

disco ahogado – choked disk

Authored by
memjavad

November 15, 2025

RECOMMENDED CITATION

memjavad (2025). *disco ahogado – choked disk*. Spanish Psychological Databases.
Retrieved from <https://spanish.arabpsychology.com/?p=4520>

Disco Estrangulado (Choked Disk)

Campo(s) Disciplinario(s) Primario(s): Astrofísica, Dinámica de Fluidos Teórica

1. Definición Central

El concepto de **disco estrangulado** (*choked disk*) describe un estado físico crítico dentro de la dinámica de los [discos de acreción](#), donde el flujo de masa hacia el objeto central (generalmente una estrella de neutrones, un agujero negro o una enana blanca) se encuentra limitado o regulado por un proceso físico que actúa como un cuello de botella. Este estrangulamiento no implica una detención completa del flujo, sino una restricción significativa de la tasa de acreción (\dot{M}), impidiendo que alcance el valor potencial máximo dictado por el suministro de masa desde el compañero binario o la nube circundante. La importancia de este fenómeno radica en su capacidad para explicar las variaciones de luminosidad y las transiciones de estado observadas en sistemas binarios compactos, como las [novas enanas](#) y las binarias de rayos X.

Formalmente, el estrangulamiento ocurre cuando la viscosidad o la opacidad del plasma dentro del disco, especialmente cerca del radio interior crítico, cambia abruptamente, creando una barrera efectiva para el transporte radial de momento angular y, consecuentemente, de masa. En la mayoría de los modelos astrofísicos, este estado está intrínsecamente ligado a la **inestabilidad térmica** del gas, donde pequeñas fluctuaciones en la temperatura pueden llevar a cambios drásticos en la ionización y, por ende, en la eficiencia de los mecanismos de viscosidad (como la inestabilidad magnetorrotacional, o MRI). Cuando el disco entra en un régimen de baja viscosidad y baja ionización (el estado "frío"), la tasa de acreción se reduce drásticamente, lo que se conoce como el estado estrangulado o el estado de reposo (*quiescence*) en el contexto de los sistemas transitorios.

Es fundamental distinguir el concepto de disco estrangulado de otros límites de flujo, como el límite de Eddington. Mientras que el límite de Eddington restringe la luminosidad máxima debido a la presión de radiación saliente sobre el material acretado, el estrangulamiento se refiere a un límite impuesto por los procesos internos de transporte dentro del disco mismo. El estado estrangulado es una manifestación de la naturaleza no lineal e intrínsecamente inestable de los discos de acreción, particularmente aquellos donde la temperatura oscila entre un estado frío, dominado por el hidrógeno molecular no ionizado, y un estado caliente, completamente ionizado y altamente viscoso.

2. Contexto Astrofísico: Discos de Acreción

Los discos de acreción son estructuras omnipresentes en el universo, cruciales para el crecimiento de objetos compactos. El modelo estándar de disco de acreción (el modelo α)

de Shakura y Sunyaev) asume un transporte de momento angular eficiente a través de la viscosidad. Sin embargo, este modelo clásico no predice las variaciones extremas de luminosidad observadas en sistemas transitorios, como los estallidos (*outbursts*) de las novas enanas, que pueden aumentar su brillo en varias magnitudes en escalas de tiempo cortas. El estado de **disco estrangulado** proporciona el marco teórico necesario para entender el almacenamiento y la liberación episódica de la masa.

En los sistemas binarios compactos, el disco se forma a partir de la transferencia de masa desde una estrella compañera que desborda su lóbulo de Roche. El material se acumula en el disco exterior, pero su capacidad para moverse hacia el objeto central (acreción) depende de la eficiencia con la que pueda deshacerse de su momento angular. Si el mecanismo de viscosidad -- generalmente atribuido a la turbulencia generada por la [inestabilidad magnetorrotacional \(MRI\)](#)-- se debilita drásticamente, la masa se acumula en el disco en lugar de ser acretada. Este almacenamiento de masa es la condición previa para el estrangulamiento y la posterior inestabilidad.

El estrangulamiento es particularmente relevante en la región donde el hidrógeno comienza a ionizarse térmicamente (alrededor de $6000\text{--}10000\text{ K}$). En esta zona de ionización parcial, la opacidad y la viscosidad son funciones extremadamente sensibles de la temperatura. Cuando la temperatura cae ligeramente por debajo de este umbral, la ionización disminuye, la viscosidad cae precipitadamente, y la masa se "estanca". Este estancamiento es el sello distintivo del estado estrangulado, manteniendo el sistema en un estado de baja luminosidad hasta que la acumulación de masa en el exterior del disco dispara una transición de fase que lo devuelve al estado caliente y altamente acreedor.

3. Mecanismos de Estrangulamiento

Existen varios mecanismos físicos propuestos que pueden inducir el estado de disco estrangulado, pero el más aceptado es el asociado con la inestabilidad térmica y viscosa (DVI). Este mecanismo se basa en la forma de "S" de la curva de equilibrio térmico de un disco de acreción, que relaciona el flujo de masa con la densidad superficial. En esta curva, hay un rango de densidades superficiales donde no existe un único estado de equilibrio térmico estable, lo que conduce a transiciones de fase.

El estrangulamiento se materializa cuando el disco se encuentra en la rama inferior (fría) de la curva S. En este estado, la temperatura es demasiado baja para mantener una ionización significativa. Sin electrones libres suficientes, el plasma no puede conducir la electricidad de manera eficiente, lo que suprime la MRI. Dado que la MRI es el principal motor de la viscosidad anómala (α), su supresión reduce drásticamente el coeficiente α y, por lo tanto, la capacidad del disco para transportar momento angular. La masa que llega desde el exterior se

acumula en el disco porque no puede moverse hacia dentro a la misma velocidad que es suministrada.

Otro mecanismo, aunque menos dominante en el contexto de las novas enanas, es el estrangulamiento inducido por la presión de radiación cerca del radio interior, especialmente en sistemas que acretan a tasas muy altas (cerca del límite de Eddington). En estos casos, la presión de radiación puede inflar la parte interior del disco, limitando la entrada de material y creando una geometría de flujo diferente (como un [flujo ópticamente delgado y dominado por la advección, o ADAF](#)), lo que también puede considerarse una forma de estrangulamiento energético y geométrico, aunque el término "choked disk" se usa más comúnmente para describir la inestabilidad térmica en discos fríos.

4. El Modelo de Inestabilidad Térmica y Viscosa (DVI)

El Modelo de Inestabilidad Térmica y Viscosa (DVI, por sus siglas en inglés, Disk Instability Model) es la herramienta fundamental para describir la dinámica de los discos estrangulados y sus transiciones. Este modelo postula que el disco oscila entre dos estados estables: el estado frío (estrangulado/de reposo) y el estado caliente (de estallido). La transición entre estos estados es impulsada por la acumulación de masa y el posterior calentamiento.

Durante el estado de reposo (choked disk), la temperatura es baja, la viscosidad es mínima ($\alpha_{\text{frío}}$ o α_{caliente}), y la tasa de acreción es extremadamente baja, resultando en una luminosidad tenue. Sin embargo, el suministro constante de masa desde la estrella donante aumenta lentamente la densidad superficial (Σ) del disco. Cuando Σ alcanza un valor crítico superior (Σ_{max}), el disco se vuelve ópticamente grueso y la temperatura aumenta lo suficiente para iniciar la ionización significativa del hidrógeno. Este aumento de temperatura dispara un ciclo de retroalimentación positiva: mayor ionización implica mayor viscosidad (debido a la activación de la MRI), lo que a su vez genera más calentamiento por disipación viscosa.

Esta transición de fase no ocurre de manera uniforme en todo el disco, sino que se propaga radialmente mediante una onda de calentamiento. Esta onda viaja hacia el interior y el exterior, convirtiendo el disco frío en un disco caliente de alta viscosidad. Una vez que todo el disco ha sido calentado, la masa acumulada durante el estado estrangulado es rápidamente acretada hacia el objeto central, produciendo el estallido de luminosidad característico. A medida que esta masa se agota, la densidad superficial cae por debajo de un umbral inferior (Σ_{min}), la ionización se detiene, la viscosidad colapsa, y una onda de enfriamiento convierte el disco de nuevo en un estado estrangulado, reiniciando el ciclo.

5. Efectos Observacionales y Ejemplos

La manifestación más clara del estado de disco estrangulado se observa en la curva de luz de los sistemas variables transitorios, especialmente las novas enanas (como [SS Cygni](#)) y los sistemas binarios de rayos X de baja masa (LMXB). En el estado estrangulado, estos sistemas presentan las siguientes características observacionales clave:

Baja Luminosidad: La emisión es dominada por la estrella donante o por la parte más exterior y fría del disco, con una luminosidad que puede ser órdenes de magnitud inferior a la del estallido.

Espectro Frío: El espectro de emisión muestra líneas dominadas por gas de baja temperatura, indicando que la mayor parte de la energía se irradia en el rango óptico y ultravioleta lejano, en lugar de los rayos X duros característicos del estado caliente interior.

Acumulación de Masa: Aunque difícil de medir directamente, la duración del estado de reposo es inversamente proporcional a la tasa de transferencia de masa desde la estrella donante, lo que confirma que el tiempo de reposo es el tiempo necesario para acumular la masa crítica (Σ_{\max}) necesaria para el próximo estallido.

En el contexto de los LMXB, el estrangulamiento térmico y viscoso no solo afecta la luminosidad, sino que también impulsa las transiciones de estado espectrales. El estado estrangulado en un LMXB corresponde a la fase de baja/dura, donde la emisión de rayos X es débil y dominada por un espectro de ley de potencia (indicando una posible corona o flujo ADAF). Cuando el disco se calienta y pasa al estado de alto flujo (no estrangulado), el sistema entra en la fase de alta/suave, dominada por la emisión térmica del disco.

6. Modelos Numéricos y Simulaciones

La complejidad del modelo DVI, que involucra ecuaciones diferenciales parciales acopladas para la densidad superficial, la temperatura y la viscosidad, hace que las soluciones analíticas sean limitadas. Por lo tanto, el estudio del disco estrangulado depende en gran medida de las **simulaciones numéricas** hidrodinámicas y magnetohidrodinámicas (MHD).

Los modelos de una dimensión (1D) son cruciales para simular los ciclos de estallido. Estos modelos resuelven la evolución radial y temporal de la densidad superficial y la temperatura, permitiendo predecir la duración del estado estrangulado y la amplitud de los estallidos. Estas simulaciones han logrado reproducir con notable precisión las curvas de luz observadas de las novas enanas, validando el mecanismo de inestabilidad térmica como el motor principal del estrangulamiento y las transiciones de fase.

Sin embargo, los modelos 1D son inherentemente limitados, ya que tratan la viscosidad (α) como un parámetro libre y no resuelven la física subyacente de la MRI. Las simulaciones MHD tridimensionales (3D) han intentado abordar la cuestión de la viscosidad en los estados fríos.

Estas simulaciones han demostrado que, aunque la MRI se suprime en la capa media del disco frío (donde el gas es neutro), aún puede operar cerca de las superficies del disco (capas "activas" ionizadas por radiación externa o rayos cósmicos). Este hallazgo sugiere que el estrangulamiento puede no ser absoluto, sino que el flujo residual en el estado frío es impulsado por estas capas superficiales, manteniendo una pequeña tasa de acreción incluso en el estado de reposo.

7. Debates y Direcciones Futuras

A pesar del éxito del Modelo de Inestabilidad de Disco (DVI) para explicar el fenómeno del disco estrangulado, persisten debates significativos sobre la física precisa que rige los estados de baja viscosidad. Uno de los mayores desafíos es determinar el valor exacto del parámetro de viscosidad α en el estado frío ($\alpha_{\text{frío}}$). Las observaciones sugieren que $\alpha_{\text{frío}}$ debe ser extremadamente pequeño (quizás 10^{-3} o menos) para permitir la acumulación de masa observada durante los largos períodos de reposo, lo cual es difícil de justificar completamente solo con la supresión de la MRI.

Otro debate se centra en la influencia de la irradiación externa. En sistemas LMXB o en novae enanas de período ultracorto, la radiación del objeto central o del punto caliente en el disco puede calentar la región exterior del disco, potencialmente estabilizándolo térmicamente y previniendo el estrangulamiento. Si la irradiación es lo suficientemente fuerte, puede forzar al disco a permanecer permanentemente en el estado caliente, eliminando los ciclos de estallido y, por lo tanto, el estado estrangulado. La modelización precisa del acoplamiento entre la radiación y la dinámica de la ionización es un área activa de investigación.

Las direcciones futuras de la investigación se centran en integrar mejor los efectos magnéticos tridimensionales en los modelos de disco estrangulado. Comprender cómo los campos magnéticos pueden influir en la eficiencia de la MRI en discos parcialmente ionizados y cómo pueden generar vientos o chorros (*jets*) incluso en el estado frío es crucial. Los avances en la capacidad de observación (telescopios de rayos X y ópticos de nueva generación) y las simulaciones MHD de alta resolución prometen refinar nuestra comprensión de cómo el estrangulamiento térmico y viscoso regula la evolución y las transiciones de fase de los sistemas astrofísicos compactos.

8. Lecturas Adicionales

[Disco de acreción \(Wikipedia\)](#)

[Nova enana \(Wikipedia\)](#)

[Shakura, N. I. & Sunyaev, R. A. \(1973\). Black holes in binary systems. Observational appearance.](#)

[Lasota, J.-P. \(2001\). The disk instability model of dwarf novae and soft X-ray transients.](#)