sobre la dinámica de las sobre densidades en el universo, el cual enuncia que el movimiento es despreciables cuando se compara con el movimiento cosmológico. El segundo principio se denomina como Postulado de Weyl el cual dice:

Postulado de Weyl: *La materia a escalas cosmológicas se comporta como un fluido perfecto, cuyas componentes se mueven a lo largo de geodésicas temporales, que no se intersectan, salvo (posiblemente) en un punto en el pasado.* (Bert Janssen, 2013, p. 209)

El postulado de Weyl implica una idea muy importante en la cosmología, los observadores privilegiados. Estos observadores se encuentran en reposo con respecto al fluido, lo cual implica que su movimiento es con respecto a la evolución del universo. El nombre que se le dan a estos observadores son los observadores comóviles. Cuando se define este tipo de observadores también se define un tiempo cosmológico, que corresponde a la dirección temporal del observador comóvil.

1.2 Geometría

1.2.1 Métrica

En la relatividad general la métrica permite definir distancias, ángulos y volúmenes en un espacio Euclideo. Además juega un papel importante porque convierte las coordenadas dependientes del observador $X^\mu = (t, x^i)$ en elementos de línea invariante

$$ds^2 = \sum_{\mu, \nu}^4 g_{\mu\nu} dX^\mu dX^\nu \equiv g_{\mu\nu} dX^\mu dX^\nu. \quad (1.1)$$

La métrica tiene una dependencia espacial y temporal $g_{\mu\nu}(t, \mathbf{x})$, entonces dependerá de donde se esté tomando y en que momento. Por esta dependencia espacio-temporal la métrica también dependerá de la distribución de la materia y la energía, debido a que esta debe reproducir los efectos de la gravedad.

La elección de la métrica responde al universo que se quiere. Para un universo homogéneo e isótropo se puede considerar un sistema con simetría esférica. La expresión para describir el diferencial de longitud entre dos puntos sobre la superficie de una esfera se escribe de la forma

$$dl^2 = R_c^2 d\theta^2 + R_c^2 \sin^2 \theta d\phi^2, \quad (1.2)$$

donde R_c es el radio de curvatura de la esfera. La figura (1.1) presenta el diferencial de línea para una simetría esférica.

1. COSMOLOGÍA Y FORMACIÓN DE ESTRUCTURAS.

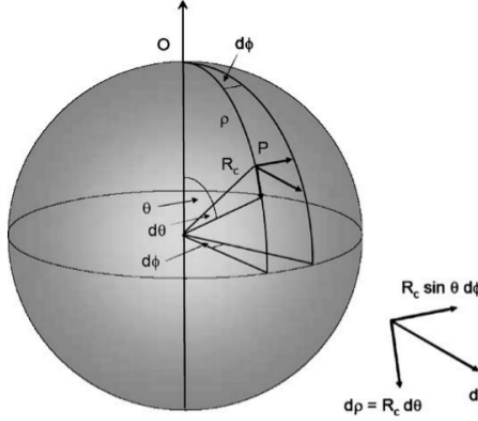


Figura 1.1: Representación del diferencial de línea para simetría esférica.

Usando la figura (1.1) se construye un arco ρ entre los puntos O y P cuya distancia es $\rho = \theta R_c$, entonces la ecuación (1.2) puede reescribirse de la forma

$$dl^2 = d\rho^2 + R_c^2 \sin^2 \left(\frac{\rho}{R_c} \right) d\phi^2. \quad (1.3)$$

Una forma alternativa de escribir la métrica es introduciendo una distancia

$$x = R_c \sin \left(\frac{\rho}{R_c} \right). \quad (1.4)$$

Al calcular el diferencial y elevando al cuadrado se obtiene

$$dx^2 = \left[1 - \sin^2 \left(\frac{\rho}{R_c} \right) \right] d\rho^2, \quad d\rho^2 = \frac{d^2}{1 - kx^2}, \quad (1.5)$$

donde $k = 1/R_c^2$ es el parámetro de curvatura.

Por lo tanto la métrica se puede escribir de la forma

$$dl^2 = \frac{dx^2}{1 - kx^2} + x^2 d\phi^2. \quad (1.6)$$

Se debe recordar que la constante de curvatura k puede representar tres tipos de geometrías: Cuando se tiene una curvatura positiva se obtiene simetría esférica cerrada, con curvatura cero se obtiene el espacio Euclideo plano y si es negativo se tiene una geometría hiperbólica abierta. Ver figura (1.2).



Figura 1.2: Tres espacios con curvatura constante, esfera con curvatura positiva (izquierda), hiperboloide con curvatura negativa (centro) y plano con curvatura cero (derecha).

Extrapolando el diferencial de línea a tres dimensiones en termino de las coordenadas polar esférica (ρ, θ, ϕ) se llega a

$$dl^2 = d\rho^2 + R_c^2 \sin^2 \left(\frac{\rho}{R_c} \right) [d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi], \quad (1.7)$$

y como se hizo anteriormente también se puede llegar a la ecuación en termino de x, θ, ϕ

$$dl^2 = \frac{x^2}{1 - kx^2} + x^2 [d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi]. \quad (1.8)$$

Ahora se puede dar el salto de escribir la métrica considerando el tiempo y llegar a una métrica espacio-temporal

$$ds^2 = dt^2 - \frac{1}{c^2} dl^2. \quad (1.9)$$

Para un modelo isotrópico, se tiene una función que permite describir como cambia la distancia entre dos observadores cualesquiera en un instante de tiempo. $a(t)$ es conocido como el factor de escala y viene dada por

$$\rho(t) = a(t)r, \quad (1.10)$$

r es llamada la *coordenada radial de distancia comóvil*. Se establece que $a(t) = 1$ si $t = t_o$ que equivale al universo de hoy.

1. COSMOLOGÍA Y FORMACIÓN DE ESTRUCTURAS.

Llamando $R_c(t_o)$ como el radio de curvatura para la presente época entonces, \mathfrak{R} se relaciona de la forma

$$R_c = a(t)\mathfrak{R}. \quad (1.11)$$

Sustituyendo ρ y R_c en la métrica (1.9) y considerando $d\Omega^2 = d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2$ se obtiene

$$ds^2 = dt^2 - \frac{a^2(t)}{c^2} [dr^2 + \mathfrak{R}^2 \sin^2(r/\mathfrak{R}) d\Omega^2]. \quad (1.12)$$

Esta es la métrica de Robertson-Walker. Es importante notar que $a(t)$ describe la dinámica del universo y \mathfrak{R} describe la curvatura espacial del universo en la presente época.

Otra forma de representar la métrica es usando *diametro angular comóvil* $r_1 = \mathfrak{R} \sin(r/\mathfrak{R})$

$$ds^2 = dt^2 - \frac{a^2(t)}{c^2} \left[\frac{dr_1^2}{1 - kr_1^2} + r_1^2 d\Omega^2 \right], \quad (1.13)$$

donde $k = 1/\mathfrak{R}^2$.

Retomando la ecuación inicial (1.1), el tensor métrico $g_{\mu\nu}$ sería

$$g_{\mu\nu} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-a^2(t)}{1-kr^2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -a^2(t) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -a^2(t) \sin^2(\theta) \end{bmatrix}. \quad (1.14)$$

1.3 Ecuaciones de Friedmann

En Relatividad General, las ecuaciones de campo de Einstein brindan información muy importante sobre la relación entre la energía, masa y la geometría del espacio-tiempo, cuya relación es dada por

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}R - g_{\mu\nu}\Lambda = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}, \quad (1.15)$$

donde $R_{\mu\nu}$ es el tensor de Ricci, R es el escalar de Ricci, $g_{\mu\nu}$ es la métrica, Λ constante cosmológica y $T_{\mu\nu}$ es el tensor momentum-energía.

1.3 Ecuaciones de Friedmann

El tensor y escalar de Ricci se pueden calcular de la siguiente manera

$$R_{\mu\nu} \equiv \partial_\lambda \Gamma_{\mu\nu}^\lambda - \partial_\nu \Gamma_{\mu\lambda}^\lambda + \Gamma_{\lambda\rho}^\lambda \Gamma_{\mu\nu}^\rho - \Gamma_{\mu\lambda}^\rho \Gamma_{\nu\rho}^\lambda, \quad (1.16)$$

$$R = R^\mu{}_\mu = g^{\mu\nu} R_{\mu\nu}, \quad (1.17)$$

donde

$$\Gamma^\nu{}_{\alpha\beta} = \frac{1}{2} g^{\mu\sigma} (\partial_\beta g_{\sigma\alpha} + \partial_\alpha g_{\sigma\beta} - \partial_\sigma g_{\alpha\beta}). \quad (1.18)$$

Debido a la isotropía del espacio en la métrica de *Robertson-Walker*, no es necesario calcular las componentes $R_{i0} = R_{oi}$. Las componentes que no se hacen cero del tensor de Ricci son

$$R_{00} = -3 \frac{\ddot{a}}{a}, \quad (1.19)$$

$$R_{ij} = - \left[\frac{\ddot{a}}{a} + 2 \left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2 + 2 \frac{k}{a^2} \right] g_{ij} \quad i, j = 0, 1, 2, \quad (1.20)$$

$$R_{\mu\nu} = R_{00} + R_{ij}, \quad (1.21)$$

y el escalar de Ricci queda

$$R = -6 \left[\frac{\ddot{a}}{a} + \left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2 + \frac{k}{a^2} \right]. \quad (1.22)$$

En cosmología cuando se pretende calcular el tensor momentum-energía, se considera un fluido perfecto. Tomando el tensor como la suma de sus componentes $T_{\mu\nu} = T_{ij} + T_{i0} + T_{0j} + T_{00}$, y debido a la isotropía se tiene que $T_{i0} = T_{0j} = 0$. Al considerar entonces la isotropía y la homogeneidad se tiene

$$T_{00} = \rho(t), \quad T_{i0} = 0, \quad T_{ij} = -P(t) g_{ij}(t, \mathbf{x}). \quad (1.23)$$

Remplazando (1.23), (1.22) y (1.21) en la ecuación (1.15), se permiten llegar a dos ecuaciones escalares acopladas

1. COSMOLOGÍA Y FORMACIÓN DE ESTRUCTURAS.

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3} \left(\rho + \frac{3P}{c^2} \right) + \frac{c^2 \Lambda}{3}, \quad (1.24)$$

$$\frac{\ddot{a}}{a} + 2 \left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2 + 2k \left(\frac{c}{a} \right)^2 = 4\pi G \left(\rho - \frac{P}{c^2} \right) + c^2 \Lambda, \quad (1.25)$$

donde ρ es la densidad y P es la presión.

La importancia de estas ecuaciones radica en que permiten conocer la evolución del universo (homogéneo e isótropo) usando el factor de escala.

1.4 Formación de Estructuras.

Al observar el universo a gran escala, es claro que posee alta simetría y homogeneidad, pero ¿qué pasa cuando se mira a escalas menores? A escalas menores que la cosmológicas, los sistemas son asimétricos e inhomogéneos, lo cual implica una alta complejidad. Por esto, es necesario realizar modelos que permitan reproducir lo observacional, asumiendo aproximaciones coherentes, haciendo que el grado de dificultad disminuya. El universo a escalas menores que las cosmológicas, presenta no linealidad en casi todos sus sucesos; la formación de estructuras es un caso de ello. La forma de introducir la linealidad o no linealidad en la formación de estructuras es considerando el campo de densidad. Para el régimen lineal se supone ($\delta\rho \ll \bar{\rho}$), donde la perturbación de la densidad es mucho menor que la densidad media. Mientras que para el régimen no lineal se supone que la perturbación es aproximada a la densidad media ($\delta\rho \sim \bar{\rho}$).

Con el propósito de poder reconstruir la estructura del universo en cualquier instante t se considera lo siguiente:

Al observar el pasado, se debe pensar que existieron pequeñas desviaciones en la homogeneidad en la materia. A medida que el tiempo pasa, estas desviaciones incrementan, debido a la fuerza gravitacional. Esto fue generando una acumulación de materia cada vez mayor, que desencadenó la formación de estructuras, y que dieron origen a las primeras galaxias. Las soluciones a las ecuaciones de Friedmann permiten incrustar las perturbaciones que dan origen a la formación de estructuras.

Se debe tener presente que la teoría del régimen lineal solo se cumple para desviaciones pequeñas, o sea, para un universo muy joven. Para poder reproducir las

estructuras del universo observable, es necesario considerar un teoría de régimen no lineal.

1.4.1 Régimen Lineal Para la Formación de Estructuras.

1.4.1.1 Régimen Newtoniano.

En el régimen lineal la perturbación en la métrica $g_{\mu\nu}$ y su fuente $T_{\mu\nu}$ se escriben de la forma

$$g_{\mu\nu} \Rightarrow g_{\mu\nu} + \delta g_{\mu\nu} \quad T_{\mu\nu} \Rightarrow T_{\mu\nu} + \delta T_{\mu\nu}. \quad (1.26)$$

Al suponer que las perturbaciones son pequeñas es posible linealizar la ecuación de Einstein

$$\hat{\mathcal{L}}(g_{\mu\nu})\delta g_{\mu\nu} = \delta T_{\mu\nu}, \quad (1.27)$$

donde $\hat{\mathcal{L}}$ es el operador diferencial lineal que depende del espacio-tiempo.

Una forma simple de poder calcular la dinámica de las perturbaciones es infiriendo que el radio de la perturbación es menor al radio de Hubble. Al decir esto se puede obviar del caso relativista y considerarlo meramente Newtoniano. Al suponer esto, se puede considerar la materia del universo como un fluido Newtoniano que colisiona. Esto implica que es posible usar las ecuaciones de un fluido Newtoniano:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v) = 0, \quad \text{Ecuacion de continuidad} \quad (1.28)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + (v \cdot \nabla)v = -\frac{\nabla p}{\rho} - \nabla \Phi, \quad \text{Ecuacion de Euler} \quad (1.29)$$

$$\nabla^2 \Phi = 4\pi G \rho. \quad \text{Ecuacion de Poisson} \quad (1.30)$$

$$(1.31)$$

Al aplicar las pequeñas perturbaciones cuasiestáticas a la densidad ($\rho = \rho_o + \delta\rho$), velocidad ($v = \delta v$), presión ($p = p_o + \delta p$) y al potencial gravitacional ($\Phi = \Phi_o + \delta\Phi$). Se obtiene

$$\frac{\partial \delta \rho}{\partial t} + \rho_o \nabla \cdot (\delta v) = 0, \quad (1.32)$$

1. COSMOLOGÍA Y FORMACIÓN DE ESTRUCTURAS.

$$\frac{\partial \delta v}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial \rho} \right) \nabla \delta \rho + \nabla \delta \Phi = 0, \quad (1.33)$$

$$\nabla^2 \delta \Phi - 4\pi G \delta \rho = 0. \quad (1.34)$$

Ahora el propósito es poder resolver las ecuaciones con perturbaciones (1.32, 1.33, 1.34). Para ello se puede suponer soluciones de ondas planas¹

$$\delta u_i = \delta_i e^{i\mathbf{k} \cdot \mathbf{r}}, \quad (1.35)$$

donde $\delta u_i = \delta \rho, \delta v, \delta \Phi$ y se entiende que δ_i equivale a las amplitudes. Permitiendo facilidad en los cálculos.

Al considerar la inestabilidad gravitacional, se puede obtener unos resultados interesantes sobre la formación de la estructura. Entonces considerando lo siguiente:

Para un fluido homogéneo e isotrópico, Jeans dice que a medida que el sistema va evolucionando se van generando pequeños cambios en la densidad $\delta \rho$ y en la velocidad δv .

De igual manera Jeans plantea que la aparición de una inhomogeneidad en la distribución de materia $\delta \rho$ generará un cambio en las fuerzas que preservan la homogeneidad. Entonces si $\delta \rho > 0$ la fuerza de gravitación F_g (responsable del colapso) deberá ser mayor que la fuerza de presión F_p (responsable del no colapso), entonces $F_g > F_p$. Esta última afirmación da la condición necesaria para la formación de estructuras. Usando esta idea se puede determinar el radio necesario para el cual se cumple la desigualdad, también conocido como el radio de Jeans λ .

$$F_g \approx G \rho \lambda \quad y \quad F_p \approx \frac{v_s^2}{\lambda} \quad (1.36)$$

$$\lambda^2 > \frac{v_s^2}{G \rho}, \quad (1.37)$$

de una forma similar se puede llegar al tiempo gravitacional de caída libre

$$\tau_{f-f} \approx \frac{1}{(G \rho)^{1/2}}. \quad (1.38)$$

¹Cuando se supone un universo plano, se consideró la aparición de las ondas planas

1.4.2 Régimen no lineal Para la Formación de Estructuras.

Cuando se observó el universo en sus etapas tempranas, antes de la era de la recombinación¹, se consideró que las fluctuaciones δ en la materia eran despreciables ($\delta \ll 1$). Esta suposición permite facilitar muchos cálculos, pero restringe el tiempo de evolución del universo. Sin embargo, si se pretende determinar la evolución y estructuras a escalas mayores como en la actualidad, donde $\delta \gg 1$, es necesario hacer uso de otro método que permita reconstruir la dinámica del universo. Para ello se hace uso del régimen no lineal. Cabe resaltar que esta técnica es altamente complicada donde es necesario hacer aproximaciones y muchas veces no es posible llegar a soluciones analíticas, por esto se hace uso de los métodos numéricos que permiten encontrar aproximaciones a las soluciones.

En la actualidad existe una gran variedad de métodos que describen la formación no lineal. Un caso especial es la aproximación de Zeldovich, la cual es capaz de reproducir el régimen lineal, permitiendo usar una expresión analítica y reduciendo la complejidad de los cálculos. Este método además reproduce de muy buena manera el universo observable actual.

1.4.2.1 Aproximación de Zeldovich

Bajo el régimen no lineal es posible llegar a resultados importantes de una forma analítica, asumiendo ciertas aproximaciones. Un caso particular es la aproximación de Zeldovich, que además de presentar unos resultados muy congruentes con lo observacional permite llegar a ellos de forma analítica.

La aproximación de Zeldovich, es posible si se supone que las escalas de la perturbación son menores que la distancia d_H^2 , lo cual permite hacer un análisis Newtoniano. La aproximación Zeldovich además comienza con suponer un universo homogéneo, con densidad uniforme $\rho_b(t)$, el cual presenta pequeños crecimiento en las perturbaciones. Considerando la posición de cada partícula $\mathbf{r}(t)$ en coordenadas Lagrangianas y relacionadas con la posición inicial \mathbf{q}

¹Instante en el universo donde la temperatura bajo lo suficiente para poder permitir la combinación de los electrones con los núcleos generando los primeros átomos. Antes de este instante se conoce como la época dominada por la radiación, electrones y protones libres.

²radio de Hubble.

1. COSMOLOGÍA Y FORMACIÓN DE ESTRUCTURAS.

$$\mathbf{r}(t) = a(t)\mathbf{q}. \quad (1.39)$$

Bajo la aproximación lineal, lo necesario para poder reproducir un crecimiento en las perturbaciones es adicionar una función separable dependiente de t y \mathbf{q} , $f(t)\mathbf{p}(\mathbf{q}) = a(t)b(t)\mathbf{p}(\mathbf{q})$, que se puede representar de la forma

$$\mathbf{r}(t) = a(t)\mathbf{x}(t) = a(t)[\mathbf{q} + b(t)\mathbf{p}(\mathbf{q})] \quad (1.40)$$

donde \mathbf{X} representa la coordenada comovil, $a(t)\mathbf{q}$ la expansión cosmológica y $b(t)\mathbf{p}(\mathbf{q})$ la perturbación. Se sabe además que $b(t)$ crece de una manera mayor, debido a la inestabilidad gravitacional. La ecuación (1.40) es capaz de describir la evolución lineal.

Para poder demostrar que la ecuación (1.40) evoluciona linealmente, es necesario poder conocer cómo evolucionan las perturbaciones de la densidad de cada partícula, bajo el régimen de la ecuación (1.40). Al considerar $\bar{\rho}$ como la densidad inicial sin perturbación, por conservación de la masa se obtiene lo siguiente

$$\underbrace{\rho(\mathbf{r}, t)d^3\mathbf{r}}_{\text{Masa en cualquier instante}} = \underbrace{\bar{\rho}d^3\mathbf{q}}_{\text{Masa inicial}}. \quad (1.41)$$

Por lo tanto

$$\rho(\mathbf{r}, t) = \bar{\rho} \det(\partial q_i / \partial r_j) = \frac{\bar{\rho}/a^3}{\det(\partial x_j / \partial q_i)} = \frac{\rho_b(t)}{\det(\delta_{ij} + b(t)(\partial p_j / \partial q_i))}, \quad (1.42)$$

donde $\rho_b(t) = \bar{\rho}/a^3(t)$. Calculando el Jacobiano de primer orden a la perturbación

$$\frac{\delta\rho}{\rho} = \frac{(\rho - \rho_b)}{\rho_b} = -b(t)\nabla_{\mathbf{q}} \cdot \mathbf{p}. \quad (1.43)$$

Cuando se observa el resultado de la teoría lineal se tiene

$$\frac{\delta\rho}{\rho} = g(t) = \sum_{\mathbf{k}} \mathbf{A}_{\mathbf{k}} \exp(i\mathbf{k} \cdot [\mathbf{q} + b(t_i)\mathbf{p}(\mathbf{q})]), \quad (1.44)$$

1.4 Formación de Estructuras.

donde $g(t)$ describe la evolución del contraste de densidad, y A_k es la transformada de Fourier del contraste de densidad inicial. Para un tiempo inicial se tiene que $b(t)p \ll q$, entonces

$$p(q) = \sum_k \frac{ik}{k^2} A_k \exp(ik \cdot q). \quad (1.45)$$

Esta ultima ecuación implica que la ecuación (1.40), sí es capaz de reproducir el régimen lineal. De igual manera, usando el resultado anterior es posible escribir $p(q)$ de la forma

$$p(q) = \nabla_q \Phi_0(q), \quad (1.46)$$

donde

$$\Phi_0(q) = \sum_k \frac{A_k \exp(ik \cdot q)}{k^2}. \quad (1.47)$$

Usando la ecuación de Einstein $\ddot{a} = -(4\pi G \rho_b a)/3$ es posible escribir la ecuación

$$\nabla_q^2 \Phi_0 = \frac{4\pi G a^2 (\rho - \rho_b)}{3ab\ddot{a}}. \quad (1.48)$$

Con ello se obtiene la forma del potencial gravitacional perturbado

$$\nabla_x^2 \phi = 4\pi G a^2 (\rho - \rho_b), \quad (1.49)$$

donde $\phi = 3a\ddot{a}\Phi_0$. Entonces Φ_0 es proporcional al potencial gravitacional de la teoría lineal y $p(q)$ es proporcional al campo de velocidad peculiar de la teoría lineal.

Por lo tanto, $p(q)$ es un gradiente de una función escalar, y el Jacobiano de la ecuación (1.42) da como resultado una matriz simétrica; la cual puede ser diagonalizada en cada punto q , para producir un conjunto de autovalores $-\lambda_i(q)$. Ahora, si

1. COSMOLOGÍA Y FORMACIÓN DE ESTRUCTURAS.

los autovalores del Jacobiano $(\partial p_i / \partial q_i)$ son de la forma $[-\lambda_1(\mathbf{q}), -\lambda_2(\mathbf{q}), -\lambda_3(\mathbf{q})]$ entonces la densidad de perturbación esta dada por

$$\rho(\mathbf{r}, t) = \frac{\rho_b(t)}{(1 - b(t)\lambda_1(\mathbf{q}))(1 - b(t)\lambda_2(\mathbf{q}))(1 - b(t)\lambda_3(\mathbf{q}))}. \quad (1.50)$$

Esta ecuación representa los cambios producidos por la deformación de un cubo infinitesimal, siendo consecuente con los cambios en la densidad. A medida que aumenta la perturbación, la función $b(t)$ también cambia con el tiempo; además el signo de los autovalores proporcionan información de la dinámica del sistema: Cuando se tiene que $\lambda_i > 0$, el autovalor va en contra del campo de densidad, entonces colapsa. Mientras que si $\lambda_i < 0$, el autovalor va en la misma dirección del campo de densidad, conllevando una expansión. Donde el campo de densidad se mueve en la dirección del autovector u_i . Los autovalores se pueden diferenciar uno del otro, de la forma $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3$. El valor particular de cada autovalor λ_i , proporciona información de la dinámica (colapso o expansión) de la materia en ciertas regiones del espacio, dando un criterio para la clasificación de las estructuras.

Teoría sobre AGN.

Al observar la luz de las galaxias en el óptico e infrarrojo cercano, se ve que es dominado mayormente por estrellas, con una pequeña contribución de polvo y gas. Partiendo del hecho de que el espectro de las estrellas puede ser considerado como un espectro de Planck, el cual depende de la temperatura, la masa y edad estelar. Entonces es posible considerar el espectro de una galaxia como la superposición de espectros estelares. Bajo esta aproximación se puede además decir, que el espectro de las galaxias sería la superposición de espectros de Planck, definidos en un rango de temperaturas.

Sin embargo, algunas galaxias presentan anomalías en sus espectros, mostrando una distribución de energía mucho mayor. Algunas enseñan líneas de emisión en zonas poco comunes, y otras en rangos muy amplios, desde las longitudes de onda del radio hasta rayos-X, y algunas hasta rayos gamma. Ver figura (2.1). Estas emisiones se originan en regiones muy centrales de la galaxia, por lo cual se les dio el nombre de Nucleo Activo de Galaxias (AGN's por sus siglas en inglés).

Se considera que el causante de la activación de los AGNs son las interacciones gravitacionales. La interacción debida a la fuerzas de marea o la fusión de galaxias genera una turbulencia en el potencial gravitacional que provoca que el gas empiece a colapsar hacia el centro de la galaxia.

2. TEORÍA SOBRE AGN.

En la actualidad existe una distinción para los diferentes tipos de AGN's, un tipo específico son los cuásares. Son objetos muy luminosos, su brillo puede superar por un factor de cien el brillo de su galaxia anfitriona. Los procesos que ocurren al interior de un AGN son los más energéticos en el ámbito de la astrofísica.

2.1 Introducción a AGN's

Los AGNs son considerados los motores centrales de las galaxias. Su actividad nuclear esta patrocinada por la acreción de materia.

Si se desea profundizar más en la teoría de los AGN's, se recomienda abordar los textos: *Extragalactic Astronomy and Cosmology An Introduction* de Peter Schneider; también el libro *An Introduction to Modern Astrophysics* de Bradley W.Carroll y Dale A.Ostlie. Estos fueron los textos en lo que se baso este capítulo.

2.1.1 Historia

En la época de 1908, se observó que la galaxia NGC 1086 que presentaba fuertes líneas de emisión, que eran poco comunes. En 1943, Carl Seyfert a través de un análisis sistemático pudo identificar una nueva clase de galaxia, las cuales llevan su nombre. Estos núcleos de galaxias activas (Seyferts) presentan un muy alto brillo superficial, y su espectro en la región central esta dominado por fuertes líneas de emisión y de alta extinción.

Los catálogos 3C y 3CR (Catálogos en infrarrojo). ¹ permitieron encontrar objetos muy puntuales con una muy alta línea de emisión. Esta alta emisión no permitía determinar la forma del objeto central que hospedaba la galaxia. Solo fue cuando se pudieron construir telescopios con un poder de resolución mayor que se pudo ratificar que eran fuentes puntuales. A medida que fue pasando el tiempo y se mejoraron las observaciones, se empezaron a encontrar más fuentes con estas características. A estos cuerpos se les denomino Cuásares².

Los cuásares son un tipo específico de AGNs. Sin embargo, una buena forma de conocer las propiedades y arquetipos de AGN's, es identificando las propiedades

¹Catálogo de observaciones hechas con el Cambridge four-element interferometer a una frecuencia de 159MHz

²Cuásar viene del ingles Quasars (quasi-stellar radio source)

de los cuásares. Es por esto que a continuación se presenta una clasificación sobre los diferentes cuásares. La figura (2.1) presenta un espectro típico de AGN, cabe resaltar que dicha imagen es la superposición de espectros de QSOs

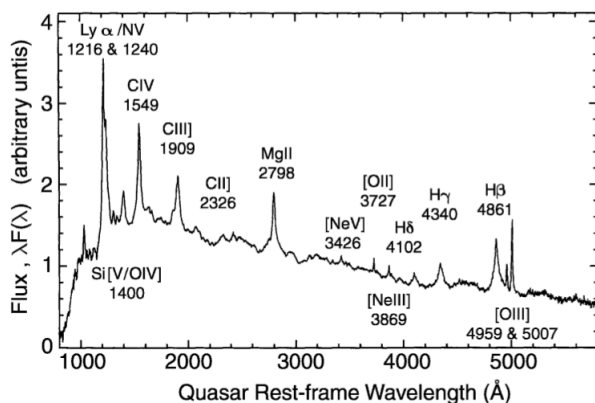


Figura 2.1: Espectro combinado de varios QSOs, usando las observaciones del Large Bright Quasar Survey (Francis et al. 1991).

2.1.2 Propiedades fundamentales de los Cuásares

Por lo general los cuásares presentan una serie de propiedades que son comunes en varios tipos de AGN's, entre las propiedades se destacan:

- Fueron descubiertos por ser fuentes de radio muy puntual
- Emite en todas las longitudes de onda, desde el radio a los rayos-X principalmente.
- El flujo de la fuente varía en casi todas las frecuencias y longitudes de onda.
- En general se encuentra que la escala de tiempo de variabilidad es más pequeña y su amplitud más grande, cuando se va ha frecuencias más altas.
- El espectro óptico es muy azul ($U - B < -0,3$). La mayoría de los cuásares presentan un corrimiento a rojo alto $z \lesssim 2$.
- El espectro continuo de un cuásar puede ser descrito por una ley de potencias, sobre un rango de frecuencias muy alto.

$$S_\nu \propto \nu^{-\alpha}, \quad (2.1)$$

donde α indica el índice espectral: Cuando $\alpha = 0$ entonces se tiene un espectro plano, si $\alpha = 1$ se tiene un espectro en el cual la misma energía es emitida en cada intervalo de logarítmico de las frecuencias.

2. TEORÍA SOBRE AGN.

2.1.3 Cuásares, radio fuentes.

La morfología de los cuásares en el régimen del radio, depende de la frecuencia observada, que a su vez puede presentar una morfología compleja. La morfología del cuásar en una forma simple se puede ver constituida por: varias fuentes extendidas y un núcleo central muy compacto, ver figura (2.4). En algunas ocasiones es posible observar fuentes extendidas llamadas lóbulos, que se extienden de manera casi simétrica a lo largo de una línea recta. Estos lóbulos se encuentran conectados con el núcleo central por cuenta de los jets, que es producto de las partículas cargadas que provienen del núcleo. El tamaño del sistema en general puede alcanzar hasta 1 Mpc de largo.

2.1.3.1 Clasificación de las fuentes de radio.

Las fuentes de radio extendidas se dividen en dos tipos:

Fanaroff-Rile Tipo I (FR I), son fuentes más brillantes cerca al centro, su brillo superficial decrece hacia el exterior. Poseen una luminosidad típica de $L_\nu(1,4GHz) \lesssim 10^{32} \text{erg}^{-1} \text{Hz}^{-1}$.

Fanaroff-Rile Tipo II (FR II), son fuentes que presentan características contrarias a las (FR I). Su brillo incrementa hacia el exterior, presentando un brillo mayor que las (FR I), $L_\nu(1,4GHz) \gtrsim 10^{32} \text{ergs}^{-1} \text{Hz}^{-1}$, a menudo estas fuentes de radio presentan jets (Subsección 2.3.3).

2.1.3.2 Radiación Sincrotrón

La forma espectral y el alto grado de polarización son considerados como consecuencias de la emisión de radio, producida por la radiación sincrotrón¹ de electrones relativistas. Dicha radiación es entonces, el producto de electrones que se propagan a través de un campo magnético, a lo largo de un helicoide, produciendo una fuerza de Lorentz, que los lanza en dirección perpendicular al campo magnético.

El grado de polarización de un conjunto de electrones depende de la complejidad del campo magnético. Si el campo es homogéneo la medida de polarización

¹Radiación producida al someter a partículas cargadas a velocidades muy altas (cercanas a la velocidad de la luz)

observada puede ser mayor al 75 %. La radiación sincrotrón sigue una ley de potencias, si y solo si la distribución de energía de los electrones también se comportan como una ley de potencias.

2.2 Tipos de AGN's

Se debe tener muy claro que la diferencia entre los AGN's no radica necesariamente en su forma física. En el contexto de poder unificar los AGN's, su distinción está altamente relacionado con la dirección de la línea visual, entre la fuente (AGN) y el observador (Telescopio). Ver figura (2.2).

2.2.1 Quasi-Stellar Objects.

Una pequeña cantidad de cuásares presentan un inusual color azul. La presencia de estos objetos en regiones fuera del rango del radio presenta un gran problema para poderlos observar, y siendo además fuentes muy puntuales.

Las propiedades ópticas de estos objetos son casi indistinguibles de los cuásares. En particular, tienen distribución de energías hacia el azul, resultado de la forma de búsqueda; además presentan fuertes y anchas líneas de emisión y en general un alto corrimiento al rojo. Por sus propiedades tan parecidas a los cuásares son llamados como *radio-quiet quasars* ó *quasi-stellar objects*, QSOs. Los QSOs son los AGNs que mayor luminosidad, la cual puede ser 1000 veces más que la luminosidad de la galaxia donde se hospeda.

2.2.2 Galaxias Seyfert.

Como se discutió anteriormente las galaxias Seyferts fueron los primeros AGNs descubiertos. La luminosidad de las Seyferts es considerablemente menor que la de los QSOs. Las observaciones en el óptico permiten identificar que las Seyferts son objetos que se encuentran en el centro de las galaxias espirales, presentando un núcleo extraordinariamente brillante, con líneas de emisión fuertes y anchas.

Se conocen dos tipos de galaxia Seyfert, las Tipo 1 y las Tipo 2: Las Tipo 1 presentan líneas de emisión muy anchas, lo que supone velocidades de rotación mayor. Las Tipo 2 presentan líneas de emisión más estrechas. Al observar el espectro en

2. TEORÍA SOBRE AGN.

el óptico en las Seyfert 1 se identifica que son muy similares a los QSOs. No se conoce una diferencia física entre estos dos objetos, la única diferencia es debida a la luminosidad en sus núcleo.

2.2.3 Radio Galaxias

Las radio galaxias son galaxias elípticas que tienen como huésped un AGN. Entre las radio galaxias más conocidas se encuentran Cygnus A y Centaurius A. Al igual que se hizo con las galaxias Seyferts, las radio galaxias también presentan una clasificación debida al ancho de sus líneas de emisión. Están las radio galaxias de línea ancha (BLRG) y las radio galaxias de línea estrecha (NLRG).

En general los dos tipos de radio galaxias se pueden considerar como radio fuerte Seyfert 1 y Seyfert 2, la única diferencia entre Seyfert y radio galaxia es la morfología de la galaxia donde estás hospedadas.

2.2.4 Variables Ópticamente Violentas

Existe otra clase de QSOs, que están caracterizados por su fuerte y rápida variabilidad en su radiación óptica. Son conocidas como OVVs¹ (Variables Ópticas Violentas). Estos objetos presentan una variabilidad en escala de tiempo de días. Además de su alta variabilidad, también presentan una muy alta polarización de la luz óptica y fuertes emisiones en radio. Estas fuentes presentan longitudes de onda fuera del rango óptico, aumentando su radiación, con escalas de tiempo más cortas y amplitudes más grandes, a medida que se mueve a frecuencias más altas.

2.2.5 Objetos BL Lac

Los BL Lacs son AGNs con una muy fuerte variabilidad en la radiación, como los OVVs, pero sin fuertes líneas de emisión y absorción, haciendo casi imposible la determinación de su corrimiento al rojo z . La luminosidad óptica de algunos BL Lacs varia en varias magnitudes si se observa durante periodos de tiempo muy largos.

¹Del ingles Optically Violently Variables

2.3 El Enigma Central: La existencia de un Agujero Negro

Algo notable de vez en cuando es el bajón en la luminosidad, a veces se observan líneas de emisión y luego aparece un BL Lac como un OVV. Por este extraño motivo a los OVV y BL Lacs se les denomina Blazars. Los Blazars son fuentes de radio, con variabilidad violenta y radiación energéticamente fuerte (radiación γ).

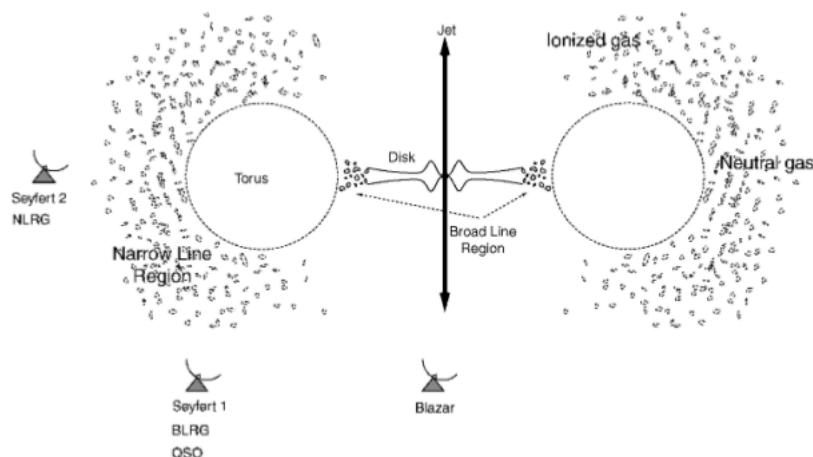


Figura 2.2: Los diferentes tipos de AGNs solo dan información de que lugar del AGN se está observando.

2.3 El Enigma Central: La existencia de un Agujero Negro

En la teoría de los AGNs, ha existido una duda sobre el proceder de la energía que estos emanan, en especial ¿Cómo es producida? Entonces debido a esto, se plantea que dicha energía es originada por un objeto muy masivo en su interior, muy cercano al centro. El objeto propuesto lleva por nombre Agujero Negro (BH, Black Hole), presentado como un objeto altamente compacto, que acreta materia de su alrededor. A continuación se presentan una serie de propiedades observacionales en los AGNs que dan pie a la existencia de un BH:

- Se encuentran fuentes de radio en AGNs que alcanzan un tamaño aproximadamente mayor a 1 Mpc. Usando esta escala de longitud es posible medir el tiempo en que ha estado activa la fuente. Para esta escala de longitud se tiene que el tiempo de vida es mayor a 10^7 años.

2. TEORÍA SOBRE AGN.

-La luminosidad de los QSOs es aproximadamente $L_{bol} \sim 10^{47} \text{ergs}$. Asumiendo que la luminosidad no cambia sustancialmente durante el tiempo de vida de la fuente, es posible medir la energía total

$$E \gtrsim 10^{47} \text{erg/s} \times 10^7 \text{yr} \sim 3 \times 10^{61} \text{erg}. \quad (2.2)$$

-Para escalas de tiempo de días, se tiene que la luminosidad de los AGNs varia en un %50. Estas variabilidades permiten encontrar un límite superior para la extensión espacial de la fuente. Para una fuente puntual se tiene que la extensión es $R \lesssim 1 \text{ día luz} \sim 3 \times 10^{15} \text{cm}$.

La solución exacta de las ecuaciones de Einsten, predican la existencia de objetos altamente compacto en cierta región del espacio-tiempo: usando la métrica de *Schwarzschild* (), se predice la existencia de un Agujero Negro (BH) estático; al usar la métrica de *Kerr* () se predice la existencia de un BH rotante.

2.3.1 La Existencia de los Agujeros Negros

Usando la información observacional expuesta anteriormente y suponiendo que la producción de energía es de naturaleza gravitacional, es posible derivar la energía básica en el AGN. Suponiendo lo anterior, la forma clásica más eficiente de transformación de energía es por medio de la fusión nuclear.

La fusión del hidrógeno, produce 8Mev/nucleon. La máxima eficiencia de fusión nuclear es $\epsilon \lesssim 0,81 \%$, donde ϵ es la fracción de masa del combustible que es convertido en energía. De acuerdo con

$$E = \epsilon mc^2, \quad (2.3)$$

la energía por fusión es $E = 3 \times 10^{61}$. Entonces la masa que produce el combustible necesitaría ser

$$m = \frac{E}{\epsilon c^2} \sim 4 \times 10^{42} g \sim 2 \times 10^9 M_{\odot}. \quad (2.4)$$

Al suponer que la naturaleza de la energía es meramente gravitacional, se tiene entonces que a medida que la materia cae dentro del BH pierde energía potencial,

2.3 El Enigma Central: La existencia de un Agujero Negro

pero adquiere energía cinética . Al convertir la energía cinética en energía interna(calor) que será emitida en forma de radiación.

Sin embargo, los BH no son la única solución simple para las ecuaciones de Einstein. La existencia de un SMBH (Supermassive Black Hole) es posible al conocer la naturaleza de la distribución de masa compacta. También se ha encontrado evidencia observacional que ratifica la existencia de estos objetos super masivos.

2.3.2 Proceso de Acreción.

A medida que el gas cae hacia un objeto compacto, las partículas de gas pierden energía potencial que a su vez se convierte en cinética. Al conocer que el momentum angular del gas es finito, se tiene certeza que el gas no puede caer directamente hacia el objeto. A medida que este cae, siente una fricción por la interacción con las otras partículas circundantes, lo que se traduce en una transferencia de momentum, que dará como resultado la formación de un disco de acreción perpendicular al momentum angular. La fricción en el disco será la responsable de desacelerar la velocidad de rotación de las partículas, haciendo que estas caigan hacia el centro y sean acretadas por el BH.

De acuerdo con el teorema del virial, la mitad de la energía potencial se ha cambiado en energía cinética. Por tanto, la mitad de la energía se ha convertido en energía de rotación. Así, la mitad de la energía potencial se convirtió en energía interna.

La energía generada por la fricción dinámica en el disco, no cuenta con la suficiente energía para poder escapar de allí, pero aun así es capaz de calentar el gas y producir un engrosamiento en el disco.

2.3.3 Generación de Jets.

Los lóbulos radiales son producidos por partículas cargadas eyectadas desde el centro del AGN, a velocidades relativistas. Estas partículas son aceleradas desde el núcleo en dos direcciones opuestas. El impulso es producido por la extracción de energía cinética de rotación del BH a través del mecanismo de Blandford- Znajek. Ver figura (2.3).

2. TEORÍA SOBRE AGN.

Al observar un AGN es inevitable ver que los jets producidos son extremadamente delgados y muy rectos. Lo cual implica que los procesos que lo generaron ocurrieron muy al interior del disco, donde el núcleo es el responsable de colimar estos rayos de alta energía.

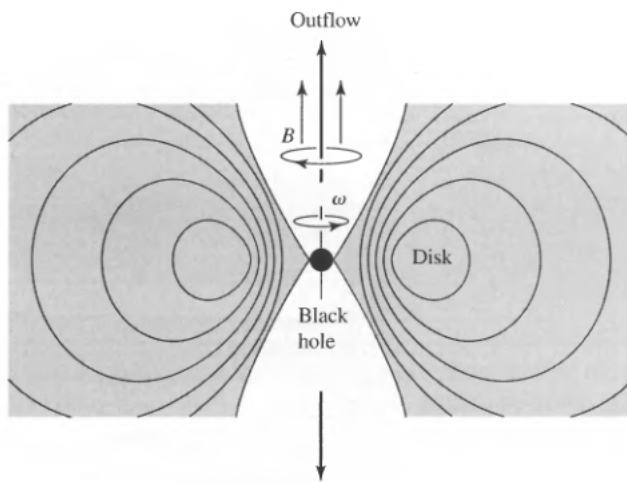


Figura 2.3: Bosquejo del modelo de la estructura del núcleo del AGN, donde se puede ver el mecanismo de Blandford- Znajek

2.3.4 Formación de Lóbulos.

Cuando los jets expulsan las partículas altamente cargadas del núcleo, estas llevan consigo una energía cinética. A medida que se desplazan por el medio interestelar van perdiendo energía y se van desacelerando. Las partículas que van adelante del flujo de materia, son las que más siente la interacción con otras partículas y se van ralentizando, de una forma más brusca, formando un frente de choque. Este frente de choque provoca que las partículas se vayan esparciendo de forma desordenada generando los lóbulos, como se observa en la figura (2.4).

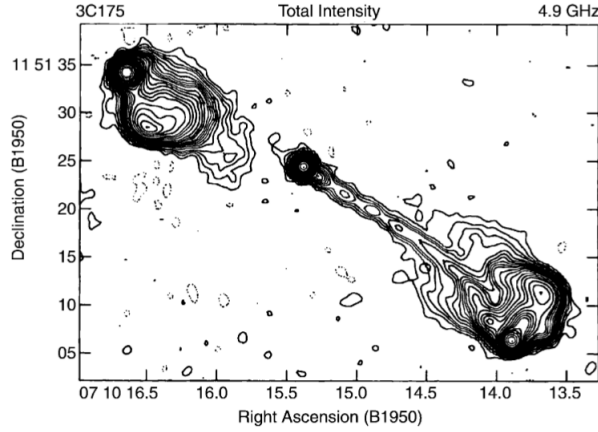


Figura 2.4: Simulación de un AGN. En la parte central se encuentra el BH, los jets son por donde se desplaza la materia y los lóbulos son los grumos donde se aglomera la materia que viene del núcleo.

2.4 Modelo Unificado

Conforme a todo lo presentado, se puede identificar que los AGNs presentan cierta similitud, pero de igual manera diferencias considerables. Al conocer su naturaleza, se pretende presentar a los AGNs como objetos con morfología equivalente, pero observados en lugares diferentes, donde cada lugar presenta un fenómeno físico muy específico de allí. Mirar figura (2.2).

Como ya se ha dicho y mostrado los AGNs presentan propiedades en común.

- Todas los AGNs hospedan un SMBH en su interior.
- Todos los AGNs tiene un disco de acreción que alimenta el BH.
- Todos los AGNs van a estar caracterizados por la masa del BH M_{BH} y de la rata de acreción \dot{m} . M_{BH} permite relacionar la luminosidad máxima del SMBH.
- La morfología de la galaxia anfitriona también permite clasificar. Las radio galaxias están en galaxias espirales, mientras que las Seyferts en galaxias espirales.

Con estos criterios se pretende construir un criterio de clasificación más amplio, que permita albergar todos los tipos de AGNs.

CHAPTER

3

Modelo de Spin.

CHAPTER

4

Algoritmo y Modelación.

CHAPTER

5

Clasificación entorno cosmológico (Cosmic Web)

