

# Efecto de la resistividad en el vórtice de Orszag-Tang bajo el marco de la RRMHD

## CONTEXTO

En el presente trabajo se estudia el vórtice de Orszag-Tang (OT), bajo el marco de la Magnetohidrodinámica Resistiva Relativista (RRMHD; por sus siglas en inglés). Este conocido test dentro del estudio numérico de la física de plasmas tiene como propósito probar el rendimiento de simulaciones en cuanto a la evolución de flujos turbulentos [7] [9].

La turbulencia es un fenómeno que se da con gran frecuencia en sistemas astrofísicos tales como la atmósfera solar y el medio interestelar. Se caracteriza por un movimiento altamente caótico que suele generar patrones de flujo similares a vórtices a lo largo de múltiples escalas. Este comportamiento se da debido a interacciones no lineales en el sistema, que dentro del marco de la Magnetohidrodinámica (MHD) compresible, acontece en múltiples efectos de choques y disipación [4].

## MÉTODOS

El estudio del vórtice OT se llevó a cabo a partir de simulaciones numéricas con ayuda del código CUEVA [5] el cual implementa métodos numéricos específicos para el marco de la RRMHD como son los integradores temporales IMEX [8] y MIRK [2], los cuales han sido diseñados para realizar la integración numérica de los sistemas no ideales (resistividad finita) de la RRMHD. CUEVA se basa en una formulación conservativa de volúmenes finitos de las ecuaciones de la RRMHD, en la cual los flujos numéricos en las interfaces de las celdas se calculan utilizando los resolvers aproximados de Riemann LLF [1], HLL [3] o el HLLC [6]. Mientras que las técnicas de reconstrucción de las variables conservadas se utilizan esquemas de preservación de monotonía MP5, MP7 y MP9. La recuperación entre variables conservadas a variables primitivas para una ecuación de estado ideal se realiza a partir de los métodos numéricos de Cardano-Ferrari o Newton-Raphson.

## RESULTADOS

El estudio de la evolución del vórtice OT bajo el marco de la RRMHD se realizó para distintos valores de conductividad, identificando una significativa transferencia de energía entre las componentes cinética y magnética. En el límite ideal esta transferencia conserva la energía total mientras que en el régimen resistivo se encontró pérdidas en la energía total debido a la alta difusión del campo magnético. De igual forma en los últimos estadios de la simulación se reconocieron regiones X de reconexión magnética.

## CONCLUSION

En el contexto astrofísico es de interés el poder explicar las altas tasas de reconexión magnética presentes en fenómenos como los flares solares o los jets relativistas. Dentro de nuestra interpretación, al analizar el comportamiento del vórtice OT para diferentes conductividades, identificamos que este podría ser un disparador de procesos de reconexión, los cuales se hacen más evidentes para simulaciones en las cuales se utilizan bajas conductividades.

## REFERENCIAS

- [1] Alic, D., Bona, C., Bona-Casas, C., Massó, J., 2007. Efficient implementation of finite volume methods in numerical relativity. *Physical Review D* 76, 104007. doi:10.1103/PhysRevD.76.104007
- [2] Aloy, M.Á., Cordero-Carrión, I., 2016. Minimally implicit Runge-Kutta methods for Resistive Relativistic MHD. *Journal of Physics: Conference Series* 719, 012015. URL: <http://stacks.iop.org/1742-6596/719/i=1/a=012015>
- [3] Harten, A., Lax, P.D., van Leer, B., 1983. On Upstream Differencing and Godunov-Type Schemes for Hyperbolic Conservation Laws. *SIAM Review* 25, 35–61. doi:10.1137/1025002.
- [4] Kayanikhoo, F., Čemeljic, M., Wielgus, M., and Kluźniak, W., 2023. Energy distribution and substructure formation in astrophysical MHD simulations. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 527, doi:10.10151-10167.10.1093/mnras/stad3807
- [5] Miranda-Aranguren, S., Aloy, M.A., 2014. Building a numerical relativistic non-ideal magnetohydrodynamics code for astrophysical applications, Cambridge University Press. *IAUS*, 302, 64. doi:10.1017/S1743921314001732.
- [6] Miranda-Aranguren, S., Aloy, M.A., Rembiasz, T., 2018. An hllc riemann solver for resistive relativistic magnetohydrodynamics. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 476, 3837–3860. doi:10.1093/mnras/sty419.

[7] Orszag S. and Tang C., 1979. Small-scale structure of two-dimensional magnetohydrodynamic turbulence. *J. Fluid Mech.*, vol. 90, part 1, 129-143.

[8] Palenzuela, C., Lehner, L., Reula, O., Rezzolla, L., 2009. Beyond ideal MHD: towards a more realistic modelling of relativistic astrophysical plasmas. *MNRAS* 394, 1727–1740. doi:10.1111/j.1365-2966.2009.14454.x, arXiv:0810.1838.

[9] Snow B, Hillier A, Murtas G, Botha GJJ., 2021. Shock identification and classification in 2D magnetohydrodynamic compressible turbulence—Orszag–Tang vortex. *Experimental Results*, 2, p. e35. doi:10.1017/exp.2021.28.

## Nivel de formación

Pregrado

**Autores primarios:** PARADA-OSPINA, A. (Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas); RODRIGUEZ-ORTIZ, D. (Universidad Distrital Francisco José de Caldas); Prof. MIRANDA-ARANGUREN, S. (UNIVERSIDAD DISTRICTAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS)

**Presentadores:** PARADA-OSPINA, A. (Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas); RODRIGUEZ-ORTIZ, D. (Universidad Distrital Francisco José de Caldas)

**Clasificación de la sesión:** Posters