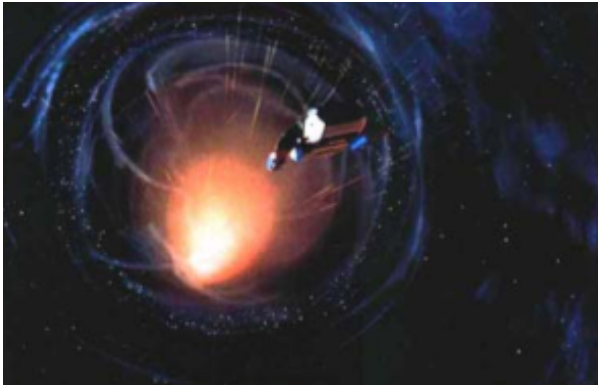




# Agujeros Negros Astrofísicos.

*La Magia  
de la Noche*



**NOMBRE**

García Orozco  
Citlalli Berenice

## GRADO ESCOLAR:

Sexto de Preparatoria.

## PLANTEL:

Escuela Nacional Preparatoria No1  
"Gabino Barreda".

## PROFESOR PROMOTOR:

Aida Star Byrd Neri.

## DEPENDENCIA:

Instituto de Astronomía.

## DEPARTAMENTO:

Departamento de Astrofísica: DATA

## INVESTIGADOR:

Sergio Mendoza Ramos.



Desde siempre hemos observado las estrellas puesto que somos curiosos, al menos una vez en nuestras vidas hemos caído en la cuenta de que existen y por breves instantes las hemos observado y hemos cuestionado que son, pero también siempre hemos querido saber más de la naturaleza.

Actualmente siempre es lo mismo, vamos y venimos, estamos acostumbrados a la vida social cotidiana la cual pareciera ser la única existente y en medio de ese vaivén saliendo del vulgo la *astrofísica* moderna ha dejado al descubierto que no somos nada en medio de un océano cósmico del cual solo conocemos una región, suposiciones en forma de teorías y con ellas nos acercamos a una verdad, el humano siempre está buscando a esta y cada vez que se responde una interrogante aparece otra mucho más intrigante, mucho más extraña y a la vez nos aleja de esa verdad.



Cúmulo de las



Quienes se han atrevido a mirar hacia arriba han descubierto que la realidad que nuestros ojos ven es solo un fragmento en lo que llamamos el *espectro electromagnético*. Hemos descubierto que nuestro solo un fragmento en lo que llamamos el espectro electromagnético. Hemos descubierto que nuestro sol que es mas poderoso de lo que nuestros antiguos suponían. Nosotros hemos visto a su dios, un dios frágil en equilibrio pero decadente, hemos visto que este sol es una iestrella! Nuestra estrella mas cercana, una de entre muchas, puesto que es una estrella común y aun así no la podemos comprender del todo.

Para esta ocasión, de la larga lista de objetos que conocemos en la actualidad hay uno en especial. Este es único, misteriosos y hace que nuestra imaginación vuele a lugares fantásticos antes solo soñados. Estos objetos los conocemos con el nombre de "Agujeros Negros".

Estos objetos, en verdad fascinantes han despertado el interés de muchas personas, entre ellos *Sergio Mendoza*. Tienen su historia y sus repercusiones en la manera de ver el universo así como sus mitos. De estos objetos aun se esperan otras sorpresas puesto que el astrónomo solo puede ver una parte de ellos ya que estamos atrapados en nuestro planeta. Gracias a la astrofísica de hoy podemos entender como funciona la naturaleza por medio de relaciones matemáticas y alta precisión en experimentos astrofísicos.

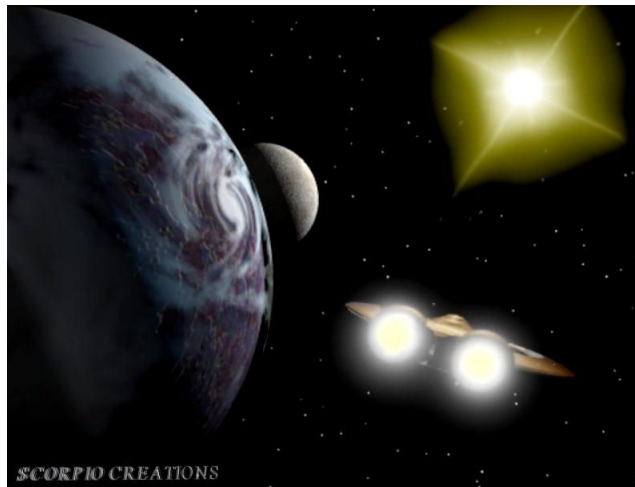


Imagen artística

Por este medio podemos conocer y saber, o bueno, al menos suponer, que esta pasando en esas regiones que por su lejanía, sus acontecimientos tuvieron lugar en el

pasado. De igual manera estos descubrimientos traen una mejor tecnología y una manera de sobrevivir a estas crónicas espaciales.

*Querido lector, te invito a viajar hacia nuestras fronteras del conocimiento y a realizar un recorrido por lo inimaginado, pero soñado por genios de nuestro planeta.*



Siempre esperamos que la luna nos diga algo más, pero somos impacientes y nuestro corazón lleno de dudas siempre es curioso y para el universo sólo somos una muñeca de trapo de un corto momento de vida y tan frágil como una copa de vidrio. Pero entre el mundo de dudas de las cuales somos marinos: queremos descubrir una nueva tierra.

Damos un paso y la inmensidad se hace más grande igual que las posibilidades. De esta forma la fantasía con nuestros razonamientos siempre nos han acompañado, ¿entonces dónde esta la veracidad de nuestra realidad?



Imagen artística de luna

Alguien me dijo una vez que "*No hay grande ni pequeño, ni alto ni bajo, todo depende del punto de vista desde el que se vea*" y por ello respetamos las ideas de nuestros antepasados.

La doctrina llamada ciencia es también una manera de creer pero existe una gran diferencia entre ésta y la religión puesto que la primera comprueba los hechos poco a poco hasta dar con lo más verídico posible puesto que siempre sigue el conocimiento y la otra no hace ningún intento de llevar a cabo dicha tarea. Cuando la ciencia caiga al terreno de la superstición entonces estará perdida.



Fotografía del Centro de la Vía

Einstein señaló con frecuencia la relación ciencia-sociedad y escribió: "La ciencia, como cuerpo de conocimiento completo y terminado, es la cosa más objetiva y más impersonal que conocen los seres humanos; pero la ciencia como algo que está surgiendo, como meta, es tan subjetiva y está tan psicológicamente condicionada como cualquier otra esfuerzo del hombre".

En la actualidad la ciencia junto con la tecnología nos han dado incontables comodidades de las cuales somos prisioneros pero la ciencia no es un cuerpo de conocimiento completo y terminado como se esperaba poco antes de que Einstein entrara en escena.

La ciencia tal y como la conocemos hoy ha tomado siglos y todavía no finalizara. Falta mucho por aprender y comprender aun. Para poder dar un objetivo hay que estar concientes de esto puesto que hay que entender que la astronomía nos ha acompañado desde la época de las cavernas, no es difícil y es algo a lo que todos podemos tener acceso.



Nuestra

Quizás ese último párrafo sea el objetivo: el deseo, la intención de aprender y un intento por comprender una vez más el entorno en donde se aloja la Tierra. Ahora concentrémonos en los Agujeros Negros de los cuales intentamos describir que son y como funcionan. Sergio Mendoza, investigador del Instituto de Astronomía de la UNAM está interesado en saber y describir las implosiones que tienen origen en ciertos agujeros negros, puesto que aclara que sabemos sobre explosiones más que nada. De igual manera su objetivo es conocer los "Jets" que tienen lugar en estos objetos tan intrigantes, misteriosos y fabulosos.

Mi objetivo es saber más de estos cuerpos y a la vez tener el gusto de ver más allá de lo que mis ojos pueden observar porque es... asombroso. Si esa es la palabra, asombroso, maravilloso el placer de aprender un poco cada día y al dormir, saber que has vivido.





Galaxia Remolino, NGC

LAS PUERTAS DEL UNIVERSO ESTÁN ABIERTAS INDICANDO QUE AUN  
PODEMOS SOÑAR ✧ ESTA ES MI INVITACIÓN, ESTO ES MI PASIÓN ✧  
POR ELLO QUIERO COMPARTIRLO CON USTÉDES, POR ELLO ESTE  
TRABAJO.



Imagen artística:



(Metodología)

Lo primero que debemos de saber es que la velocidad de una partícula debe de ser siempre menor que la de la luz en el vacío.

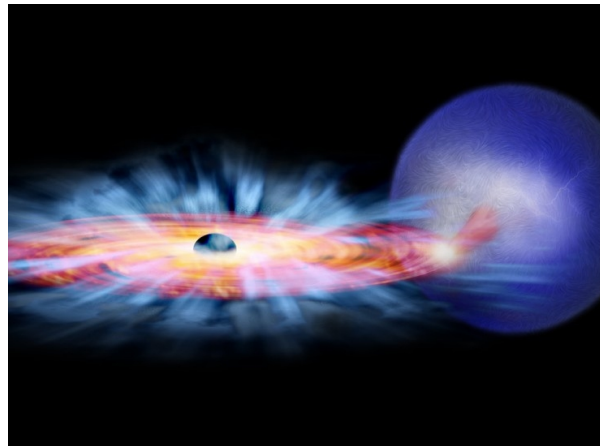
En la mecánica clásica se dice que para: La fuerza de atracción entre dos cuerpos es proporcional a sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de las distancias que los separa.

Así podemos ver que si el Sol si pudiera ser comprimido hasta ser una esfera de 3km de radio se convertirá en un agujero negro. Así se observa que la velocidad de escape nunca podrá alcanzar la velocidad de la luz más que en un astro de masa infinita o radio cero. Pero esto es considerado únicamente la teoría de la relatividad especial. Si tenemos en cuenta la teoría de la relatividad general de Einstein, aparecen unas nuevas consecuencias muy interesantes. De aquí se deduce que a medida que un cuerpo se acerca a un astro el tiempo transcurre más despacio para éste cuerpo, en función de la velocidad de escape del astro (desde un punto de vista clásico), de modo que cuando se llegue a una distancia tal que la velocidad de escape clásica sea igual a la velocidad de la luz, el tiempo se detendrá para el objeto situado en ese lugar. O sea, para esto es el llamado **RADIO DE SCHWARCHILD**. Aparece así una superficie esférica alrededor del agujero negro en la cual el tiempo se detiene. Esta superficie esférica es el llamado **HORIZONTE DE EVENTOS** del agujero negro. Además la teoría de la relatividad general nos dice que el **ESPACIO SE CURVA** alrededor de una masa de tal forma que un rayo de luz que pasara rozando esa masa se desviaría el doble de lo que lo haría si estuviera afectado por la gravedad desde un punto de vista clásico (como partícula).

También se obtuvo que la luz emitida por una estrella debía tener un **ESPECTRO ALGO DESPLAZADO HACIA EL ROJO**, es decir que la luz emitida tendrá una frecuencia menor de lo normal debido a que todos sus electrones vibraran con más lentitud a causa de esa detención parcial del tiempo.

Se calcula que para un dicho radio la curvatura del espacio sería tal que la luz quedaría atrapada en el agujero. De esta forma al acercarnos al horizonte de sucesos las tres coordenadas espaciales normales se curvan de tal forma que cualquier movimiento en el interior del agujero se produciría en dirección hacia el centro de este. De este modo todo lo que traspase el horizonte de sucesos no podrá salir jamás.

Hemos podido deducir con métodos clásicos las principales formulas que expresan las propiedades de los agujeros negros y los procesos microscópicos de evaporación están implícitos en la termodinámica. En estas formulas podemos ver la manera en la que se han descubierto los agujeros negros en principio como una curiosidad matemática y con las observaciones una realidad. De estas formulas de sus correspondientes teorías podemos describir como funcionaria un agujero negro y endilgan a otras respuestas, son nexos a una respuesta mas certera, sin embargo aun falta mucho para concluir lo que realmente para en ellos, Sergio Mendoza como ya se menciona anteriormente es uno de los precursores de estos objetos.

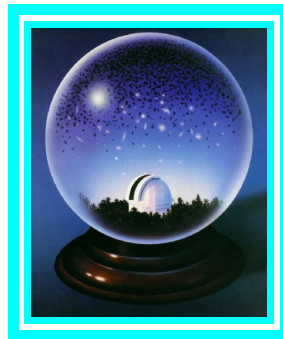


Recreación de un agujero negro en un sistema binario donde absorbe lentamente a su



gujeros negros, fascinantes habitantes del cosmos. Cada día la realidad del universo que las observaciones dejan de manifiesto, acercan casi inexorablemente a lo que se ha especulado desde la teoría. Los astrónomos frecuentemente han venido señalando que el universo hierve en medio de fuerzas extraordinariamente violentas.

La física convencional resulta decepcionantemente débil como para explicar satisfactoriamente los estallidos de radiaciones detectadas que provienen desde el centro de la Vía Láctea, o los cuásares que con virulencia arden en los confines del cosmos. Cada día se acrecienta más el convencimiento de la idea que se extrae de la teoría de que el candidato más probable para producir esos inmensos fenómenos energéticos sería materia girando en espiral alrededor de una singularidad súper masiva.



Aquí, cuando nos estamos refiriendo a una "singularidad", estamos señalando a una masa con volumen nulo pero de un inmenso poder gravitatorio que popularmente se llama <<agujero negro>>.

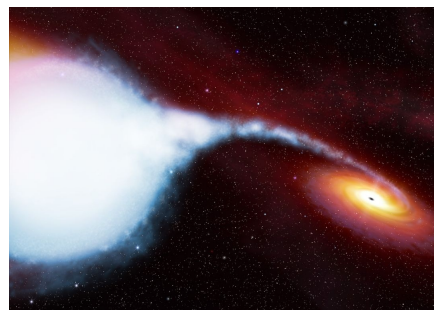


Imagen artística de un agujero negro

Aunque todavía quedan algunos escépticos sobre la existencia de los agujeros negros, la mayoría de los físicos investigadores y astrónomos están convencidos que tienen que existir en un gran porcentaje de ellos y consideran que ya fueron localizados en el universo.

Gracias a todo eso hoy podemos aventurarnos a un océano cósmico desconocido con miles de criaturas esperando ser descubiertas. Cabe decir que la palabra COSMOS viene del griego y significa orden. De este orden que desconocemos intentaremos describir que ocurre, que son y como se forman los agujeros negros.



Agujero Negro  
y otros  
misterios en el

Estos objetos tienen su historia y dentro de ella encontraremos el desarrollo para llegar a los resultados que hoy tenemos y en los cuales Sergio Mendoza participa. Antes de comenzar es interesante saber que los agujeros negros han recibido distintos nombres a lo largo de su historia.

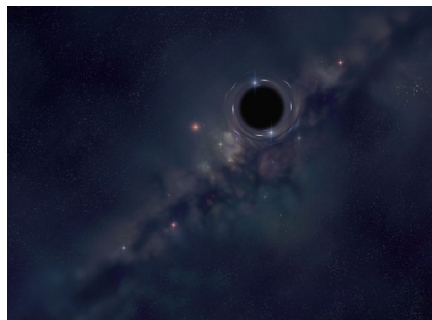




Imagen artística de un agujero negro en  
el universo

La historia de los agujeros negros comienza en el siglo XIII, un 27 de noviembre de 1783, por aquellos momentos Francisco de Goya pinto la capilla de San Clemente, otro hecho importante de aquel año fue que en otra parte del mundo estaban vigentes las primeras demostraciones del globo aerostático y en Inglaterra tenía lugar el reconocimiento de la independencia de Estados Unidos y aconteció en ese mismo año la última ocasión en que la comunidad científica manifestó interés por la alquimia.

Esa era la situación, pero por ahora lo que nos interesa es el día 27, día en que el Rev. John Mitchell padre de la sismología, geólogo y astrónomo británico (que contribuyó con la idea de estrellas binarias e inventó la balanza de torsión, ideó la ley del cuadrado inverso de repulsión de cargas y comenzó con el experimento de medir la masa de la Tierra utilizando una balanza que después fue terminada por Cavendish) redactó a la Philosophical Transactions of the Royal Society of London una carta en donde explicaba su idea derivada de la física de Newton hablando acerca de un cuerpo que no se podía ver. Esta fue la primera vez de la cual se tiene noticia de que se halla tratado el tema que casi 300 años después llamaríamos agujeros negros.



Observación de M87 (el  
objeto de mayor tamaño en la  
imagen) nótese el chorro que  
sale de este en el lado

Después Pierre Simon Laplace retomo la idea de Mitchell, al parecer independientemente de este en el mismo siglo para el libro resumido donde explica las consecuencias de las leyes de Newton llamado "Exposition du system du Monde", en el habla de "Cuerpos oscuros" y también de estrellas que de repente aparecían y desaparecían sin dejar rastro, una de estas observaciones fue realizada por los chinos, editados en plena revolución borbónica, pero para la quinta edición de este fue retirada del libro la idea puesto que en esta época no era algo muy apreciado este concepto. Sin embargo tuvo que retractarse de esta. Ciento treinta y dos años mas tarde en 1915 gracias a Albert Einstein se tomo por fin la idea de lo que para Laplace eran "Cuerpos Oscuros".

Sin embargo el mismo Albert Einstein tenía la postura de que las estrellas no podían colapsarse hasta tener un tamaño nulo. En 1917, Kart Schwarzschild al regresar en calidad de enfermo de la guerra y casi moribundo resolvió una de las ecuaciones de Einstein, siendo la primera persona que realizo este hecho. Estas soluciones arrojaban a la luz los "cuerpos oscuros" de Laplace, pero seguían como curiosidades matemáticas y tampoco se podían realizar esas observaciones aun por la tecnología con la que se contaba.

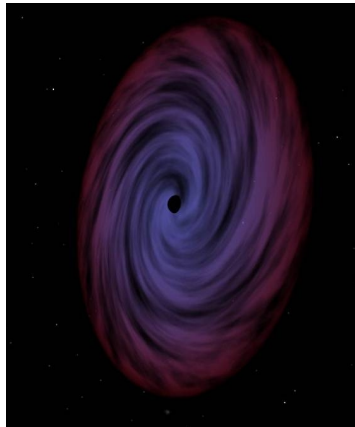


Imagen artística por ordenador del programa

En 1928, Subrahmayan Chandrasekhar dio un paso importante para estos objetos. El decía "Una estrella de gran masa no puede pasar por la fase de enana blanca, y se tiene la libertad para especular con otras posibilidades", hoy se tiene una ley para estas estrellas llamada "El limite de Chandrasekhar". El físico soviético LevDavidovich

Landau propone que la fase siguiente eran las llamadas "estrellas de neutrones", en donde electrones relativistas se encuentra degenerada. Pero aun seguía sin haber forma de observarlas.

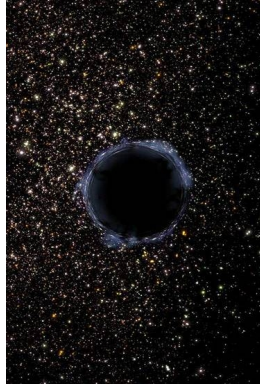
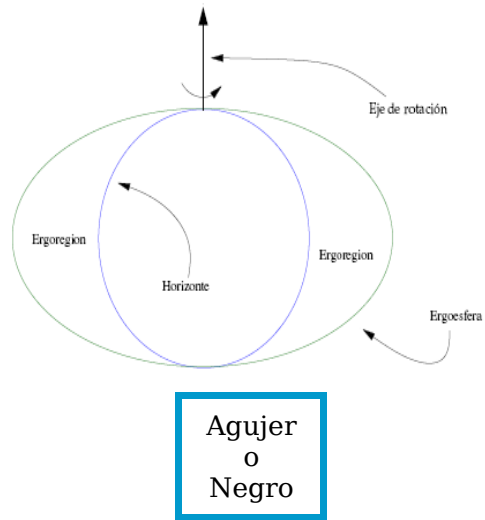


Imagen  
Artística de un

La relatividad y la mecánica cuántica siguieron rutas separadas durante un par de décadas, sin que hubiera interacción entre ellas. Finalmente en 1930, el físico inglés Paul Adrien Maurice Dirac logró formular clara y rigurosamente una teoría que unificaba la mecánica cuántica y la relatividad especial. La unión entre estas dos teorías fue extremadamente fructífera; la mecánica cuántica relativista es ahora el fundamento de las teorías modernas de partículas elementales. En 1939 Robert Oppenheimer resolvió el problema de que le sucedería a una estrella más masiva que el límite de Chandrasekhar.

En 1963, Roy Kerr, encontró otra solución a un conjunto de soluciones de las ecuaciones de la relatividad general que describían agujeros negros en rotación. Junto con la solución de Schwarzschild es hoy uno de los tipos de agujeros negros más conocidos fuera de la comunidad científica y dentro de ella.



## *Y la fantasía se hace realidad...*

En la década de los 60's los agujeros negros cobran importancia sobre todo para los pequeños grupos que creían en estos objetos, esto sucede a raíz del descubrimiento por los astrónomos de fuentes de energía de intensidad marcadamente variable, cuyo enorme corrimiento al rojo hizo suponer que se encontraban en los confines del universo, ¡Cuásares!; el holandés Maarten Schmidt en 1963 estudio el objeto 3C273 y bajo ciertas manipulaciones algebraicas se llega a la conclusión de que la densidad y el radio de un cuasar coincide en orden de magnitud con los agujeros negros. En 1967, la joven estudiante Jocelyn Bell analiza la emisión de ondas de radio de varias regiones que se repetían invariablemente cada 1.3 seg. Se concluyo por su alta frecuencia que la región emisora debería ser muy pequeña y se descubrieron los conocidos pulsares.

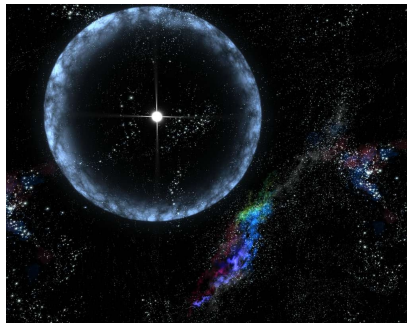


Imagen Artística de  
una estrella de

Estos también resultan ser estrellas de neutrones en rotación con un eje de rotación y campos magnéticos desviados. De esta manera dejaron de ser una curiosidad matemática resultando que las predicciones de Landay y Zwicky eran correctas. Por esos mismos años también Werner Isarel demuestra que es algo muy simple la solución de Schwarzschild y su resultado solo es aplicable a los agujeros negros formados a partir de cuerpos sin rotación También en esta misma década John Wheeler y Roger Penrose defendían la postura de que cualquier estrella sin rotación, independientemente de lo complicado de su forma y de su estructura interna acabarían después de un colapso gravitatorio siendo un agujero negro perfectamente esférico, cuyo tamaño dependería



únicamente de su masa. John Wheeler bautizo en 1969 a estos objetos como **AGUJEROS NEGROS.**

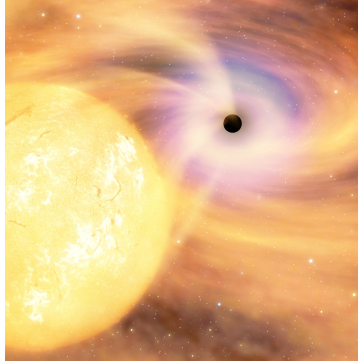
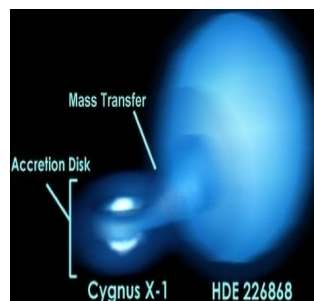


Imagen Artística de un  
Agujero Negro  
devorándose a su

En 1971 Steven Hawking demuestra que cualquier agujero rotando de manera estacionaria tendría un eje de simetría y en 1974 el mismo descubre que un agujero negro emite radiación como si estuviera en equilibrio termodinámico total, esto trae consigo que se evaporan y desaparecen, efecto hoy conocido como la radiación de Hawking. Roger Penrose introdujo muchas de las técnicas características de la teoría de la relatividad actual. En una serie de teoremas descubiertos con Stephen Hawking, Penrose probó que, de acuerdo con la teoría de la relatividad, las singularidades se forman cuando se produce colapso gravitacional de estrellas y propuso que el Big Bang debió ser una singularidad.



Recreación  
artística (NASA)  
del sistema  
cygnus X-1 en  
la constelación

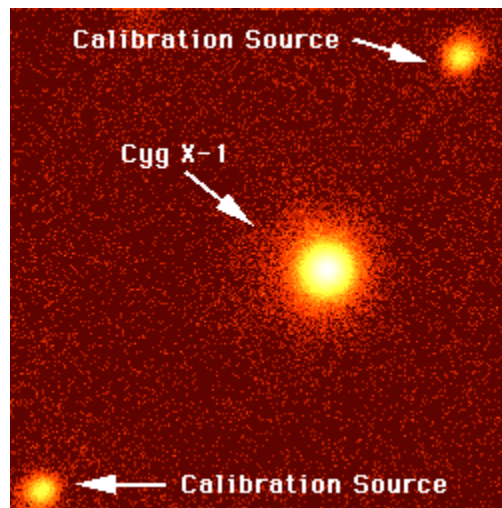
Una singularidad es un lugar en el que la densidad de materia y la curvatura del espacio se hacen infinitas, y no tiene significado desde el punto de vista físico teórico. Penrose también propuso la "hipótesis de la censura cósmica", que establece que cuando se forma ese tipo de singularidades, estas no se encuentran "desnudas", en el sentido de ser visibles a observadores externos. Estos se encuentran "escondidos discretamente" en el interior del horizonte de un agujero negro y, por tanto, son aceptables. También demostró que se puede extraer energía rotaciones de un agujero negro.

Estos son algunos de los descubrimientos que han dejado marca en el estudio de agujeros negros, pero esto todavía no acaba...



## *Astrofísica y Observación de Agujero Negro.*

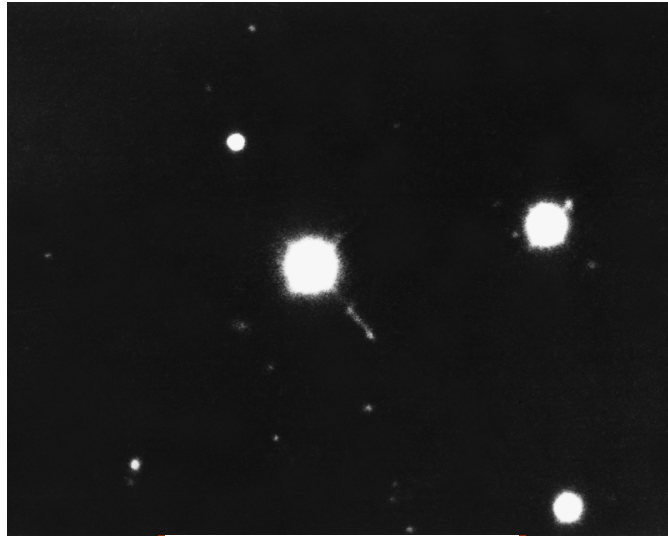
La teoría de la Relatividad General y la combinación con la mecánica cuántica se han convertido en una teoría peripuesta mientras el irreparable tiempo escapa y lo único que podemos hacer es seguir caminando para descubrir el terreno vericuetado de la naturaleza en donde quizás los agujeros negros sean el nexo para las siguientes generaciones de preguntas y respuestas acercándonos a terrenos que no nos imaginamos aun pero a nosotros nos toca endilgarlos a ellos; otrora, gracias a nuestros conocimientos de hoy podremos ser sobrevivientes de las estrellas.



Observaciones de Cygnus

Pero por el momento dediquémonos a seguir explorando el universo en busca de respuestas sobre todo para estos objetos que antes fueron quimeras y aventurémonos aun más: hasta los cuásares que son los objetos más lejanos que conocemos por el momento y activos.

La observación de estos objetos como de agujeros negros es algo increíble, en las imágenes se ven desde los chorros de energía hasta pequeños detalles de que realmente hay algo oculto, increíblemente y altamente energético (Ejemplo: M87 y 3C273).



Observación de

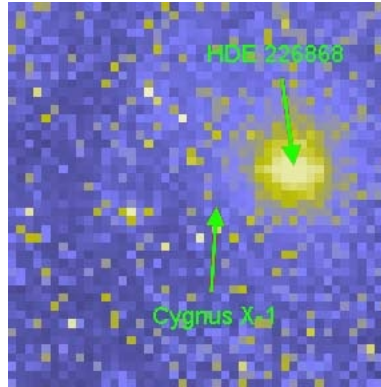
¿Como puede observarse un agujero negro?

Lo agujeros negros tienen masa y por lo tanto producen fuerza gravitacional y afectan a los objetos cercanos a ellos. Los astrónomos buscan estos objetos por sus efectos en las estrellas. Otras de las formas de observarlos es midiendo las velocidades de las nubes de gas que orbitan dicho objeto.



Un agujero negro debe de tener repercusiones en sus cercanías Imagen de

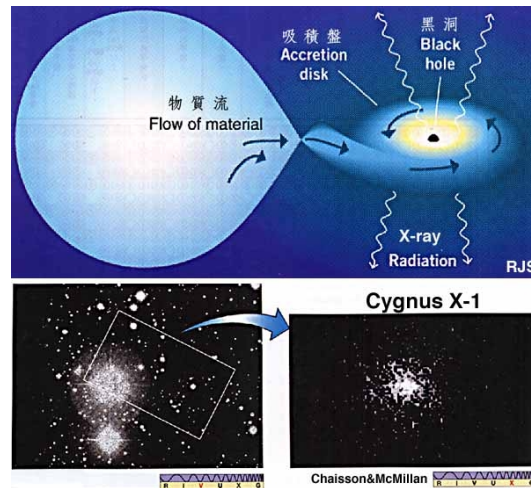
También por medio de las fuentes emisoras de rayos X o ultravioleta. La fuerza gravitacional debe de ser muy intensa cerca del agujero negro y podrían verse los efectos en su atmósfera y produciría rayos X por el material que cae al ser aplastado y caliente debido a su acreción.



En esta imagen se aprecia la ubicación de Cygnus X-1 y su estrella

En 1965, P. Sanford detecta con un telescopio de rayos X en órbita en la región de Cygnus X-1 emisión de estos rayos. En 1971 gracias al satélite UHURU se dice que se ha encontrado un agujero negro ya que la masa del objeto era mayor para ser una estrella de neutrones o una enana blanca. Este se encontraba en Cygnus X-1, es un sistema binario junto a una débil estrella súper gigante azul, se observó un comportamiento de HDE 226.868 de un periodo de órbita de 5.6 días alrededor de un objeto invisible en el rango visible del espectro. Es decir que no había signos de quien provocaba este comportamiento de la estrella HDE 226.868 y había algo que producía rayos X. La única explicación y la más visible es que es un Agujero Negro de cerca de 10 masas solares.

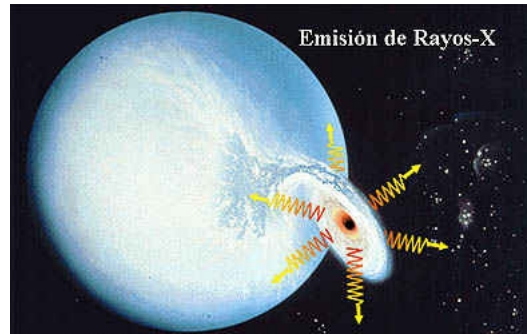




Representación (arriba) y  
Observación (abajo) de

La radiación proviene de la atmósfera de la súper gigante azul que cae hacia el objeto colapsado y se calienta. Este es el caso mejor estudiado y el primero de un agujero negro observable. A la fecha se han observado otros muchos objetos que tienden a ser agujeros negros o candidatos a agujeros negros. De hecho Hawking y Thorne realizan una apuesta en 1975 de que Cygnus X-1 contenga un agujero negro o no. En ese entonces se tenía una certeza de un 80% de que Cygnus era un agujero negro y en 1988 tenían una certeza de 95%

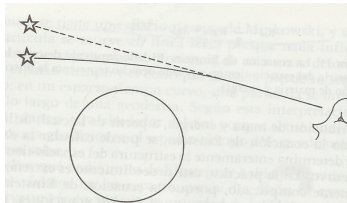
Analicemos ahora la estructura principal de los agujeros negros, sus propiedades y los tipos de agujeros negros que existen.



Emisión de Rayos X. Podemos detectar agujeros negros por como afectan a otras estrellas así como por rayos ultravioleta. Indirectamente podemos detectar el disco de acreción por rayos x y por medio de ondas de radio podemos ver los jets asociados a

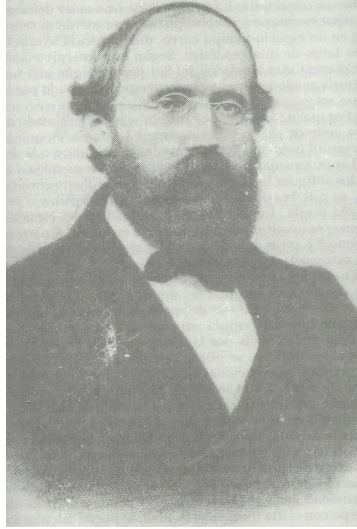
## *Teoría Elemental Clásica De Los Agujeros Negros*

El hecho de que los agujeros negros no existan es también tan importante como el hecho de que existan porque entonces podríamos formarnos una idea de como realmente fueron las primeras épocas del Universo y como evoluciono.



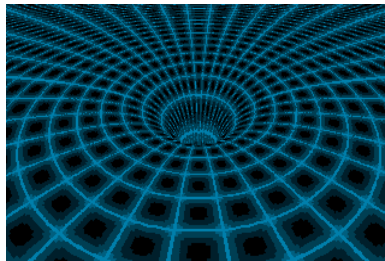
Desviación de un rayo luminoso al pasar cerca

Desde la época de Newton ya se investigaba el fenómeno de la luz de la cual hoy en día se sabe que esta compuesta por partículas y por ondas. Este fenómeno es conocido como la dualidad onda partícula. Esto nos da como resultado que ambas teorías sobre la misma eran correctas y con esto quedo claro como la gravedad afectaba a la luz. No fue si no hasta 1915 cuando se entendió su largo alcance a nivel cósmico en la época en que Albert Einstein empezó a revolucionar la física Newtoniana y ahora con esta nueva teoría y la combinación de ella con la mecánica cuantica sabemos que existen partículas llamadas virtuales en un aparente vacío. También en la actualidad nos queda mas claro el como se comporta la luz en un espacio gigantesco como en el "desorden" de nuestro cosmos. Ahora entendemos que la luz es afectada por los cuerpos de gran masa como el sol que es una estrella común. Y según los experimentos la velocidad de la luz es la máxima posible, su valor es de 300 000 km/s. Así, según la teoría de la relatividad la velocidad de la luz es la barrera fundamental de la naturaleza y que no puede ser superada, solo los fotones que son partículas de masa nula son los que pueden viajar tan rápido como la luz. Para que la gravitación, este incluida en la teoría de la relatividad era necesario que el espacio-tiempo fuera un espacio de Riemann.



George Friedrich  
Bernhard Riemann  
(1826 – 1866). Su  
concepción del  
espacio  
revoluciono la

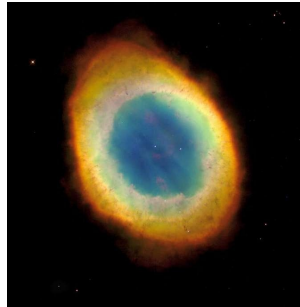
Estos espacios de tres o más dimensiones no se pueden visualizar a diferencia de un plano o un vértice de dos dimensiones pero nos queda el consuelo de que se pueden definir y manejar matemáticamente sin ninguna dificultad. Son un gran ejemplo de un concepto que solo se puede describir en el lenguaje matemático. Por lo tanto el espacio-tiempo es un espacio de Riemann y en ausencia de la curvatura ocasionada por la materia tendríamos un espacio-tiempo de Minkowski, es decir plano.



Curvatura en el espacio-tiempo  
provocada por un cuerpo con

Para poder comprender un agujero negro en principio tenemos que comprender la evolución estelar. Dependiendo de su masa las estrellas terminan su vida en distintas

formas. Por ejemplo nuestro sol terminara como una enana blanca. Un estudio por el diagrama H-R nos puede ayudar a comprender mejor esto pero el estudiarlo nos alejaría un poco de nuestro tema. La más importante característica de una estrella es su masa, esta es la variable fundamental que regula el funcionamiento de una estrella (el volumen, la luminosidad, la producción y las diferentes fases de su evolución y demás propiedades físicas)



Nebulosa del Anillo, en el centro podemos ver el remanente de una explosión de supernova

¿Cual es la masa mínima necesaria para que una protoestrella genere una estrella? Según datos recientes se requiere una masa mayor de 8 centésimas de la masa del Sol. Si la masa del objeto esta cerca y por abajo del limite anterior, presenta de entrada los mismos procesos que las estrellas. Su núcleo se calienta por efecto de la atracción gravitatoria y alcanza temperaturas de uno a dos millones de Kelvin. Insuficientes para genera reacciones nucleares de fusión. En otras palabras nunca llega a la secuencia principal en el diagrama H-R. A estas estrellas fallidas se les conoce como enanas café y la mayor parte de su radiación emitida se localiza en el infrarrojo. La masa de esta estrella varía entre 10 y 80 veces la masa de Júpiter. En 1994 fueron identificadas algunas en el círculo de las Pléyades. La primera se le llamo Teide I. Según las teorías mas recientes de la evolución estelar, una estrella cuya masa no excede 6 u 8 veces la masa solar arroja al espacio, en las últimas etapas de su evolución, una gran parte de su materia, principalmente cuando se expande y se vuelve una gigante roja. A la larga, queda solo la parte central y más densa de las estrellas. La cual se contrae hasta volverse una enana blanca. En ellas las leyes normales de la física empiezan a cambiar y encontramos materia degenerada. Después de esto brillan débilmente con lo poco que les queda de su calor inicial y se vuelve

luego una "enana roja" y finalmente terminan como "enanas negras": un cuerpo totalmente apagado, comparable en tamaño a un planeta.



La supernova 1987A, antes y después de la explosión. Haciendo monitoreos sea detectado un tipo de Supernova que aparece y desaparece como si fueran

Las supernovas se producen solamente cuando superan 1.5 masas solares, las estrellas de esta masa producen la supernova en forma menos violenta y después de haber pasado por el estado de enanas blancas en un proceso lento. Solo si la enana blanca es acrecida por la masa de otra estrella y rebasa el límite de Chandrasekhar, colapsa en pocos segundos y toda a la vez. Las supernovas son cuerpos estelares que aparecen súbitamente en el cielo, alcanzando un brillo muy superior al de cualquier estrella normal durante varias semanas y luego se apagan paulatinamente. Al estallar en supernova una estrella llega a brillar como diez mil millones de estrellas juntas, tanto como todas las estrellas de una galaxia. Las estrellas de neutrones observadas también son conocidos como pulsares, básicamente están formadas por neutrones. Una cucharada de la materia de estas estrellas pesaría aquí en la Tierra unos cien millones de toneladas. Este concepto de estrellas de neutrones apareció por primera vez en 1934, en un artículo de los astrónomos Landau y Fritz Zwicky sobre la naturaleza de las llamadas supernovas. Las estrellas de neutrones alcanzan una velocidad de rotación enorme dando varias vueltas por segundo sobre si mismas y combinado con el efecto de la radiación enorme dando varias vueltas por segundo sobre si mismas y combinado con el efecto de la radiación producida por el intenso campo magnético con la rotación de la estrella se explica el origen de los pulsos observados por los radioastrónomos. De hecho se dice que los pulsares son los relojes mas precisos del universo. Hoy en día se conocen mas de 300 pulsares y su radio típico es de 10km. Dentro de estas estrellas encontramos propiedades muy particulares como el estado que llaman superfluido. Después de esto se piensa que podría existir otro tipo de estrellas conocidas como

estrellas de quarks. Así como los átomos están constituidos por tres tipos de partículas elementales (protones, neutrones y electrones), estas, a su vez, no son tan elementales, según las teorías más recientes de la física moderna.

Existe evidencia de que cada partícula elemental "pesada", como el protón y el neutrón, está constituida a su vez por tres partículas fundamentales llamadas quarks. Si la estrella es superior al límite establecido para las estrellas de neutrones, la materia seguiría comprimiéndose hasta llegar a formar una estrella compuesta por quarks, en donde los propios neutrones habrían sido triturados hasta el punto de no quedar más que sus componentes elementales.

La naturaleza de la materia condensada en forma de quarks sería ya muy difícil definir en expresiones de tamaño y densidad. Glendenning y Mozsowski piensan que algunos fenómenos de aceleración drástica que atribuimos a la presencia de agujeros negros en las inmediaciones de una masa acelerada, podrían deberse realmente a la atracción masiva de estrellas de quarks. Hasta el momento son curiosidad matemática y un concepto puramente teórico.

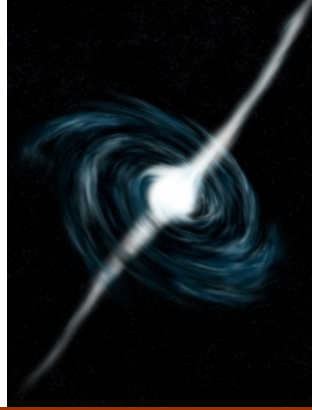
Por pura lógica, las estrellas de quarks estarían dotadas por movimientos de rotación mucho más rápidos que los de las estrellas de neutrones y serían capaces de generar campos magnéticos aun más intensos.

Aunque no se hayan observado aun y aunque no se pueda demostrar que existen, la historia de la astronomía moderna nos enseña que nunca se puede decir la última palabra sobre las elucubraciones teóricas de los astrofísicos. ¿Cómo podrían detectarse una estrella de quarks si realmente existiese? Esta cuestión depende de calcular las condiciones óptimas para la formación de una estrella de quarks.

Los candidatos óptimos son las estrellas de neutrones de giro muy veloz y más entre 1.5 y 1.8 masas solares; esto significa que una de cada cien estrellas de neutrones conocidas podría ser una estrella de quarks.

Los cálculos también sugieren que el núcleo de las estrellas de neutrones pesadas altamente magnetizadas pueden componerse de quarks pocas horas después de su nacimiento. Estrellas de neutrones con campo magnético de magnitud intermedia contendrían quarks libres mil años más tarde, cifra insignificante a escala cosmológica. Las estrellas de quarks posiblemente generan emisiones similares a las estrellas de neutrones salvo determinadas ondas de radio.

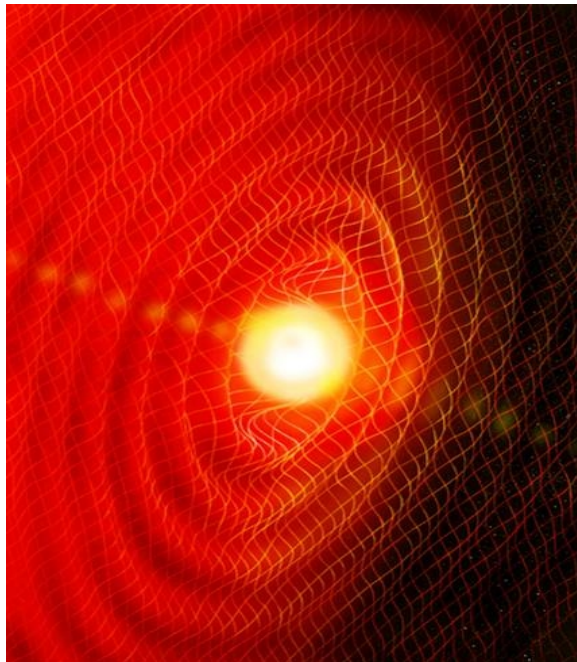




¿Existirán las  
estrellas de  
quarks?... Seguimos

## *Propiedades.*

El tipo más reconocido de agujero negro es el de Kerr y el más popular es el derivado del colapso estelar, es decir, el que surge después de la explosión de una estrella al final de su vida. Otra de las cosas más notorias en estos es que dependiendo del punto de vista desde el que se vea se piensa que son un mismo objeto, es decir, dependiendo del ángulo podemos llamarlos Blazar, cuasar, radio galaxias. De los cuales se piensa que las radio galaxias y radio cuásares están asociados a Galaxias Elípticas Gigantes. De todo esto encontramos que estos objetos expulsan JETS, chorros masivos de energía ya observados, también los agujeros negros poseen un disco de acreción en donde se llega a producir una gran cantidad de energía mucho más potente que la nuclear.



Los principales tipos de agujeros negros son desde unas cuantas masas estelares, los súper masivos y los primordiales.

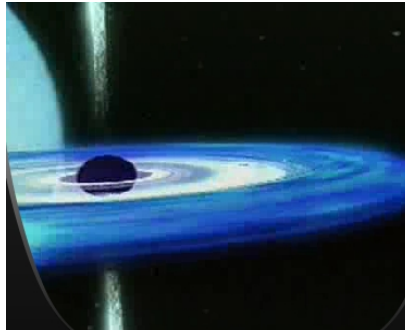


Imagen artística de un planeta en un sistema quizás binario en donde uno de sus soles se ha convertido en

¿Como nos ayudan las extraordinarias propiedades de los Agujeros Negros a comprender la astrofísica de los cuásares y de los núcleos activos de galaxias? En general una de las propiedades más notorias de los agujeros negros es que estos así como las estrellas de neutrones son fenómenos que si estuviéramos cerca de alguno de ellos nos proporcionarían una energía mucho mayor que la del sol. Para poder extraer energía de estos es necesario que los encontremos en binarias. Un ejemplo de ellos son las estrellas de neutrones, en las cuales al caer el material de la estrella compañera que va a casi la velocidad de la luz al ser frenada se disipa en forma de calor que radia. A este fenómeno se le conoce como acreción. En las estrellas de neutrones tenemos que la fracción de la energía de la masa en reposo de esta materia al ser convertida en calor es de un 5%. La comparación más interesante es que las reacciones nucleares que alimentan al Sol (Tenemos que tener en cuenta que el sol es una estrella común) son de 0.7% en este proceso de convertir masa en energía.

Entonces deducimos que es una cantidad de energía enorme la que se puede generar en estas fabricas cósmicas. Pero para un agujero negro del tipo de Schwarzschild tenemos que el resultado de producción de energía es de un 10% y para uno del tipo de Kerr con máxima rotación el cálculo haciendo hasta la increíble cantidad de 42%. La diferencia entre las estrellas de neutrones y los agujeros negros es que los últimos no tienen una superficie sólida mientras que esta sí. Cuando las estrellas de neutrones empiezan a girar entonces son conocidas como pulsares por su extraordinaria velocidad de giro de rotación. Ahora, también cabe aclarar que la diferencia entre los agujeros negros de Schwarzschild y de Kerr es que los primeros son cálculos realizados

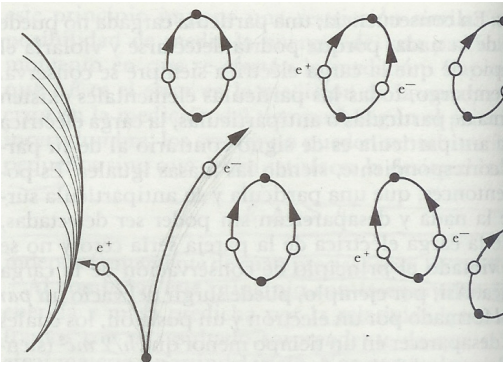
para agujeros negros redondos y sería mucha casualidad que la naturaleza nos brindara un objeto perfectamente redondo, es decir, son uno de los más divulgados y de los más sencillos. Los de Kerr son una variación de estos resultados a partir de la deducción de las fórmulas de Einstein y estos no son precisamente redondos, en los esquemas aparecen ovalados y presenta otras características.



Aquí podemos observar en un sistema binario un agujero negro gracias

Hablando de Agujeros negros podemos decir que principalmente se pueden clasificar en 4.

1. **De masa estelar**: Proviene de núcleos colapsados de estrellas gigantes, con masas varias veces la del sol (Cygnus X-1; A0620-00)
2. **Súper Masivos**: Estos son los mastodontes de los agujeros negros, con unas masas entre varios millones y varios miles de millones mayores que la del Sol. Estos agujeros negros se cree que habitan en el centro de las galaxias. Normalmente se atribuyen a galaxias activas (M87; NGC 4261; M 77; NGC 4258)
3. **Primordiales**: Si pudiéramos observar uno de estos podríamos detectar la explosión final que este produciría para terminar con el mismo. Esto fue propuesto por Hawking, es decir que se evaporan dependiendo de cómo consuman su energía. Algunos tardarían en evaporarse mucho más que la edad del universo. Son conocidos como primordiales porque se piensa que estos pudieron haber sido creados en las primeras épocas del universo. Sin embargo, no han sido detectados suficientemente cerca, como en la vecindad del sistema solar.



Un par virtual creado cerca de un agujero negro puede desgarrarse por la fuerza de marea producida por el objeto

Para los agujeros negros también tenemos el límite de Eddington: Emiten radiación la cual es alimentada por la acreción y de la que se emite más o menos la máxima luminosidad permitida por este límite. En las graficas de observaciones se reconoce un agujero negro porque la pendiente esta muy pronunciada en su espectro de rayos X. Normalmente la masa para estos objetos es mayor de 3 masas solares mientras que para las estrellas de neutrones es de menos 3 masas solares y gracias a esto podemos distinguir si es un agujero negro o una estrella de neutrones. Estos emiten una radiación la cual es alimentada por la acreción y de la que se emite más o menos la máxima luminosidad permitida por este limite. Mientras que la gravedad intenta vencer la fuerza interna de la estrella (a la presión térmica) los fotones realizan otro trabajo, estos producen presión, un efecto que no detectamos en nuestro sentido común (cada vez que encendiéramos un foco seria algo peligroso), esta presión afecta también a la estrella. Las capas exteriores al núcleo saldrían volando si esta presión es mayor pero si es menor la estrella se colapsa. Sin embargo, por ejemplo en nuestro sol esta radiación de los fotones tarda milenios en salir puesto que es como cuando se juega billar (imaginando que el foton es pelotita que va de un lado a otro de la mesa hasta llegar al hoyo). Y esto es lo que vemos como brillo del sol. El caso de los agujeros primordiales los cuales dice Hawking en su libro "Historia del tiempo" que *la suposición mas razonable es que desaparecería completamente en una tremenda explosión final de radiación, equivalente a la explosión de millones de bomba H. Un agujero negro con masa de unas pocas veces la masa del sol tendría una temperatura de solo diez millonésimas de grado por encima del cero absoluto. Esto es mucho menos que la temperatura de la radiación de microondas que llena el universo, por lo que tales agujeros negros emitirían incluso menos de lo que absorben. Si el universo esta destinado a continuar expandiéndose por siempre, la temperatura de la radiación de*

*microondas disminuirá y con el tiempo será menor que la de un agujero de esas características, que entonces empezaría a perder masa. Pero, incluso en ese caso, su temperatura sería tan pequeña que se necesitarían aproximadamente. Por el contrario, podrían existir agujeros negros primordiales con una masa mucho más pequeña, que se formaron debido al colapso de irregularidades en las etapas iniciales del universo. Estos agujeros negros tendrían una mayor temperatura y emitiría radiación a un ritmo mucho mayor. Un agujero negro primordial tendría una vida media aproximadamente igual a la edad del universo. Los agujeros negros primordiales con masas iniciales menores que la anterior ya se habrían evaporada completamente, pero aquellos con masas ligeramente superiores aun estarían emitiendo radiación en forma de rayos X y rayos gamma. Los rayos X y los rayos gamma son como las ondas luminosas, pero con una longitud de onda mas corta. Tales agujeros apenas merecen el apelativo de negros; son realmente blancos incandescentes y emiten energía a un ritmo de unos diez mil megavatios. Un agujero negro con esas características podría hacer funcionar diez grandes centrales eléctricas, si pudiéramos aprovechar su potencia*

Se cree que estas miniaturas debieron haberse formado en una notable cantidad durante los primeros momentos del universo a partir del campo gravitatoria inicial.



Imagen Artística de un Agujero Negro (NASA). En el cual podemos apreciar en el centro que algo sale expulsado de este. Estos chorros de energía de rayos  $\gamma$  están asociados a algunos agujeros negros. La luz emitida cerca de un objeto

Otra de las cosas mas fundamentales de los agujeros negros es, como ya se había tenido lugar de tratar, la gran generación de energía. Pero esta vez no nos quedaremos en un 45% de los agujeros de Keer. No, esta vez veremos que hay algo aun mucho más potente que esto. Puesto que no existe nada mas poderoso que la aniquilación partícula antipartícula. Para nosotros ¿Que es el vacío?; ¿Acaso un espacio donde no

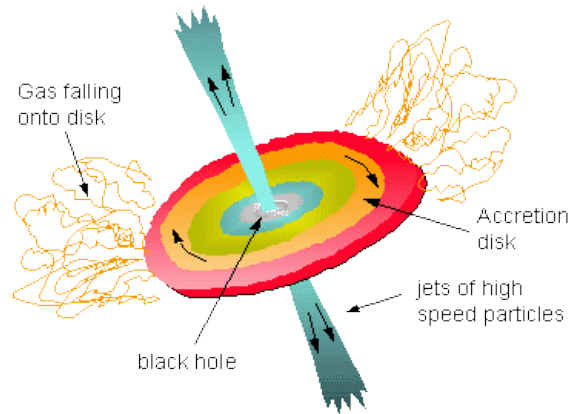
¿hay nada?, lejos de intentar hacer filosofía con esta pregunta la física cuántica ha predicho que el vacío es aparente al contrario de la física clásica y se la ha llamado vacío cuántico. El principal problema al manejar las cantidades es el principio de incertidumbre de Heisenberg. Este principio establece un límite intrínseco a la precisión con que se pueden medir simultáneamente la posición y la velocidad de una partícula independientemente de cuán precisas sean las mediciones. Así el "vacío" de la mecánica cuántica está repleto de partículas que aparecen y desaparecen burlándose de la ley de conservación de la masa, encubiertas por el principio de incertidumbre. Tales partículas, por principio indetectables, se llaman partículas virtuales (en el sentido de que viven muy poco tiempo). Es posible entonces que una partícula y su antipartícula surjan de la nada y desaparezcan sin poder ser detectadas, porque la carga eléctrica de la pareja sería cero (es decir que se aniquilan mutuamente) y no se habrá violado el principio de conservación de la carga eléctrica. La presencia de partículas virtuales en el vacío ocasiona una serie de problemas conceptuales que los físicos aún no han podido resolver satisfactoriamente. Según la mecánica cuántica, es posible que una partícula con energía negativa en las proximidades de un agujero negro, con un potente campo gravitatorio, sea atraída por él dejando en libertad a su compañero con energía positiva para que caiga también o se escape como una partícula o antipartícula real.



Imagen Artística de un Agujero

Un observador verá que el agujero negro radia. Una partícula real cerca de un agujero negro tiene menos energía que si estuviese lejos, debido a que necesita energía para vencer el potente campo gravitatorio. Mientras más pequeño sea el agujero negro mayor será la velocidad de emisión y la temperatura aparente del agujero negro.





Partes principales de un agujero negro.

De este modo se cumple la ley de la termodinámica en la física de los agujeros negros. Entonces la emisión de partículas positivas se compararía con la caída de partículas negativas al agujero negro. Esta es la famosa radiación de Hawking-Zeldovich en la cual se piensa que el final de un agujero negro ya evaporado explotaría en millones de bombas H ya antes mencionado.

De esta manera es posible que un agujero negro parezca emitir partículas cuando sabemos que nada puede escapar si está dentro de su horizonte de eventos. Pero el campo gravitatorio dentro de un agujero negro es tan intenso que incluso una partícula real puede tener allí energía negativa.

De esta otra forma un flujo de energía negativa hacia el agujero negro reduce su masa y conforme el agujero pierde masa, el área de su horizonte de sucesos disminuye. La consiguiente disminución de entropía del agujero negro es compensada de sobra por la entropía de la radiación emitida y de esta forma nunca se viola la ley de la termodinámica. Los agujeros inducen fuerzas de marea (igual que la luna en la Tierra sobre las olas del mar) estas fuerzas son aplicadas sobre los cuerpos cercanos a estos objetos.

Supongamos que un par formado por un electrón y un positrón virtuales se crea muy cerca de un agujero negro. Hawking señaló que la fuerza de marea puede romper el par de modo tal que las dos partículas se vuelven reales y una cae al agujero mientras que la otra desampara a su compañera y por su fortuna escapa a lo lejos.



Imagen Artística de un mundo donde sus soles se encuentran por consecuencia en un sistema binario, en el cual una de sus componentes es un agujero negro que irradia energía

La partícula que escapa lleva consigo parte de la energía gravitacional del agujero, y es esa energía liberada la que produce radiación. Una de las consecuencias más importantes de este fenómeno es que la luz emitida cerca de un objeto masivo se enrojece (pierde energía). Esta interpretación dice que un agujero negro no radia energía sino que deforma la energía del vacío cuántico.



El Agujero Negro en sus cercanías tiene potentes campos

## *Agujeros Negros y Relatividad*

La relatividad nos explica que tenemos una cuarta dimensión del tiempo. El universo está constituido no solo por un vasto espacio sino también por el tiempo quedando de esta manera el conocido espacio-tiempo.



Cuadrícula espacio-tiempo deformada por los cuerpo con masa y cuanto mayor es esta mayor es el efecto de deformación en la

Este último es una de las preocupaciones sobre el tiempo sobre todo por medirlo durante todas las eras desde que la humanidad empezó a tener el poder de razonar. Gracias a este concepto Einstein dedujo que podemos percatarnos de que la gravedad tiene un alcance más grande de lo que imaginamos.



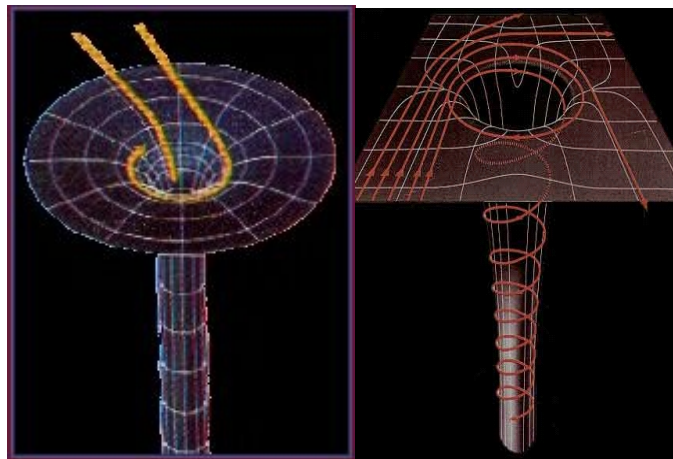
En las cercanías de un Agujero Negro.

Esto fue comprobado al estudiar un rayo luminoso proveniente de una estrella durante un eclipse. Einstein calculo que un rayo luminoso debe desviarse un ángulo de 1.75 segundos de arco al pasar cerca de nuestro sol. Esta observación fue realizada por el astrofísico ingles A. S. Eddington al término de la primera Guerra Mundial, confirmando la predicción de Einstein.

El espacio -tiempo lo podemos imaginar como una cobija con cuadros y en esta cobija que esta bien estirada ponemos una bola de plomo. Lo primero que vamos a detectar es que se dobla esta en las cercanías de donde reposa la bola.

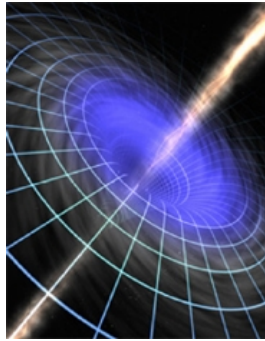
Así, pues, obtenemos que el espacio-tiempo es curvo gracias a que el peso de los cuerpo pesados en el universo como el sol deforma la cuadrícula, si estuviera totalmente plano por la ausencia de masa se obtiene un espacio-tiempo de Minkowski.

La gravedad no es ya una fuerza que actúa a distancia, sino la curvatura que produce en el espacio-tiempo la presencia de materia. Por lógica, deducimos que si la bola es mucho más pesada puede llegar a romper la cobija en donde la hemos puesto.



En estas imágenes podemos apreciar que todo lo que esta cercano al objeto es devorado por el mismo como la luz que aun con su gran velocidad (barrera fundamental del cosmos en nuestras teorías actuales) no puede escapar

Esto sucede con los agujeros negros ya que en su singularidad la gravitación sería "infinita". El libro "Tras los secretos del Universo" de Rafael Andrés A. B. Berenguer describe a los agujeros de esta forma: "En sus cercanías la atracción gravitatoria disminuye un tanto, aunque de todos modos sigue siendo suficiente para retener incluso los rayos de luz que pasan a una cierta distancia. Como un túmulo terrorífico, la contracción infinita de la estrella se ve rodeada por un tenebroso halo de penumbra". Nótese que lo que hasta aquí hemos hecho es literatura para poder explicarlo. Lo serio esta en las ecuaciones.

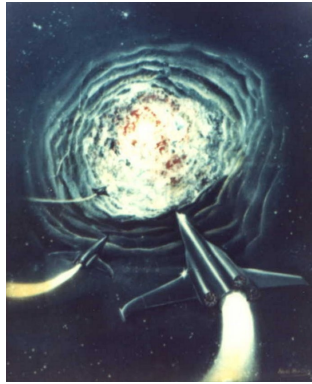


En la imagen podemos observar un agujero negro el cual puede ser explicado mejor matemáticamente que

En el campo de la literatura y con respecto de este libro "El mundo de las estrellas" nos dice lo siguiente: "Cuando en una conferencia sobre temas astronómicos se habla sobre los problemas esenciales del Cosmos, en el turno de coloquio surge el curioso no iniciado sobre otros teóricamente mas sugestivos, como la expansión del universo, el big-bang o hasta la pluralidad de mundos habitados. Ya la explicación al profano sobre lo que es realmente un agujero negro se hace particularmente difícil por el hecho de que no se lo puede describir con palabras de uso habitual o términos inteligibles por personas cultas, pero no versadas en temas de física cuantica y relativistica.

En realidad, la naturaleza de un agujero negro puede ser formulada matemáticamente mas que <<explicada>>, y se presta por otra parte a especulaciones que, aunque basadas en fundamentos estrictamente científicos, pueden conducir a linderos cercanos a la ciencia ficción" Pero en si el agujero

negro se forma cuando el colapso de un cuerpo va mas allá de un dado limite, es decir, cuando rebasa una densidad de  $10^{15}$  g/cm<sup>3</sup> una vez que tenemos este podemos afirmar que si colocamos un reloj cerca del agujero negro y un observador lejano lo ve, el tiempo que indica el reloj es cada vez mas lentamente sobre la superficie de la esfera masiva.



Los agujeros  
negros tienden a  
ser temas cercanos  
a la ciencia ficción.

Por esto mismo algunos astrofísicos propusieron, en un principio, llamar a estos cuerpos "estrellas congeladas"; pero el nombre de agujero negro prevaleció (por John A. Wheeler). Si por ejemplo mandáramos a un astronauta a la constelación del Cisne con dirección a Cygnus X-1 (que es el candidato mas firme) notaríamos que cada vez que este se acerca se va estirando y estirando hasta que llega a la singularidad en la que nota que su peso es gigantesco y en esta debe ser teóricamente despedazado pero antes de eso podría ver como el universo va mucho mas rápido mientras que el que se quedo en la nave ve que este se acerca cada vez mas lento a la singularidad sin llegar nunca quedando paralizado en el radio de Schwarzschild.



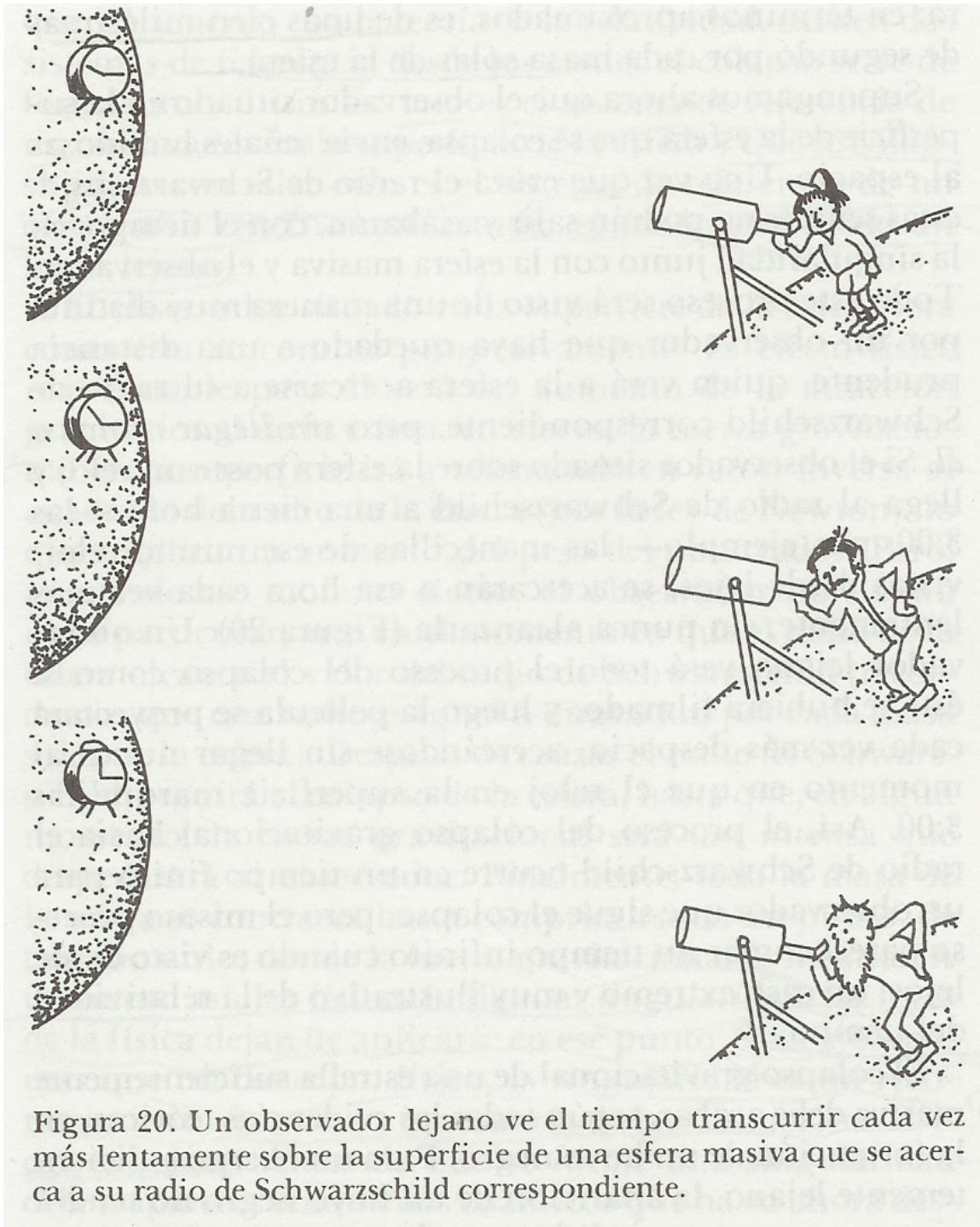


Figura 20. Un observador lejano ve el tiempo transcurrir cada vez más lentamente sobre la superficie de una esfera masiva que se acerca a su radio de Schwarzschild correspondiente.

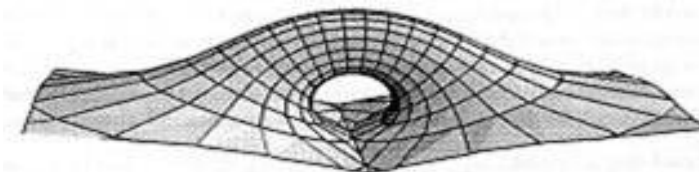




Un observador suicida que se acercara al agujero negro vería más rápidamente el transcurrir del tiempo (Además sentiría un gran jalón en primera desde los pies ya que la gravedad es tan grande en el agujero y un observador lejano vería

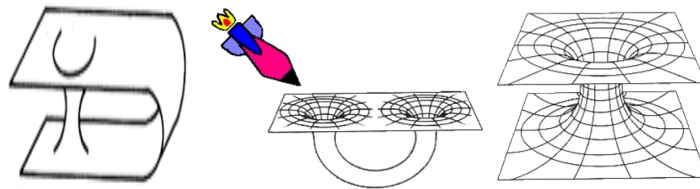
Para el viajero en la nave o sea el observador, el tiempo para que su compañero suicida alcance el radio de Schwarzschild es infinito mientras que para el astronauta que fue tragado el tiempo en atravesar el horizonte de sucesos es finito.

Otras variaciones de agujeros negros afirman que es posible poder viajar a través de ellos y salir en otro lugar sin tocar la peligrosa singularidad, el tema de los viajes en el tiempo se volvió respetable desde que un famoso y respetado físico, Kip Thorne, ayudo a su amigo, el divulgador y astrónomo Carl Sagan, a idear un mecanismo para viajar al centro de la galaxia para una novela que estaba escribiendo Sagan y Kip Thorne descubrieron que la teoría general de la relatividad de Einstein permitiría viajar a cualquier distancia en muy poco tiempo si uno pudiera construir un "agujero de gusano"

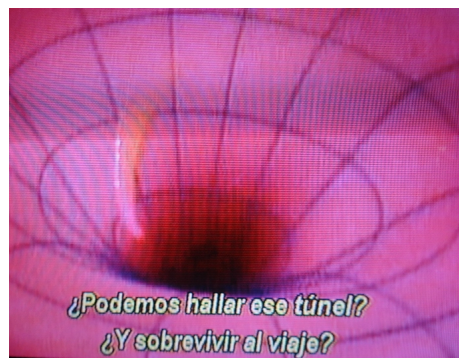


Tanto la figura de la página anterior como las tres figuras de abajo son puentes producidos por la inmensa gravedad del objeto colapsado mejor conocido como Agujero Negro, estos puentes se les llama Agujeros de Gusano. Se piensa que podemos salir en otro universo, en otra dimensión en otro tiempo o

El agujero de gusano es una especie de atajo a través del espacio, que puede conectar dos regiones muy alejadas una de otra por un pasadizo muy corto. Con un agujero de gusano, los personajes de Sagan podían ir al centro de la galaxia (la luz tardaría 30 mil años en llegar!) y regresar, no solo en poco tiempo, sino en el mismo instante en que partieran. Y es que Thorne descubrió que un agujero de gusano también permitiría viajar al pasado.



Estas variaciones de agujeros negros permiten que viajemos a una determinada velocidad tomando un atajo, este atajo se podría determinar como doblar la cuadrícula tiempo como se dobla una hoja y en ese dobles con un lápiz encajado agujerando la misma. Otros aseguran que podríamos viajar a otros universos o a otros tiempos así como otras "dimensiones".

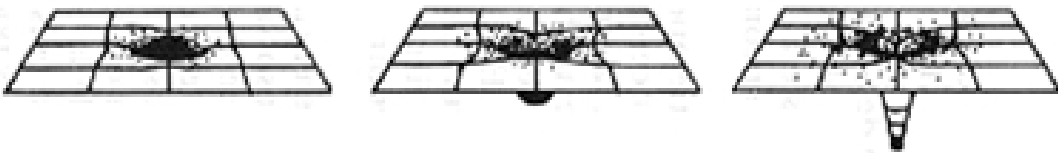


Se ha predicho que las estrellas no son esferas perfectas: rotan, lo cual produce un achatamiento de los polos, y poseen una estructura interna bastante complicada. A medida que una estrella se colapsa, pasa por las fases de enana blanca y estrella de neutrones, cuerpo con intensos campos magnéticos e irregularidades en sus superficies -montañas y grietas-

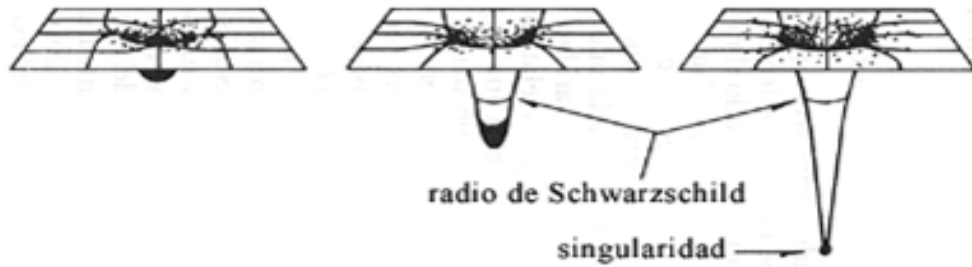
Así sería de esperar que un agujero negro posea una estructura muy compleja heredada de las irregularidades de la estrella original pero análogamente, la solución de Kerr-Newman con tres parámetros -masa, momento angular y carga- debería ser solo una primera aproximación a lo que es un verdadero agujero negro. Un agujero negro que se forme aislado en el espacio debe tender a una situación de equilibrio que ya no cambie con el tiempo. Así, a diferencia de un planeta o una estrella, un agujero negro tiene una estructura extremadamente simple.

En cierto sentido recuerda a una partícula elemental que no posee estructura interna y esta determinada por un número restringido de parámetros, entre los que se encuentra justamente la masa, la carga y el momento angular (o espín). John A Wheeler ha descrito la simplicidad de los agujeros negros en palabras pintorescas: "Los agujeros negros no tienen pelos", entendiéndose por "pelo" cualquier parámetro necesario para describirlo que no sea la masa, la carga o el momento angular.

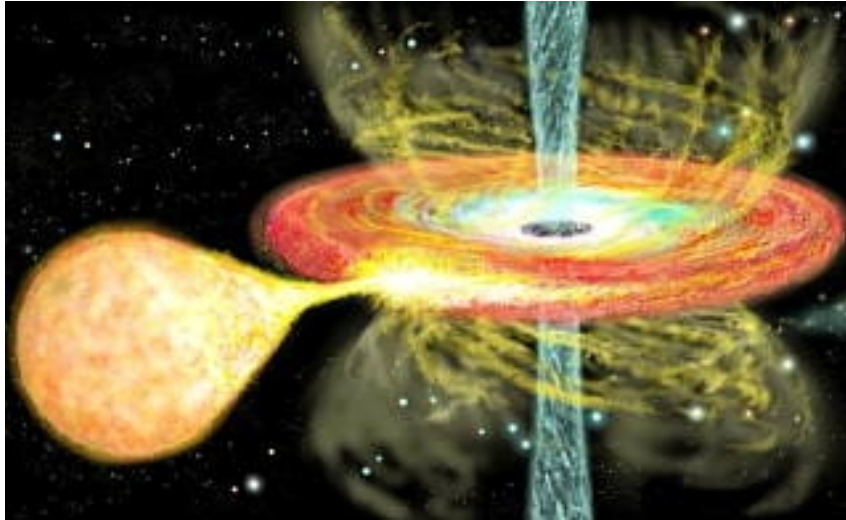
Estos no heredan nada de las estrellas anteriores que fueron. Ahora entendemos que la fuerza de gravedad deforma el espacio-tiempo, tanto más cuanto más cerca se este de un objeto denso. Al contraerse un cuerpo de una determinada masa, el espacio tiempo se deforma progresivamente hasta llegar a un tamaño crítico, llamado el radio de Schwarzschild en donde se cierra completamente, aislándolo del resto del universo.



***Ahora entendemos que la fuerza de gravedad deforma el espacio tiempo, tanto más cuanto más cerca se este de un objeto denso.***



Se descubrió que si el Sol pudiera comprimirse por una fuerza exterior hasta tener 3 Km. de diámetro (unas 500 mil veces menos que el actual) y con densidades tan importantes en el corazón estelar este se comprime sin límite hasta un estado en el que el volumen es cero y su densidad infinita. Aquí es donde se encuentra el mayor misterio y donde las leyes de la física normales parecen dejar de funcionar. La Tierra sería de 3 mm para poder convertirse en un agujero negro.



Podemos apreciar en la figura central que es expulsado un jet (color verde) y devora a su compañera que por su color indicaría que es una estrella como nuestro sol, estas estrellas llegan a vivir mas tiempo

*Y se hicieron los Jets...*

## **Los Jets en la Investigación.**

En cuanto a los Jets podemos decir que son parte de la investigación de Sergio Mendoza. Estos fueron observado en 1918 por Curtís y este fue observado en M87. En sus palabras dijo "Un curioso Jet rectilíneo aparentemente conectado con el núcleo de la galaxia".

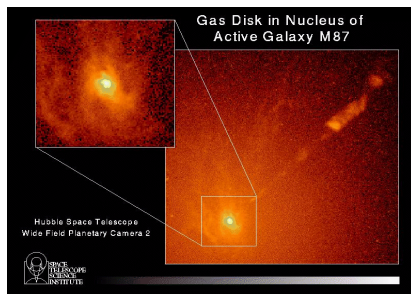
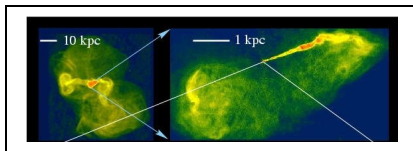
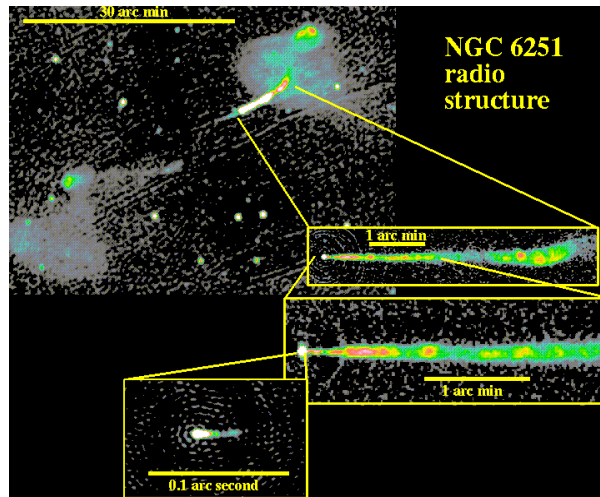


Imagen de M87 en el cúmulo de Virgo. En los recuadros de arriba podemos observar los Jets.

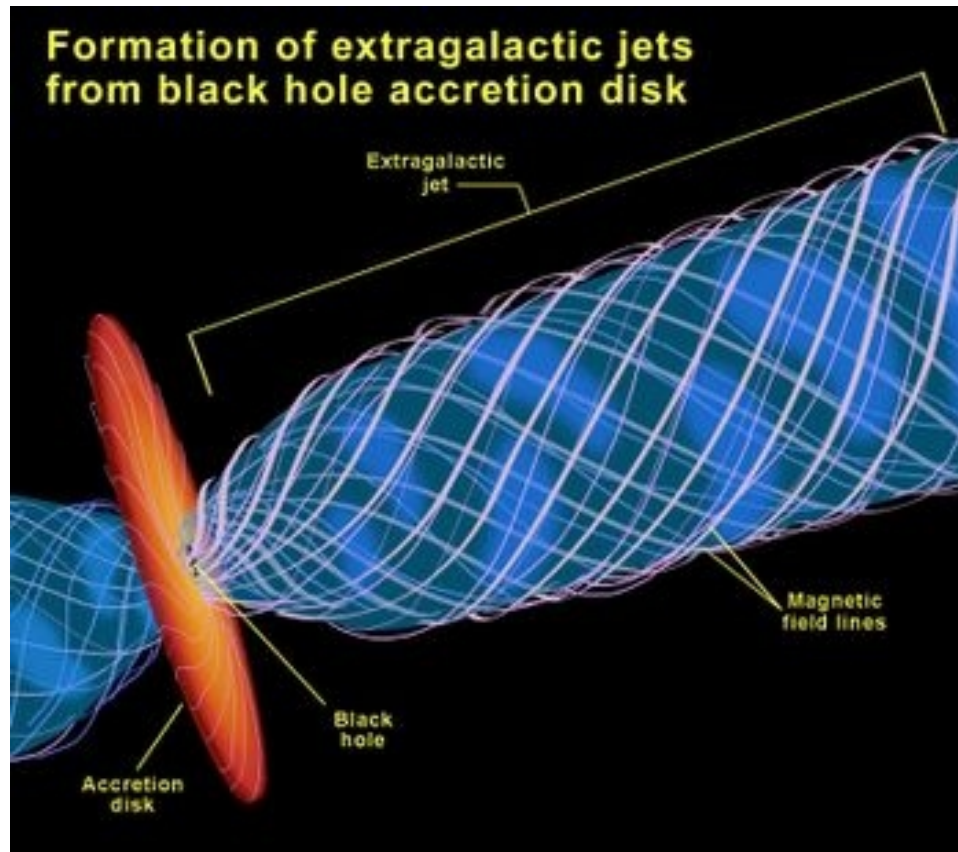
En la imagen de abajo podemos observar la parte central del objeto (En esta en el recuadro pequeño podemos apreciar el núcleo y disco central de gas). En la parte superior derecha de la hoja podemos

En 1964 Novikov y Zeldovich descubrieron que un núcleo activo de galaxia (los objetos más energéticos del universo) estaba comprimido en un área comparada a la del sistema solar, es decir, que esta es un área pequeña.



Observación de  
Jets en NGC  
6251

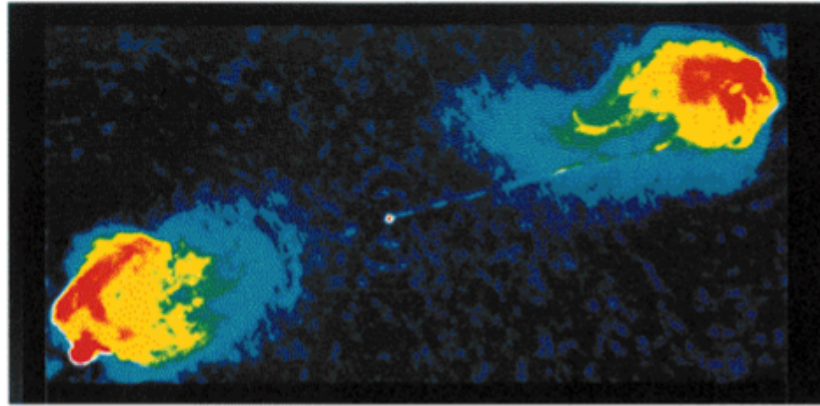
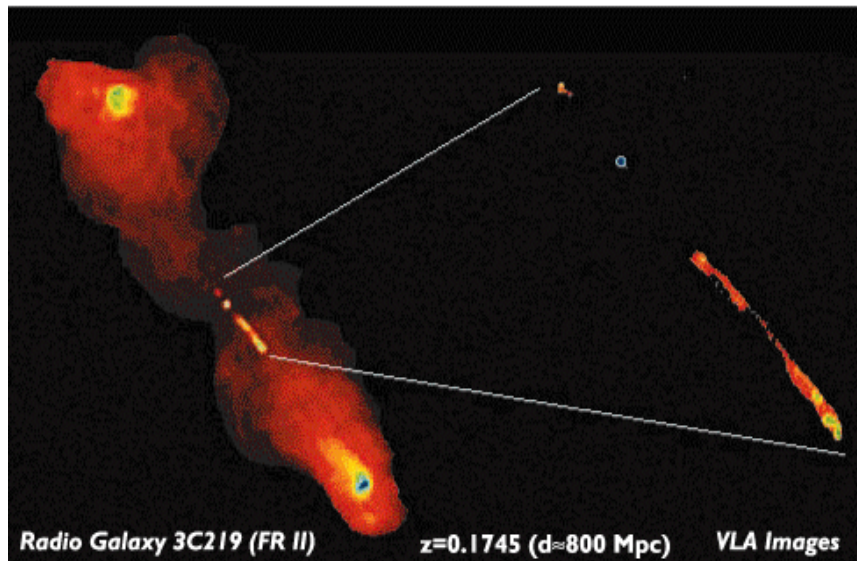
Diversas observaciones en radio en los 1970's mostraron que ciertas galaxias poseían Jets conectados con el núcleo de la galaxia. Realmente no se sabe que produce estas colosales explosiones pero se piensa que la formación de Jets es debido al torcimiento de líneas del campo magnética amarradas al disco de acreción y de esto obtenemos que la forma mas convincente para extraer energía del agujero negro seria por medio de la extracción de energía rotacional del agujero por medio de campos magnéticos (Proceso Blandford-Zna jek).



Partes de un

En los cuásares podemos observar efectos súper lumínicos (llamados así porque se mueven a velocidades aparentemente mayores que la luz) sin embargo es un efecto óptico. Esta predicción fue hecha por Martín Rees. Otros objetos conocidos como Herbig-Haro fueron observados por Guillermo Haro e independientemente por Herbig en 1951.



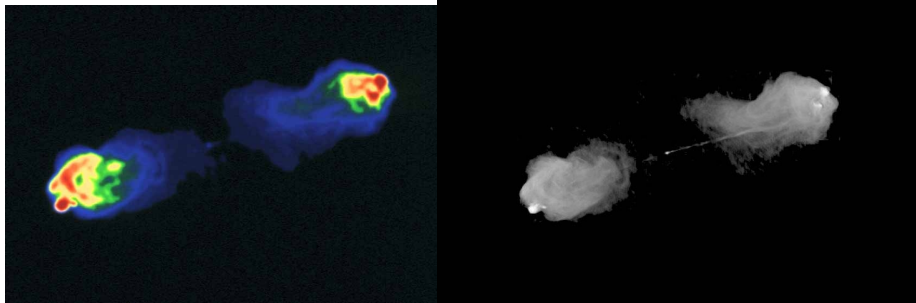
**Radio Image of Cygnus-A (FR-II)** $z=0.056$  ( $d \approx 300$  Mpc)5 GHz image ;  $\varnothing$  200 kpc**Radio Image of 3C219 (FR-II)**

1.4+1.6 GHz combined image at 1.4 arcsec resolution

8 GHz image of jets at 0.1 arcsec resolution

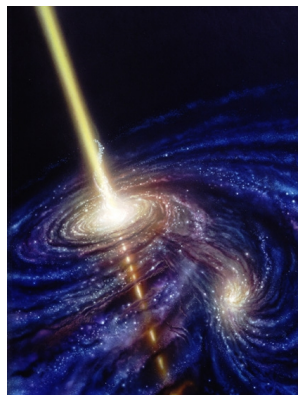
En donde la maquinaria es una estrella recién formada y por ultimo de esto la comunidad científica piensa que debe de existir un modelo unificado para los Jets. Al menos la hipótesis no ha sido violada al pensar que los micro cuásares son versiones pequeñas de los cuásares (a pesar de una diferencia en tamaños de 6 ordenes de magnitud) y seguramente los siguientes pasos se harán con modelos unificados de la

dinámica de gases y los campos magnéticos que están atados a la dinámica del gas circundante.



Observación de una radio galaxia: Cygnus A.  
En la imagen roja podemos observar el objeto  
3C 210

En el objeto Herbig - Haro (H-H) podemos detectar jets. Estos objetos no son relativistas, tampoco son agujeros negros, estos son estrellas recién formadas y los chorros de energía que lanzan son de unos cuantos años luz (jets) mientras que para los cuásares estos chorros alcanzan millones de años luz y los micro cuásares también alcanza unos cuantos años luz.

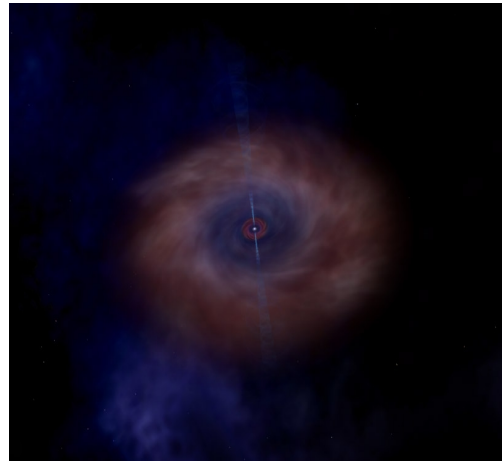


El Collapsar (se pronuncia Colapsar) se forma de estrellas del tipo Wolf-Rayets y los chorros de energía cargados de rayos que se disparan hasta unas cuantas horas luz. Tanto el cuasar como los micro cuásares y los collapsares son relativistas. Los agujeros

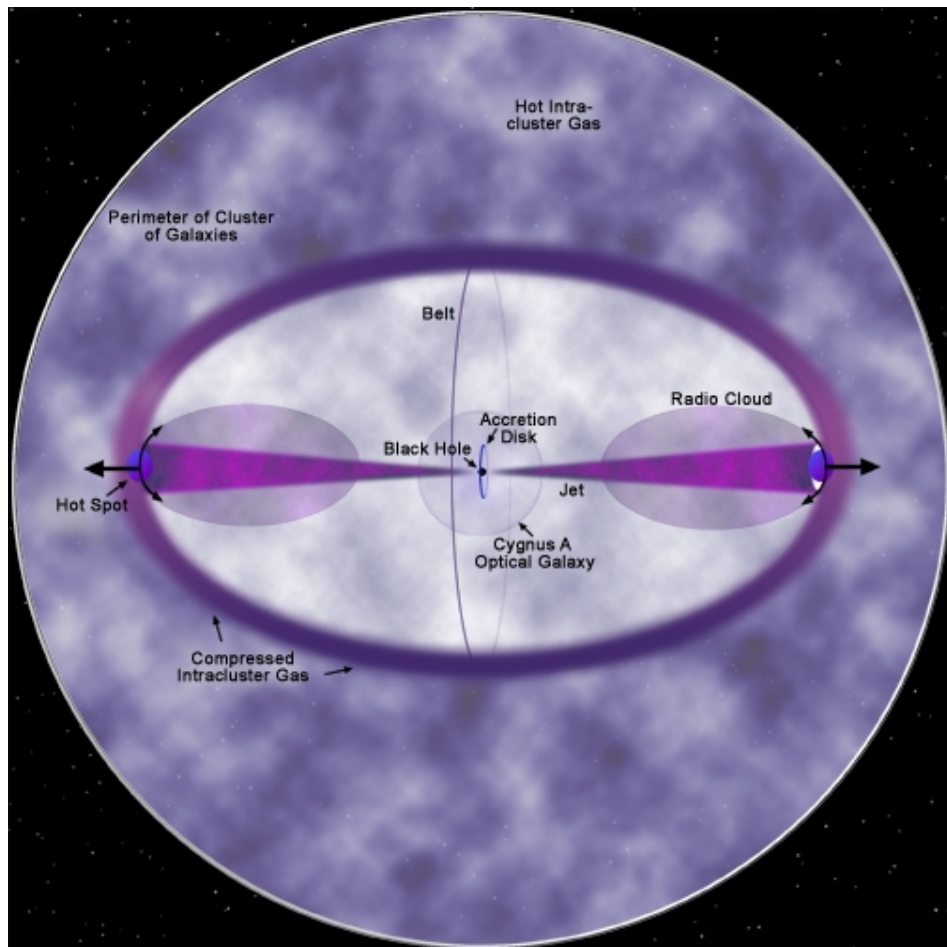
negros en estas estrellas son formados en el orden de  $10^5$  s a partir de la estrella de neutrones que se tenía.

En lugar de explotar (para estrellas de menor tamaño), ahora tenemos que si las estrellas son demasiado masivas en lugar de una explosión se produce una implosión en donde el núcleo implota y la masa exterior es eyectado de la estrella. Esto sucede porque ya no se generan reacciones nucleares y la estrella colapsa hasta el punto en que revienta.

También es interesante saber que las explosiones de rayos gamma, también conocidas como GRBs (Gamma Ray Bursts) son las explosiones más potentes que tienen lugar en el Universo. Se diferencian dos tipos: de larga y corta duración. Investigaciones en años anteriores mostraban que los flashes de larga duración estaban asociados con la explosión final de estrellas muy masivas (hipernovas). Observaciones del brillo remanente de dos explosiones breves realizada por diferentes equipos, proporcionaron la primera evidencia de que esta clase de objetos se originan probablemente en la colisión de cuerpos compactos, bien estrellas de neutrones o agujeros negros.

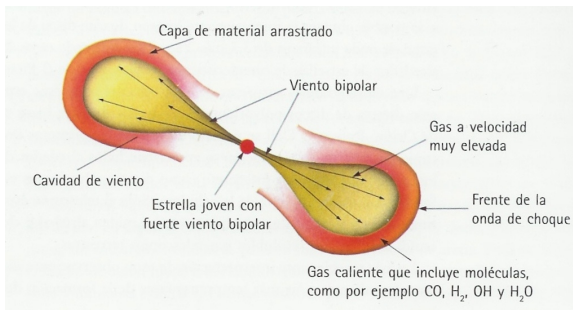


Imágenes artísticas de agujeros negros en donde una de las componentes es un agujero negro que emite energía porque absorbe el material de la



## Algunas Confusiones

Un modelo del flujo bipolar de una estrella en formación. El flujo es supersónico y comprime el gas circundante. Estos flujos se detectan por las líneas de emisión milimétricas de las moléculas calentadas. También se observa, por medio de sus líneas de emisión en el infrarrojo, la presencia de hidrógeno molecular en estos flujos. lo que indica que el fluido



Cuando vemos el tema de agujeros negros pueden surgir algunas confusiones respecto a los jets y a los discos de acreción relacionados con los mismos. Estas dos cosas pueden estar también en estrellas recién formadas como ya se dijo con anterioridad en los objetos



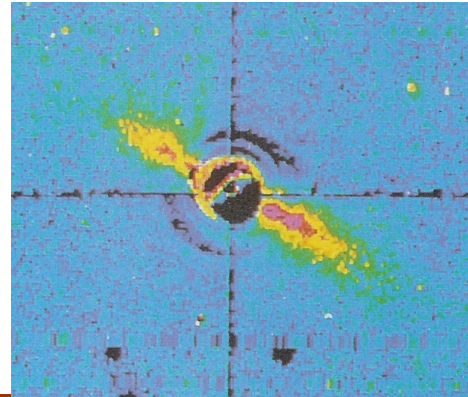
La estrella joven y de gran masa η-Carinae, en una imagen obtenida por el telescopio espacial Hubble. Esta estrella parece haber alimentado unos grandes lóbulos que tienen reminiscencia de los flujos bipolares que se observan en

Herbig-Haro la protoestrella no sólo crea un eje preferencial para la expulsión de material, sino que además define un plano perpendicular al eje de rotación, en el que puede formarse un disco rotante de polvo y gas. La rotación puede evitar el colapso de



la nube hacia el eje de giro, pero no impide que se contraiga en la dirección paralela a este y forme un disco. Hay evidencia de la presencia de un disco de estas características alrededor del eje del flujo bipolar de LI55I. La radiación térmica del polvo de tales discos ha sido también detectada en la banda espectral submilimétrica.

Ha sido convincente también la evidencia presentada por las observaciones del satélite IRAS. En el caso de la brillante estrella  $\beta$ -Pictoris, el disco tiene un tamaño varias veces nuestro sistema solar. Enmascarando la emisión de la propia estrella ha sido posible obtener la impresionante imagen de este disco, tomada a la longitud de onda infrarroja. Ya se han detectado otros discos de polvo parecidos a este alrededor de estrellas de características similares a las de  $\beta$ -Pictoris. Una de las grandes sorpresas del proyecto del telescopio espacial Hubble ha sido la detección directa de discos de polvo en estrellas de poca masa en las cercanías de la nebulosa de Orión.



Una imagen del disco de polvo presente en torno a la brillante estrella  $\beta$ -Pictoris, observado a una longitud de onda de 3.5mm por Bradford Smith y Richard Terrile en el observatorio de Las Campanas, en Chile. La estrella es tan brillante que ha tenido que ser ocultada por medio de una

Robert O'Dell se percató de que en las primeras imágenes obtenidas con el telescopio después de su reparación se apreciaban halos alrededor de algunas estrellas de la nebulosa y los interpreto como discos de polvo cuyas siluetas destacan sobre el fondo de emisión brillante de la nebulosa. Solo el telescopio espacial Hubble podría haber distinguido la presencia de estos halos, ya que emiten alrededor del segundo de arco y son, por tanto, difícilmente resolubles por telescopios terrestres. La más emocionante interpretación de estas observaciones es que se trata de discos de polvo correspondientes a las más tempranas fases de la formación de sistemas planetarios en estrellas jóvenes. Hay cierto parecido entre este proceso y lo que ocurre en los discos de acreción, los cuales son importantes en el estudio de fuentes binarias de

rayos X y de los núcleos activos de galaxias. Se puede demostrar que, por ejemplo, en una nube de simetría esférica, las regiones centrales son las que primero sufren el colapso, formando un núcleo de alta densidad. El resto de la materia de la nube comenzara entonces a precipitarse hacia ese núcleo de protoestrella aumentando su masa. Este estadio es el que se conoce como la fase de la caída de materia hacia el núcleo. La energía que se produce en esta fase es la cinética que procede de la caída de material hacia el núcleo. La energía liberada por la materia al llegar al núcleo es expulsada por el proceso de reemisión en la banda del infrarrojo lejano de la emisión de luz visible y ultravioleta absorbida por el polvo. Simultáneamente comienza la formación de un disco perpendicular al eje de rotación que se dirige hacia el exterior a lo largo del eje de rotación, dando lugar a los flujos bipolares característicos de la protoestrella y estrellas jóvenes.

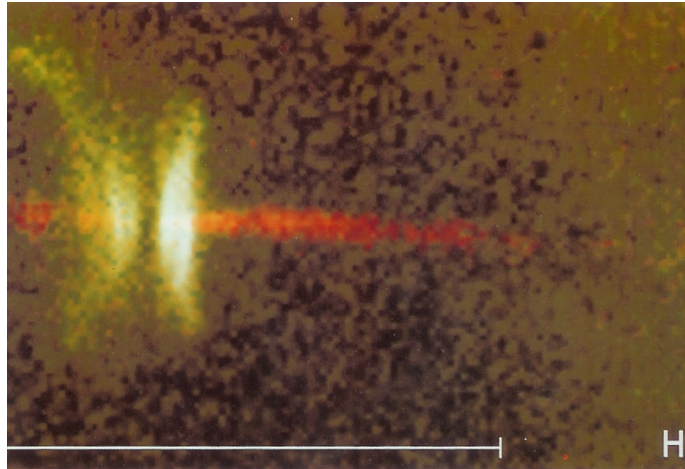


Imagen del objeto protoestelar HH30 tomada con el telescopio espacial Hubble por Chris Burrows y sus colaboradores. El disco de acreción aparece de la protoestrella misma. El chorro rojizo es expelido a una velocidad de 250km/s. La escala representa una distancia

Al proseguir la acreción, aumenta la masa y la temperatura central hasta que son suficientemente altas para proporcionar y mantener la combustión del hidrogeno en el núcleo de la protoestrella. Comienza así la vida de la estrella en la secuencia principal y cesa la acreción de materia quedando alrededor del disco frío de gas y polvo que podrá transformarse en un sistema planetario. Por tanto, hay que incorporar a esta teoría de formación estelar el hecho de que el colapso del gas ha de favorecer la formación de sistemas binarios.



La fase de eyección de chorros de material en sentido perpendicular al disco de acreción se ha visto en una de las imágenes más notables del telescopio espacial Hubble. Chris Burrows y sus compañeros obtuvieron una imagen del objeto protoestrellas HH30 en la que se aprecia un disco de acreción de una estrella embrionaria visto de canto. Nuestro ángulo de visión hace que la estrella misma esta oculta tras el disco mientras ilumina las zonas interiores, probablemente la misma protoestrella. La observación continuada de este objeto a lo largo de un año ha demostrado que el material del chorro se aleja de la protoestrella a una cierta velocidad.



Los agujeros negros no son tan negros como lo predice la teoría puesto que radian a la manera de Zeldovich-Hawking. Acretan gas de su alrededor el cual se calienta y emite radiación electromagnética.

Los agujeros negros son los objetos macroscópicos más sencillos del universo. Están descritos por su masa, carga y rotación.



Recreación artística de un planeta que pertenece a un sistema binario en donde una de las componentes es un agujero negro.

Hemos visto a lo largo de esto que la astrofísica es una ciencia que se ha logrado desde el pasado en un tiempo largo. De esta forma hemos podido investigar otros fenómenos como la implosión en los núcleos de estrellas moribundas o la maquinaria

de los agujeros negros que impulsan a los jets. En este campo todavía hay trabajo que va para largo y al cual todavía faltan sin fin de descubrimientos por hacer.

Aun no comprendemos la naturaleza del todo y en nuestro intento de hacerlo navegamos por las estrellas de un océano cósmico con un sin fin de objetos sorprendentes los cuales quizás muchos aun estén en espera de ser descubiertos...



o permutaría lo que a lo largo de las cinco semanas he podido observar: el quehacer de los científicos en el ámbito de la astrofísica en el Instituto de Astronomía.



Entrada al Instituto de Astronomía, en la parte superior derecha de la imagen podemos ver entre los árboles la cúpula de un pequeño telescopio.

Lo que me gusta más fue que gracias a esto muchas de las dudas que tenía fueron aclaradas. Después de una semana de estar con el investigador tuvimos la oportunidad de ir al observatorio de Tonanzintla y conocer la historia del

Instituto desde Chapultepec a Tacubaya y de allí a su sitio actual del que se desprenden dos organizaciones más: Tonanzintla en Puebla y en Baja California en la Sierra de San Pedro Mártir.



Gracias al telescopio que se encuentra en Tonanzintla, México tuvo la oportunidad de abrirse camino entre los demás países para situarse entre los mejores astrónomos del mundo. Pero lo único malo en este viaje es que no tuvimos la oportunidad de tener un cielo despejado para poder hacer observaciones. Sin embargo, tuvimos la excelente oportunidad de observar un cielo despejado a las 4 de la mañana el último día que me encontré en ese lugar.

Telescopio de San Pedro Mártir



A esas horas pudimos reconocer que ciertos puntos que se movían en el cielo eran satélites que en muchas ocasiones causan una raya en las observaciones con telescopio de larga exposición. Además tuve la oportunidad de ver luciérnagas y escuchar un búho a esas horas (Fue increíble porque en la localidad donde vivo ambas cosas están algo fuera de lo común porque es pura ciudad).

Telescopio Solar en Tonanzintla, Puebla.



Sin embargo en el tiempo en que nos encontramos allí también vimos el telescopio "Carta del Cielo" el cual es histórico sobre todo por su construcción en la cual las piezas del mismo venían en mal estado pero por el ingenio de México se pudo terminar y con esto nuestro país se unió al esfuerzo de los demás por realizar mejor observaciones como ya antes lo mencione.



En esta imagen podemos apreciar la parte exterior en donde se tiene muy bien conservado el telescopio "Carta del Cielo" en donde tuvimos oportunidad de estar.

En la imagen podemos observar que fueron días nublados la foto fue tomada junto al telescopio de un metro.



En las imágenes podemos observar claramente el telescopio de un metro con la cúpula abierta y en la imagen de la izquierda notamos que un avión acababa de pasar por la raya que dejó.

Otro de los atractivos en Tonanzintla fue Cholula. En verdad la historia que el guía nos contaba sobre lo que había ocurrido me pareció bastante agradable e interesante. La parte que más me gustó fue saber que las pirámides en general tienen esa estructura dada en todo el mundo porque lo que se intentaba con ellas era llegar al cielo, a las estrellas cada vez más cerca de sus dioses. No solo se

conquistó que me acercara mas a la astrofísica si no también a la historia y a nuestros raíces.



En la foto podemos notar que el cerro es artificial, el cerro esta construido sobre la segunda pirámide construida



En esta otra al salir de los túneles que son uno de los mayores atractivos podemos ver que estamos ya en si en la parte de debajo de la pirámide. Al fondo se distingue la mujer dormida



Podemos ver una Iglesia al fondo que fue construida en la época en que México estuvo conquistado por España. Esta Iglesia fue construida sobre la piramidal que en ese entonces los españoles no sabían que era en realidad una pirámide.



En esta otra foto notamos que en el centro hay un objeto en forma de lapida, realmente se piensa que aquí era el trono real y en este centro al estar junto a el podíamos escuchar como se ampliaba el ruido desde una palmada hasta cohetes que tiraba a lo lejos en ese momento en que estábamos allí



Ya empezaba a nublarse en Cholula, al fondo se ve la Iglesia y en la parte de abajo notamos lo enorme de la pirámide.



Visitamos una de las Iglesias mas famosas de Tonanzintla y con mas historia en la cual pudimos observar sin fin de figuras que los expertos han catalogado de distintas maneras y les han dado distintos significados, hasta existen escritores que han quedado cautivados con esta Iglesia. Lo que mas llama la atención es la tapicería de figuras, se dice que estas fueron construidas por lo habitantes originales del lugar. Lo que mas me gusto fueron los ángeles de fuego que en ambas fotos de abajo se distinguen con sus alitas amba de los santos principales.

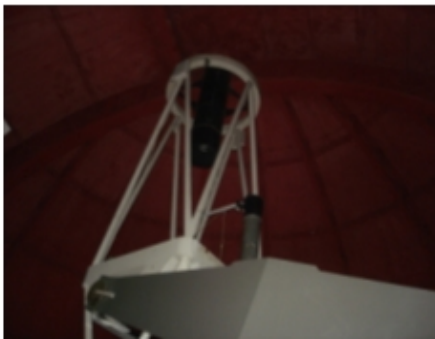
Volviendo al Instituto tuvimos la oportunidad (mi compañera Ize y yo) de ver los cuadernos del Investigador en el cual se encontraban sus investigaciones y sus razonamientos matemáticos. ¡Hubieran visto la cantidad de formulas que había en ellos! Entre otras cosas también pude conocer al equipo de computación del Instituto.



Hacia el Instituto

Otras de las cosas que tuvimos oportunidad de ver fueron las conferencias que se celebran ciertos días en los cuales los investigadores se reúnen para poder ver sus avances en sus áreas respectivas. Estas contaban con la duración de una hora y fueron bastante interesantes tanto, tanto que no me quería separar del asiento en donde me encontraba. Fueron unas vacaciones placenteras. Agradezco la oportunidad que tuve mediante el programa de Jóvenes Hacia la Investigación de ir al Instituto de Astronomía. No cambiaría ninguna de las experiencias que tuve allí por nada de este mundo.

Quiero terminar agradeciendo al programa así como al Doctor Sergio Mendoza por haberme brindado su tiempo en medio de lo que aprendí. Al Investigador le agradezco por haberme apoyado en el trabajo.



¡Telescopio de un metro en todo su esplendor!

*11 de Agosto del 2006.*

*Mil Gracias por todo lo que tuve oportunidad de Aprender y que nunca olvidaré.*



## Bibliografía

Para realizar este trabajo fue necesario de libros de las cuales seleccionamos por su importancia y de ellas extrajimos varios datos necesarios para esta obra:

### **Libro:**

- I. La evolución de nuestro Universo, Malcolm S. Longair, Ed Cambridge University Press; Primera edición 1998
- II. Los hoyos negros y la curvatura del espacio-tiempo, Snahen Hacyan, Ed Fondo de Cultura económica, Primera edición 1988.
- III. Historia del Tiempo: Del big bang a los agujeros negros, Stephen Hawking, Ed Grijalbo; Primera edición 1988
- IV. Tras los secretos del Universo, Rafael Alemañ Berenguer, Editorial Equipo Sirius, Primera edición 2001
- V. Agujeros Negros, Jorge Ruiz Morales, Equipo Sirius
- VI. Guía de Astronomía, Juan José Espinosa Rivera, Colegio de Física, escuela Nacional Preparatoria, Universidad Nacional Autónoma de México.
- VII. Introducción a la Astrofísica, Sergio Mendoza Ramos.



**enbroma**

Por Sidney Harris

