

**2° CONGRESO CHILENO DE
FÍSICA DE PLASMAS**
01 AL 04 DE DICIEMBRE, 2025
VALPARAÍSO, CHILE

Actas del II Congreso Chileno de Física de Plasmas

01–04 de diciembre de 2025
Valparaíso, Chile

Comité Organizador

- Dr. Gonzalo Avaria, Universidad Técnica Federico Santa María
- Dr. Felipe Asenjo, Universidad Adolfo Ibañez
- Dr. Pablo Moya, Universidad de Chile
- Dr. Roberto Navarro, Universidad de Concepción
- Dra. Denisse Pastén, Universidad de Chile
- Dr. Cristian Pavez, Comisión Chilena de Energía Nuclear
- Dr. Mario Riquelme, Universidad de Chile
- Dra. Marina Stepanova, Universidad de Santiago
- Dr. Felipe Veloso, Pontificia Universidad Católica de Chile
- Dra. Maricarmen Winkler, Universidad de Chile

Patrocinado por:



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

Auspiciado por:

THORLABS

Tektronix®

Índice

Espaciales	8
S.1. Particle acceleration in a black hole magnetosphere	9
S.2. Electron-scale Magnetic Holes Generation Driven by Whistler-to-Bernstein Mode Conversion in Fully Kinetic Plasma Turbulence	10
S.3. Non-thermal plasma density redistribution in planetary magnetospheres due to ion-cyclotron waves	12
S.4. Efecto de la inestabilidad de mirror en la radiación de sincrotrón de electrones en discos de acreción	14
S.5. Kinetic Processes for Space and Astrophysical Plasmas	15
S.6. Activity and Cumulative Entropy in MHD Simulations via the GOY Shell Model with fractal forcing	17
S.7. Modelo de aprendizaje automático para estimar la ubicación de la plasmasfera usando datos de las sondas Van Allen	19
S.8. The effect of plasma expansion on the dispersion properties of MHD waves .	21
S.9. First principle description of shearing plasma using a Shearing Box Model .	23
S.10. Quasilinear Evolution of Bi-Kappa Electrons with Dynamic kappa parameter under Whistler-Cyclotron Relaxation	25
S.11. The effect of expansion and collisions in the thermodynamic regulation of the young solar wind plasma	27
S.12. Intermittent turbulence of the solar wind: On the fractal behavior and the solar cycle	29
S.13. Predicción de Llamadas Solares mediante Redes Neuronales	31
S.14. Characterizing the instabilities produced by reflected ions in Mars through linear kinetic theory	32
S.15. Wind-fed Accretion onto Compact Objects in High-Mass X-ray Binaries . . .	34
S.16. Polarisation properties of parallel and oblique-propagating Alfvén waves in multi-ion plasmas: theoretical and numerical results	35
S.17. Knudsen number as a non-thermal parameter: possible origin of skewness in space plasma distributions	37
S.18. Ensembles No Lineales para la predicción del índice Dst	38
S.19. Caracterizando la evolución temporal del púlsar Vela usando grafos de visibilidad	39
S.20. Análisis de la precipitación de electrones en los cinturones de radiación de Van Allen a partir de observaciones en órbita baja durante la tormenta geomagnética del 25 de agosto de 2018	41
S.21. Deep Learning-Based Automatic Detection of Solar Flares in the Central Solar Disk	42
S.22. Radial Evolution of 1.8-7.6 MeV Relativistic Electrons during Enhancement Events Driven by Different Geomagnetic Perturbations	43

S.23. Lu and Hamilton model for solar flares over a rewiring complex network . .	45
S.24. Modelo de aprendizaje automático para estimar la ubicación de la plasmasfera usando datos durante la era de las sondas Van Allen	47
S.25. Dynamics of the turbulent plasma sheet	49
S.26. Stability of Magnetic Fields in Stellar Interiors	51
S.27. Predicción de flujos de electrones relativistas de >2 MeV en órbita geostacionaria usando técnicas de Deep Learning.	53
S.28. Two-fluid simulations of ambipolar diffusion in neutron star cores using the Dedalus code	54
S.29. Wave-particle equilibria with heavy ions in weakly collisional space plasmas .	56
S.30. Estudio estadístico de la correlación entre el ULF power y los flujos de electrones de alta energía en la magnetosfera interna	58
S.31. Differentiate Adiabatic and Non-Adiabatic Mechanisms in the Dynamics of the Outer Radiation Belt During the 25 August 2018 Geomagnetic Storm . .	60
S.32. Quantifying Plasma Expansion Effects in the Propagation of Electrostatic Waves: A Theoretical Approach through the Expanding Box Model	62
S.33. Double Power-law Electron Spectra in Solar Flares Due to Temperature Anisotropy Instabilities	64
S.34. Particle Acceleration in the Collisionless Magnetorotational Instability . . .	66
S.35. Dynamic spectra of solar radio emissions	67
S.36. Primeros Resultados Científicos de la Misión SUCHAI-1: Caracterización del Plasma Ionosférico y el Ambiente de Radiación con un Nanosatélite Chileno	69
S.37. Tratamiento y análisis de datos de ondas de ultra baja frecuencia provenientes del viento solar	71
S.38. Axially-symmetric magnetic field evolution in neutron stars	72
S.39. Investigating relativistic electron variability in the Earth’s outer radiation belt: A case study of ULF wave-driven electron losses during geomagnetic storms	73
S.40. Flujos de salida ultra relativistas en reconexión magnética asimétrica.	75
S.41. Modelamiento y análisis del perfil de densidad electrónica en la Región D de la Ionósfera utilizando datos del ISI-Riometer.	77
S.42. Resonant Absorption via 2D Hybrid-PIC Simulations: Kinetic Description .	79
S.43. CGL revisited in the ultrarelativistic regime	81
S.44. Study on the Impact of Plasma Pressure and Auroral Dynamics on Relativistic Electron Acceleration in the Outer Radiation Belt during Geomagnetic Storms	82
S.45. Caracterización de las propiedades magnéticas del envoltorio magnético en función de su tipo de cruce por el arco de choque usando datos de THEMIS	84
S.46. Characterizing BL Lac and FSRQ sources via Complex Networks	86
Experimentales	88
E.1. Cosmología de laboratorio usando ondas de choques de plasmas	89

E.2. Medición de campo magnético producido por efecto de Biermann battery en una pluma de plasma producido por láser.	90
E.3. Generation of Turbulence in Conical Wire Array Plasma Jets and its Effect in the Thomson Scattering Diagnostic.	92
E.4. Rotaciones en plasmas compresionales magnetizados	94
E.5. ESTUDIO DE LA EMISIÓN DE IONES USANDO DIFERENTES MÉTODOS DE DETECCIÓN Y ANÁLISIS EN UN PLASMA FOCUS DE UN KILO JOULES	96
E.6. Caracterización de nuevo inyector de gas tipo Z-pinch con implementación preliminar de técnicas PLIF/LIF	98
E.7. Influencia de la geometría de arreglos cónicos de alambre en la dinámica y estructura interna de jets de plasma	99
E.8. CORRELACIÓN ENTRE MEDICIONES DE DISTINTOS DIAGNÓSTICOS EN UN PLASMA FOCUS DE KILO JOULES	101
E.9. “Estudio de la dinámica de rotación de un gas-puff bajo la influencia de un campo magnético asimétrico”	103
E.10. Operación remota y caracterización de plasmas en el tokamak GOLEM . . .	104
E.11. Mapeo Preliminar del Espacio Operativo y Caracterización de Límites de Estabilidad en el Tokamak MEPHIST-0	106
E.12. Study of the damage caused by the plasma generated in ITER on tungsten walls.	108
E.13. Observación de flujos axiales impulsados por gradientes de presión en Z-pinches tipo gas-puff	109
E.14. Estudio de eficiencia de transferencia de energía generador-plasma para una descarga plasma foco de baja energía y corriente	110
E.15. Experimental study of D-D nuclear fusion reaction products in dense Z-pinch discharges, within a current range of 85 kA to 400 kA	112
Aplicaciones	114
A.1. Diseño y desarrollo de un Propulsor a Plasma Pulsado Ablativo para aplicación en Nanosatélite CubeSat.	115
A.2. Efectos de campo eléctrico en la interacción plasma-liquido	117
A.3. Evolución temporal de la propagación de ondas de choque iniciadas por plasmas anulares producidos por láser	119
A.4. Desarrollo y validación de dispositivo para medición de micro impulso: una nueva solución para caracterización de propulsores de plasma pulsado para nanosatélites	121
A.5. Design and Testing of a Miniaturized Plasma Propulsión System Compatible with the CubeSat Standard	123
A.6. Statistical Characterization and Reliability of a Portable Plasma Focus Device: An Unavoidable Step for Applications	125

A.7. Ultra high-dose rate pulsed X-ray effects on cancer cell lines using a kilojoule plasma focus device and development of the PFFAR-5kJ source for advanced radiobiological studies	127
A.8. Síntesis controlada de nanopartículas mediante expansión supersónica de plasma: un enfoque combinado de modelado y experimentación.	129
Diagnosticos	131
D.1. Desarrollo de un Generador de Electrones Pulsado de Alto Voltaje para Diagnóstico de Campos Magnéticos en Plasmas Densos	132
D.2. Reconstrucción digital del ángulo de rotación y cambio de fase de un haz láser al atravesar plasma magnetizado	134
D.3. Thomson Scattering as a Diagnostic for Plasma Turbulence: Insights from Particle-In-Cell Simulations	136
D.4. Caracterización de modos resonantes en pulsos electromagnéticos inducidos por láser y su uso en la clasificación de disparos y diagnóstico del montaje experimental mediante técnicas de aprendizaje automático	138
D.5. Diseño de metamateriales FSS para la caracterización de emisiones UHF en experimentos de plasmas pulsados	140
D.6. Implementación de redes neuronales bayesianas para el análisis de espectros de Thomson scattering	142
D.7. Detección de neutrones en Llampüdken	144
Teoricos	145
T.1. Proton-Acoustic Wave Effects on the Relaxation of Proton Transverse Heating in Magnetized Plasmas	146
T.2. Wave propagation in relativistic anisotropic plasmas	148
T.3. Theoretical study of the dispersion properties of kinetic Alfvén waves in multi ion plasmas	149
T.4. Critical Phenomena Associated with the Formation of Multiple Electron-Acoustic BGK-Like Waves	151
T.5. Physical Model of a Non-Transferred Plasma Torch for Waste Management .	153
T.6. Distancia al equilibrio y correlación en plasmas con distribuciones kappa . .	154
Comunicacion	155
C.1. Metaphors in Astrophysical Plasma Research: An Ethnographic and Corpus-Based Study	156
C.2. Astrogirls: visibilizando la heliofísica desde la experiencia científica y la divulgación con perspectiva de género	158
C.3. Comparison of different Numerical methods for the development of numerical simulations in Plasma Physics	160

Otro	162
O.1. Design of a dual-polarization system to study ionospheric absorption	163
O.2. Implementación del método EM para la estimación de parámetros en distribuciones kappa en el marco de la superestadística	165
O.3. Simulación MHD de la deflagración de plasma en un propulsor magnetoplasmadinámico con inyección supersónica	167

Espaciales



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

S.1. Particle acceleration in a black hole magnetosphere

Felipe Hjalmar Orellana Andrade¹ y Ileyk El Mellah¹

¹ Universidad de Santiago de Chile

Resumen

In spite of being minimalistic, black holes (BHs) play a key role as energy source in many complex astrophysical phenomena such as plasma jet ejection, accretion power emission and flares. The way BHs power all of these processes is not yet fully understood, but there is consensus in the relevance of the spin, since spinning BHs feature a region called the ergosphere where BHs rotational energy can be extracted. Taking advantage of this feature, the Blandford-Znajek process is able to successfully explain plasma jet ejection, mediated by large scale magnetic fields twisted by frame dragging in the ergosphere. One recent theoretical proposal is the Comisso-Asenjo process, in which plasmoid-mediated extraction of rotational energy is possible through magnetic reconnection in the ergosphere, feeding particle acceleration which could be responsible for non-thermal flares observed in Sag A* or M87*. In this talk we present global particle-in-cell simulations of a Kerr BH magnetosphere aimed at evaluating the efficiency of this new process.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.2. Electron-scale Magnetic Holes Generation Driven by Whistler-to-Bernstein Mode Conversion in Fully Kinetic Plasma Turbulence

Joaquín Espinoza Troni¹, Giuseppe Arrò², Pablo S Moya¹ y Felipe A Asenjo³

¹ Universidad de Chile

² Los Alamos National Laboratory

³ Universidad Adolfo Ibañez

Resumen

Magnetic holes (MHs) are coherent structures characterized by a strong and localized magnetic field amplitude dip, commonly observed in the heliosphere. These structures come in different sizes, from magnetohydrodynamic to kinetic scales. Subion-scale MHs are usually sustained by an electron current vortex and exhibit a strong electron temperature anisotropy, with higher temperatures perpendicular to the background magnetic field. Magnetospheric multiscale observations (MMSs) have revealed electron-scale MHs to be ubiquitous in the turbulent Earth's magnetosheath and the solar wind, potentially playing an important role in the energy cascade and dissipation. Despite abundant observations, the origin of electron-scale MHs is still unclear and debated. In this work, we use fully kinetic simulations to investigate the role of plasma turbulence in generating electron-scale MHs. We find that the turbulence spontaneously produces electron-scale MHs via the following mechanism: first, large-scale turbulent velocity shears produce regions with high electron temperature anisotropy; these localized regions become unstable, generating oblique electron-scale whistler waves; as they propagate over the inhomogeneous turbulent background, whistler fluctuations develop an electrostatic component, turning into Bernstein-like modes; the strong electrostatic fluctuations produce current filaments that merge into an electron-scale current vortex; the resulting electron vortex locally reduces the magnetic field amplitude, finally evolving into an electron-scale MH. We show that MHs generated by this mechanism have properties consistent with MMSs and nontrivial kinetic features with a “mushroom”-shaped electron velocity

distribution function. Our results have potential implications for understanding the formation and occurrence of electron-scale MHs in astrophysical turbulent and space environments, such as the Earth's magnetosheath and the solar wind.



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

S.3. Non-thermal plasma density redistribution in planetary magnetospheres due to ion-cyclotron waves

Joaquín Espinoza Troni^{1,1}, Pablo S Moya¹ y Felipe A Asenjo²

¹ Universidad de Chile

² Universidad Adolfo Ibáñez

Resumen

Ultra-low frequency geomagnetic pulsations can induce non-linear ponderomotive effects, which affect the field-aligned plasma density redistribution in planetary magnetospheres. This phenomenon can potentially arise in planetary space plasma environments wherein plasma velocity distributions with significant non-thermal characteristics have been observed. Furthermore, recent analytical studies have predicted a significant impact of the Kappa velocity distribution on the ponderomotive force (PF) induced by electromagnetic ion cyclotron (EMIC) waves. In this work, we investigate the effects of the Kappa distribution in the field-aligned plasma density redistribution of different planetary magnetospheres of our solar system due to the PF induced by traveling EMIC waves. We perform a general analysis for each planetary magnetosphere of our solar system of the stationary plasma density solutions resulting from the slow-time scale force balance equation, including the PF induced by traveling EMIC waves for low-beta plasmas characterized by an isotropic Kappa velocity distribution. To get the modulation of the traveling EMIC waves along the background magnetic field lines, we use the WKB approximation, considering a dipole geomagnetic field model and neglecting their curvature effects. We find that the role of the kappa parameter and the plasma beta in the plasma density redistribution due to the PF induced by traveling EMIC waves is to counteract the plasma accumulation towards the equator. Therefore, we show that for low-beta plasmas, the non-thermal and finite-temperature effects will not change the qualitative behaviour of plasma density redistribution predicted in previous works, but can significantly reduce the non-linear effects induced by these short geomagnetic pulsations. We also analyzed how the

critical parameter for the phase transition between solutions with a minimum or maximum of plasma density at the equator varies with the plasma beta, the kappa parameter, and the L-shell. We provide an analytical study that shows the importance of including the non-thermal properties of the velocity distributions found in different planetary magnetospheres for the field-aligned density redistribution of plasma due to the PF induced by traveling EMIC waves. Our results motivate the inclusion of non-thermal effects in further studies of the plasma density redistribution due to PF and general ponderomotive phenomena for particular models of planetary magnetospheres in our solar system.



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

S.4. Efecto de la inestabilidad de espejo en la radiación de sincrotrón de electrones en discos de acreción

Martín Astete¹ y Mario Riquelme¹

¹ Universidad de Chile

Resumen

Recientemente se ha conseguido fotografiar la sombra de los agujeros negros M87 y SgrA* por el Event Horizon Telescope en la banda de los 230 GHz, lo cual ha suscitado el interés de la comunidad científica acerca de las características de la emisión en los discos de acreción que orbitan estos agujeros negros. Simulaciones numéricas de estos discos de acreción han mostrado que reúnen características que propician la aparición de inestabilidades a escala cinética del plasma, las que se inducen debido a anisotropías en la función distribución de las partículas del plasma y modifican la estructura espacial de los campos magnéticos. Particular interés existe en la inestabilidad de espejo, que parece ser la más consistente con las condiciones observadas. De lo anterior surge la pregunta que buscamos responder en este trabajo: ¿cómo puede esta inestabilidad cambiar las características de la emisión con respecto a un plasma homogéneo y sin inestabilidades (que es hasta la fecha el modelo más común para discos de acreción)?.

Utilizando simulaciones de plasma tipo Particle-in-cell (PIC) se consigue excitar la inestabilidad de espejo en un plasma con características similares a las de los discos de acreción de los agujeros negros M87 y SgrA* y posteriormente podemos calcular, mediante el uso de la teoría clásica de sincrotrón, el espectro de radiación de sincrotrón de las partículas que componen el plasma, estudiar sus características y compararlas con las de los espectros para plasmas sin inestabilidades, esperamos tanto que la anisotropía de presiones que induce la inestabilidad, como la existencia de un campo magnético no homogéneo y las correlaciones entre la energía de las partículas y sus propiedades radiativas tengan un efecto medible en la emisión de sincrotrón para distintos observadores, lo que también, esperamos, nos permitirá extrapolar nuestros resultados a las observaciones de los discos de SgrA* y M87.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.5. Kinetic Processes for Space and Astrophysical Plasmas

Peter H Yoon¹, Rodrigo A. López², Pablo S. Moya³, Roberto Navarro⁴ y Marian Lazar⁵

¹ University of Maryland

² Comisión Chilena de Energía Nuclear

³ University of Chile Santiago

⁴ Universidad de Concepcion

⁵ Katolieke Universiteit Leuven, Belgium

Resumen

A number of kinetic processes in space and astrophysical plasmas, including binary collisions among charged-particles species and collective instability excitations, are known to play important roles as a mechanism to dynamically couple the charged particles and the self-consistently generated EM waves and fluctuations. Among the most important kinetic plasma instabilities are the transverse EM instabilities driven by the pressure anisotropy. The pressure, or temperature, anisotropy can naturally be generated in space and astrophysical plasmas. For example, in the radially expanding solar or stellar wind, the thermodynamics dictates that the radially decreasing density and magnetic field strength should lead to an ever increasing parallel pressure anisotropy, until the plasma firehose instability eventually kicks in to regulate the unchecked increase of the parallel pressure anisotropy. Likewise, if a parcel of solar wind plasma undergoes a compression, then the perpendicular pressure anisotropy may be generated, which may become unstable to the excitation of the mirror or cyclotron instabilities. One of the most efficient tools to investigate the nonlinear behaviors of these instabilities is the quasilinear kinetic theory. In the present talk, some of the recent developments in the quasilinear theory of proton-cyclotron instability driven by an excessive perpendicular pressure (or temperature) anisotropy, and the proton-firehose instability driven by an excessive parallel temperature anisotropy will be discussed. The novel formalism and

its solution will then be compared against the computer simulation experiments. For plasmas that are stable to instability excitations, the collisional processes can also take place to bring the plasma closer to thermodynamic equilibrium states. As a matter of fact, a recent series of studies have shown that the binary collisions taking place in the solar wind as it travels from the solar source to the Earth can account for the observed features made in the near-Earth vicinity. In this talk, some of the latest developments regarding the combined collisions and instability processes will be overviewed.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.6. Activity and Cumulative Entropy in MHD Simulations via the GOY Shell Model with fractal forcing

Víctor Muñoz¹ y Lautaro Alvear¹

¹ Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile

Resumen

In the study of magnetohydrodynamics (MHD), one of the proposed models is the GOY Shell Model, which solves the usual MHD equations via coupled shells in the Fourier space for the velocity and magnetic field of the fluid, correctly reproducing nonlinear effects and statistical properties of turbulence such as power-law distribution of dissipative events. Previous studies performed with this model showed a relation between the fractal dimension of the magnetic dissipation and activity parameters of the time series with a Langevin-type forcing.

In this work, we seek to study if the Cumulative Entropy, proposed as an alternative to Shannon Entropy, shows a correlation with any of the activity parameters proposed in the literature and the effect of varying the fractal dimension of the forcing. For this, we solved the GOY Shell Model equations under different types of forcing in the velocity and magnetic field. The forcings used were antipersistent Fractional Brownian Motion (FBM) time series, in at least one of the dynamic fields (velocity or magnetic field), and Langevin or Gaussian noise in the other. After this, we calculated the time series of the system's magnetic dissipation rate, studied its cumulative entropy for sliding windows along the time series, and calculated the cumulative entropy of the whole time series.

We have compared the cumulative entropy of the whole series with four activity parameters previously used in the literature. Early results show that for three of the five types of simulations, the cumulative entropy is well correlated with the average magnetic dissipation.

Agradecimientos

Fondecyt grant number 1242013 (V.M.)



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

S.7. Modelo de aprendizaje automático para estimar la ubicación de la plasmasfera usando datos de las sondas Van Allen

Dafhne M. Reyes¹, Bea Zenteno-Quinteros^{1,2} y Victor A. Pinto^{1,2}

¹ Departamento de Física, Universidad de Santiago de Chile

² Center for Interdisciplinary Research in Astrophysics and Space Sciences (CIRAS)

Resumen

La plasmasfera es una región de la magnetósfera terrestre que está compuesta de plasma frío y denso corrotante con la Tierra. Su forma exacta varía dependiendo de las características del viento solar y la actividad geomagnética. Su límite externo, conocido como plasmapausa, se identifica por una caída abrupta en la densidad del plasma, lo que la convierte en un límite dinámico entre el plasma corrotante de la magnetósfera interna y las regiones externas donde la convección es predominante. En este trabajo, hemos desarrollado un modelo de aprendizaje automático para estimar la ubicación radial de la plasmapausa utilizando datos de misión de las sondas Van Allen (2012-2019). Para esto, hemos utilizado la densidad de plasma proporcionada por el instrumento ECT-HOPE y hemos identificado los cruces por la plasmapausa en cada una de las distintas órbitas satelitales. A partir de esta base de datos de cruces, y utilizando la técnica de Random Forest, hemos desarrollado un modelo que utiliza parámetros del viento solar e índices geomagnéticos para estimar la ubicación radial de la plasmapausa. Este enfoque nos permitirá evaluar la posibilidad de reconstruir la variación temporal de la plasmapausa y caracterizar su respuesta en función de la actividad geomagnética. Esperamos que este modelo pueda aplicarse en contextos donde no se disponga de mediciones in situ, ofreciendo una herramienta alternativa para el estudio de la plasmasfera.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo de ANID Chile a través de los proyectos FONDECYT N° 11251905 (VAP) y N° 3250884 (BZQ).



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.8. The effect of plasma expansion on the dispersion properties of MHD waves

Sebastián Saldivia¹, Felipe Asenjo² y Pablo Moya¹

¹ Universidad de Chile

² Universidad Adolfo Ibáñez

Resumen

The Sun and other stars release a continuous stream of charged particles, known as solar or stellar wind. These particles constitute plasma that expands at high velocities through interplanetary space, and in this process exhibits turbulence, instabilities, and oscillations of its fields and particles, such as Alfvén or magnetosonic waves. Although extensively studied, it continues to present fundamental challenges in plasma physics, particularly on the dynamics of its expansion and the role of phenomena such as turbulence and electromagnetic waves in this process. In this context, the Expanding Box Model (EBM) offers an innovative theoretical framework for studying plasma expansion in a non-inertial frame of reference that co-moves with the plasma, but at a fixed volume. This approach has proven particularly useful in performing numerical simulations, as it minimizes potential computational memory limitations. In this work, we employ the set of ideal expanding magnetohydrodynamic equations, derived from first principles by Echeverría-Veas et al. within the EBM framework, to theoretically characterize the effects of radial expansion of the solar wind on its characteristic linear waves, both their dispersion and their measurable properties, such as magnetic compressibility or helicity.

Through the analytical derivation of dispersion relations, we explore the changes in wave propagation across a range of heliocentric distances on the normal magnetohydrodynamic modes: the Alfvén mode and the fast and slow magnetosonic modes, as obtained from the ideal MHD equations. Our results show a spatial dependence in the dispersion relation that agrees with the literature and the non-expansive case, helping to bridge the gap between theory and observation in solar wind dynamics. In particular, our analysis reveals a notable

acceleration of the fast magnetosonic mode in the outer heliosphere when considering a radial decrease in the polytropic index along the expansion. Furthermore, we observe a radial increase in the magnetic compressibility of the magnetosonic modes, suggesting a trend similar to measurements from recent space missions.

Agradecimientos

We are grateful for the support of ANID Chile through the National Doctoral Scholarships No. 21250323 (SS), and FONDECYT grants No. 1240281 (PSM) and 1230094 (FAA).



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

S.9. First principle description of shearing plasma using a Shearing Box Model

Maximiliano Correa-Gazmuri¹, Mario Riquelme² y Pablo S. Moya¹

¹ Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Santiago, Chile

² Departamento de Física, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile

Resumen

The description of turbulent and collisionless plasma in astrophysical systems like the solar wind, accretion disks or jets, needs a full understanding of the physics of the microscopical scales, the dynamics of the magnetic field and the momentum transport. In this kind of plasma, the development of turbulence can bring out shearing fluxes, that induce pressure anisotropy capable of triggering instabilities and micro-instabilities. For example, one of the most studied ones are the magnetorotational instability (MRI), the whistlers instability, ion-cyclotron, mirror, among others. These instabilities modify the structure of the magnetic field in the microscopical scales and affect crucial properties for the macroscopical evolution of the plasma, like the viscosity, the electric resistivity and the thermal conductivity.

Various models have been used to simulate these instabilities, considering a shearing velocity. Specifically, particle in cell (PIC) simulations have been used to study these phenomena, where the particles can reach relativistic velocities. Thus, in this work we use the shearing box model formalism to transform the coordinates from an inertial frame S to a shearing frame S' which, along with the Vlasov equation, is used to make a first principle description of a shearing plasma. With this work we expect to fulfill the gap between the simulations and the theory, generating a concise framework that is capable of describing the plasma from the microscopical to the magnetohydrodynamics scales.

Agradecimientos

We acknowledge the support of ANID, Chile, through the Fondecyt grant No. 1240281 and Center for Astrophysics and Associated Technologies (CATA; ANID Basal grant FB210003)



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.10. Quasilinear Evolution of Bi-Kappa Electrons with Dynamic kappa parameter under Whistler-Cyclotron Relaxation

Pablo S Moya¹, Roberto E Navarro², Marian Lazar^{3,4}, Rodrigo A López^{5,6} y Peter H Yoon⁷

¹ Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Chile

² Departamento de Física, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Concepción, Chile

³ Centre for Mathematical Plasma Astrophysics, Department of Mathematics, KU Leuven, Belgium

⁴ Institute for Theoretical Physics IV, Faculty for Physics and Astronomy, Ruhr University Bochum, Germany

⁵ Research Center in the intersection of Plasma Physics, Matter, and Complexity (P 2 mc), Comisión Chilena de Energía Nuclear, Chile

⁶ Departamento de Ciencias Físicas, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Andres Bello, Chile

⁷ Institute for Physical Science and Technology, University of Maryland, College Park, MD, USA

Resumen

Electron velocity distributions observed in the inner heliosphere exhibit a variety of nonthermal features that depart from thermal equilibrium, including temperature anisotropies, suprathermal tail extensions, and field-aligned beams. Such deviations provide sources of free energy that can drive kinetic instabilities, such as the whistler-cyclotron instability, commonly associated with temperature anisotropy.

Space measurements have revealed that the presence of suprathermal particles can be well described by the so-called Kappa distributions, characterized by the κ parameter. This parameter quantifies the presence of suprathermal populations in the high-energy, power-law tails, indicating how far plasma is from the ideal Maxwell–Boltzmann equilibrium. Kappa distributions are ubiquitous in space and astrophysical poorly collisional plasmas, such as the solar wind and planetary magnetospheres, suggesting that microscopic and macroscopic

properties of these non-equilibrium plasmas are less conditioned by the collisions but the wave–particle interactions. In recent years, significant progress has been made in the velocity moment-based quasi-linear (QL) theory of wave instabilities in non-equilibrium plasmas with Kappa distributions. However, the temporal variation of the κ parameter is not fully captured by such a QL analysis, to specifically characterize the influence of unstable (growing) fluctuations on the non-equilibrium distribution.

In this work, we investigate the evolution of anisotropic bi-Kappa electron distributions that excite electromagnetic electron-cyclotron (whistler) instabilities. The QL approach proposed here includes time variations of the κ parameter during the relaxation of temperature anisotropy. Numerical results show that, depending on the magnetization of the plasma, the κ parameter may increase for a short interval of time at the beginning, but then decreases toward a value lower than the initial one, while the plasma beta and temperature anisotropy indicate a systematic relaxation. Our results suggest that the electromagnetic turbulence plays an important role in the suprathermalization of the plasma, ultimately lowering the κ parameter. Even though the variation of κ is, in general, negative, this variation seems to depend on the initial conditions of anisotropic electrons, which can vary in the inner heliosphere.

Agradecimientos

We acknowledge the support of ANID, Chile, through the Fondecyt grant No. 1240281



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.11. The effect of expansion and collisions in the thermodynamic regulation of the young solar wind plasma

Matilde Coello-Guzmán^{1,2}, Víctor A. Pinto^{1,2}, Roberto E. Navarro³ y Pablo S. Moya⁴

¹ Departamento de Física, Facultad de Ciencia, Universidad de Santiago de Chile

² Center for Interdisciplinary Research in Astrophysics and Space Sciences (CIRAS), Universidad de Santiago de Chile

³ Departamento de Física, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Concepción, Chile

⁴ Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile

Resumen

The proton temperature anisotropy in the solar wind is known to be constrained by theoretical thresholds for anisotropy-driven instabilities in the high-beta regions. These thresholds are obtained from the non-collisional Maxwell-Vlasov equations and show good agreement with solar wind measurements at 1 AU. However, in the inner heliosphere, the effect of collisions should not be neglected outright. Here, we add a collisional term to the Vlasov equation and numerically obtain modified instability thresholds for both parallel electromagnetic ion cyclotron (EMIC) and parallel firehose instabilities, for weakly magnetized particles. We compare with approximately 2.2 M independent measurements in the near-corona of the Sun, taken by Parker Solar Probe. We find that the collisionally modified instability thresholds constrain a larger area that better fits the measurements. Additionally, to trace the effects of the expansion of the solar wind plasma, we show that measurements in the low corona are in agreement with the relation for the beta parameter and temperature anisotropy proposed by Marsch, a result that had been previously shown before at further distances.

Agradecimientos

We are grateful for the support of DICYT Project 042431PA_Postdoc (MC, VAP) and ANID Chile through the FONDECYT grants No. 11251905 (VAP), No. 1240281 (PSM), and No. 1240697 (REN).



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.12. Intermittent turbulence of the solar wind: On the fractal behavior and the solar cycle

Daniel H. P.¹, Pablo S. Moya¹, Denisse Pasten¹, Iván Gallo Méndez¹ y Belén Acosta Tripailao²

¹ Universidad de Chile, Facultad de Ciencias, Departamento de Física

² Universidad Católica, Instituto de Astrofísica, Facultad de Física

Resumen

The Sun blown plasma that evolves under self-regulation conditions through the Heliosphere. One such mechanism of self-regulation corresponds to the fully developed turbulence, in which a large-scale energy input is transferred down the kinetic scale where dissipation occurs efficiently. However, the turbulence profile changes when intermittency is taken into account. The intermittency property of turbulence holds for enhanced fluctuations of plasma parameters between a sea of noise fluctuations. This property takes into account the fluctuations in the energy transfer rate and thereby adds corrections to the energy cascade. Such corrections are well described with the (multi-)fractal geometry of the turbulence. With this method, one can describe the intermittent turbulence of the solar wind adequately by allowing the scaling laws to vary with the space-time region of interest. However, there is no consensus about the degree of intermittency in the inner Heliosphere. In this region, it is reported to increase and decrease the degree of intermittency, which is a source of contradictory studies. In addition, the solar cycles vary the existent profile of such intermittent turbulence, due to expected high and low alfvénic winds during the solar cycle change.

Therefore, we suggest approaching this problem through the study of the intermittency fractal structure. Using magnetic and velocity fields data from the wind mission in a stationary point at 1 au during the last solar cycle, we study the intermittency through a statistical method, namely the Local Intermittency Measure (LIM). Then, we analyze the LIM results through the Multifractal Detrended Fluctuations Analysis (MFDFA). With the former method, we extract the intermittency profile and with the MFDFA, we show the (multi-)fractal

behavior. Hence, we analyze the variations of the scaling laws in the intermittency of the fields fluctuations. With such analysis we expect to offer a proxy to the space plasma community, in which we characterize the solar wind intermittent turbulence through the solar cycle. Our work contributes to incorporating the solar cycle into analyses of intermittent turbulence, a factor that is often overlooked.

Agradecimientos

We acknowledge the support of ANID, Chile, through the Fondecyt grant No. 1240281 and No. 1242013. B.A-T acknowledges support from the ANID Doctoral Fellowship through grant number 21231305. D. H. P. acknowledges support from Beca Doctorado Uchile.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.13. Predicción de Llamaradas Solares mediante Redes Neuronales

Debora Ester González Paz¹

¹ The Chilean Complexity Cluster, Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile

Resumen

Las llamaradas solares pueden desencadenar tormentas geomagnéticas que representan un riesgo significativo para la infraestructura tecnológica global, incluyendo redes de comunicación, sistemas de navegación y redes eléctricas, afectando potencialmente la vida cotidiana en todo el planeta. Por ello, el desarrollo de métodos predictivos para anticipar estos eventos es un área de investigación crucial en la física de plasmas espaciales.

Este trabajo presenta el desarrollo de un modelo de aprendizaje profundo (deep learning) para predecir la ubicación de llamaradas solares a partir de imágenes satelitales, como un paso fundamental hacia la clasificación de su geoeffectividad. Para ello, se implementa una Red Neuronal Convolucional (CNN), arquitectura ideal para el análisis de imágenes. El modelo se entrena con un conjunto de datos construido a partir de imágenes del Solar Dynamics Observatory (SDO) y el catálogo de llamaradas XRT de Hinode. Las imágenes se etiquetan con las coordenadas del evento si este ocurre en una ventana temporal de más o menos una hora desde el momento de la captura de la imagen.

Para validar el enfoque, el modelo se entrena inicialmente con imágenes reducidas a matrices de 8×8 . Los resultados preliminares son muy prometedores: el modelo predice la ubicación de las llamaradas con una mediana de error de 1.93 unidades de grilla, medido con la distancia euclidiana. Este rendimiento supera significativamente la mediana de 4.24 obtenida por un predictor aleatorio, demostrando que la red neuronal está aprendiendo a identificar patrones predictivos en los datos solares.

Se concluye que este enfoque es viable y sienta las bases para un sistema de pronóstico más robusto. El trabajo futuro se centrará en utilizar imágenes de alta resolución para mejorar la precisión y en integrar parámetros físicos para construir un clasificador de geoeffectividad.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.14. Characterizing the instabilities produced by reflected ions in Mars through linear kinetic theory

Valentina D. Calderón¹, Pablo S. Moya¹, Sofía Burne², Laura Morales³ y César Bertucci³

¹ Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Santiago, Chile

² Department of Physics - Space, Plasma, and Climate Physics - Imperial College London

³ Departamento de Física, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina

Resumen

Shock waves are a supersonic perturbation which propagates through a plasma, and they are fairly common in astrophysical environments. Due to low particle density, interplanetary space is home to multiple collision-less shock waves. An example of these phenomena is the bow shock formed around some planets due to the interaction between their inherent magnetic field and the solar wind. In particular, Mars is a planet which does not possess an intrinsic magnetosphere, but rather one that is induced due to its ionosphere's interaction with the solar wind. This process results in an induced magnetosphere, which is considerably smaller than that of the Earth, as well as a reduced distance between the planet and the bow shock. This implies that there is an additional importance to considering the kinetic effects when describing the plasma.

Multiple observations have confirmed the existence of ions that are reflected from Mars' bow shock. These ions are unstable to electromagnetic waves in the solar wind, and they are characterized by "ring-beam" velocity distributions. Recent observations have reported mirror-mode-like (MM) structures in the magnetosheath of Mars, as well as proton cyclotron waves (PCWs) upstream of the planet, which are associated with the instabilities of the reflected ions. In this work, we use linear kinetic theory to extend those analyses, exploring a wider range of parameters such as density and temperature. We use the linearized Vlasov equation for a magnetized plasma to find the dispersion relation and characterize the most

relevant stability modes, evaluating how the instabilities change with the parameters of the ring-beam distribution.

Agradecimientos

We acknowledge the financial support of ANID Chile, through the Doctoral National Scholarship No 21250667, and the FONDECYT grant No 1240281.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.15. Wind-fed Accretion onto Compact Objects in High-Mass X-ray Binaries

Nicolás Quintriqueo Matamala¹, Pablo S. Moya¹ y Ileyk El Mellah²

¹ Departamento de Física, Facultad de ciencias, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

² Departamento de Física, Facultad de Ciencia, Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile

Resumen

High-mass X-ray binaries and symbiotic systems containing compact objects such as black holes, neutron stars, or white dwarfs exhibit complex variability in their emission. Understanding the hydrodynamics of matter captured by compact objects, as well as the mechanisms that regulate this interaction, is essential for interpreting the spectral states and dynamical behavior of these systems.

In this work, we investigate the hydrodynamics of wind-fed accretion using a combined analytical and numerical approach. As a baseline, we reproduce the classical one-dimensional Bondi and Parker solutions for isotropic transonic flows. We then extend the model to binary configurations, incorporating the gravitational influence of the compact object, the formation of shocks, and the transport of angular momentum in the wind flow.

These results make it possible to characterize the transonic structure of the flows and the emission properties associated with wind accretion in binary systems. We expect these findings to provide a consistent explanation for the rapid variability observed in high-mass X-ray binaries and symbiotic systems, and to contribute toward a unified framework for understanding wind-fed accretion across different classes of compact objects.

Agradecimientos

We thank the support of ANID, Chile, through the Fondecyt grant No. 1240281 (P.S.M.)



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.16. Polarisation properties of parallel and oblique-propagating Alfvén waves in multi-ion plasmas: theoretical and numerical results

Nicolás Villarroel Sepúlveda¹, Rodrigo A. López² y Pablo S. Moya¹

¹ Universidad de Chile

² Comisión Chilena de Energía Nuclear

Resumen

Alfvén waves are ubiquitous in space and astrophysical plasmas, and their ability to drive countless physical processes makes their study crucial for our understanding of the Universe. As the wavelength of these waves becomes comparable to the characteristic lengths of plasma constituents, kinetic effects modify dispersion and polarisation properties of the well-known magneto-hydrodynamical (MHD) Alfvén wave. When the propagation of the wave is parallel to the ambient magnetic field, its kinetic extension is referred to as the electromagnetic ion-cyclotron (EMIC) mode. This wave possesses left-handed electrical polarisation, allowing it to heat ions through cyclotron-resonant interaction, as its name well implies. In the near-perpendicular limit, kinetic effects lead to the so-called kinetic Alfvén wave (KAW). This wave's polarisation is linear or elliptically right-handed, and its field-aligned electric component allows it to energise electrons and protons effectively. Both of these modes have been observed throughout the magnetospheric and heliospheric plasmas, and the KAW is one of the candidate wave modes to drive the turbulence spectrum in space plasmas. Because of this, understanding the transition from left-hand to right-hand polarised Alfvén waves is a matter of great relevance for the study of space and astrophysical plasmas. In this work, we study this transition combining theory and numerical methods. We derive novel analytical results stemming from linearised Vlasov-Maxwell theory to determine the transition angle from EMIC waves to KAW. We complement this by extensively studying the exact dispersion relation of Alfvénic waves in finite-temperature plasmas using state-of-the art numerical tools.

We also discuss the effect of including heavy ions in the plasma composition from analytical approximations and numerical results.

Agradecimientos

N.V.S. gratefully acknowledges the support provided by the National Agency for Research and Development (ANID) of Chile through the National Doctoral Scholarship 21220616. We also thank the support of ANID, Chile, through FONDECYT grants No. 1240281 (P.S.M.) and 1251712 (R.A.L). This study benefited from support by the International Space Science Institute (ISSI) in Bern, through ISSI International Team project 24-612 (“Excitation and dissipation of kinetic-scale fluctuations in space plasmas”).



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.17. Knudsen number as a non-thermal parameter: possible origin of skewness in space plasma distributions

Iván Gallo-Méndez^{1,1} y Pablo S. Moya¹

¹ Universidad de Chile

Resumen

Space plasmas often exhibit velocity distribution functions (VDFs) that deviate from the classical Maxwellian picture, showing suprathermal tails and measurable asymmetries. In this work, we investigate the origin of such asymmetries by considering a Skew-Kappa distribution for modeling the electron VDF and analyzing its stability within the Boltzmann transport equation framework. By incorporating a Krook-like collisional term, we derive a closed analytical expression for the skewness parameter δ_e , showing that it depends explicitly on macroscopic plasma quantities such as the thermal velocity, density gradients, and the effective collision frequency. Our principal result is to demonstrate that two Knudsen numbers naturally arise: $K_T = \lambda_{fp}/L_T$, associated with the temperature gradient, and $K_n = \lambda_{fp}/L_n$, associated with the density gradient. We further show that δ_e depends linearly on an effective Knudsen number K_N^{eff} given by the sum of these contributions, i.e., $\delta_e \propto K_N^{\text{eff}}$. This provides a consistent framework that connects skewness, heat flux, and collisionality, consolidating non-thermal features of space plasmas as measurable macroscopic transport parameters. These results open new perspectives for characterizing the non-equilibrium properties of the solar wind and other astrophysical plasmas.

Agradecimientos

This research was funded by FONDECYT grant number 1240281 (P.S.M.). I.G.M. is grateful for the support from a postdoctoral project No. 0016500-2025 funded by the University of Chile, which financed his participation in this work.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.18. Ensambles No Lineales para la predicción del índice Dst

María José Quezada Roco¹, Juan Alejandro Valdivia¹, José Rogan¹ y Máx Ramirez¹

¹ Universidad de Chile

Resumen

Las tormentas geomagnéticas, impulsadas por las interacciones entre el viento solar y la magnetosfera, representan fenómenos altamente no lineales que plantean desafíos en su pronóstico. En este trabajo desarrollamos y evaluamos ensambles de modelos de redes neuronales para la predicción del índice Dst, entrenados bajo dos estrategias de optimización, modelos optimizados con todas las tormentas del set de entrenamiento y modelos optimizados sobre sí mismos. Tras el entrenamiento, implementamos procedimientos de filtrado de los modelos basados en errores globales y de la fase activa, en la pérdida inicial de la tormenta y en el tamaño de la tormenta del modelo, con el fin de mejorar el desempeño de los conjuntos. Utilizando un conjunto de datos de 108 tormentas ocurridas entre 1980 y 2025, evaluamos el rendimiento de los ensambles filtrados sobre la tormenta Gannon de mayo de 2024. Nuestros resultados muestran que el filtrado mejora sustancialmente la representación de la tormenta y la precisión del pronóstico, reduciendo de manera consistente el error en comparación de los ensambles filtrados con los no filtrados. Esta estrategia destaca la importancia de la diversidad de los ensambles y del filtrado para una predicción robusta en el clima espacial.

Agradecimientos

MJQR reconoce el financiamiento parcial de la beca Anid n°21242519



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

S.19. Caracterizando la evolución temporal del púlsar Vela usando grafos de visibilidad

Valeria Brancacho Chung¹, Denisse Pastén¹ y Cristóbal Espinoza²

¹ Universidad de Chile

² Universidad de Santiago de Chile

Resumen

Los púlsares son un tipo de estrella de neutrones que giran rápidamente y desde sus polos magnéticos emite radiación electromagnética, haciendo parecer que están pulsando en el cielo. Una particularidad que tienen los púlsares son los residuos de fase, los cuales son la diferencia formada entre un modelo planteado de pulsos periódicos y las mediciones reales que se miden al llegar a la Tierra. Al tener varios residuos que forman un conjunto y se presentan de manera desorganizada se obtiene el ruido de fase.

Por otro lado, las redes complejas son una rama de los sistemas complejos que permiten estudiar los cambios en topología de un sistema al trabajarlos como nodos conectados en una red. Estas se pueden clasificar dentro de una de tres categorías: red aleatoria, red de mundo pequeño y red de libre escala. Una estrategia muy útil al estudiar datos observacionales es el Grafo de Visibilidad (VG), caracterizado por mapear series temporales a nodos y conexiones tal que se pueda trazar una línea recta entre nodos sin intersectar otro nodo. En este trabajo se entrelazan ambos conceptos al estudiar series de tiempo de ruido de fase usando grafos de visibilidad.

Las mediciones son provenientes del púlsar PSR B0833-45 [1] y fueron procesadas con el programa TEMPO2, seccionando estas mediciones en intervalos más pequeños y obteniendo los parámetros que reduzcan de mejor manera los residuos de fase de cada sección. Con cada sección formada se obtiene un tiempo, por lo que se forma una serie temporal con el objetivo de caracterizar la evolución temporal del púlsar a través de los grafos de visibilidad. Además de seguir la evolución temporal del VG, vamos a clasificar las series de tiempo usando redes complejas, para así identificar diferentes estados del púlsar a lo largo del tiempo.

[1] Richard Dodson, Dion Lewis y Peter McCulloch. (2007). Two decades of pulsar timing of Vela. *Astrophysics and Space Science*, 308(1), 585-589.

Agradecimientos

Agradecemos la obtención y proporción de los datos utilizados en este trabajo a Richard Dodson y el Observatorio Mount Pleasant ubicado en Hobart, Australia.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.20. Análisis de la precipitación de electrones en los cinturones de radiación de Van Allen a partir de observaciones en órbita baja durante la tormenta geomagnética del 25 de agosto de 2018

Sebastián Padilla¹, Marina Stepanova^{1,2} y Víctor Pinto^{1,2}

¹ Universidad de Santiago de Chile, Departamento de Física, Santiago, Chile

² Center for Interdisciplinary Research in Astrophysics and Space Sciences (CIRAS)

Resumen

Se presenta un estudio de la precipitación de electrones en los cinturones de radiación de Van Allen durante la tormenta geomagnética del 25 de agosto de 2018, utilizando observaciones obtenidas por satélites en órbita baja NOAA/POES. El aumento en la actividad magnetosférica generó condiciones favorables para la interacción entre ondas de plasma y partículas cargadas. El análisis en un amplio rango energético de los flujos de electrones, desde los pocos keV hasta más de 100 keV, permitió identificar estructuras temporales de la precipitación y reconocer sus episodios más intensos.

Los resultados muestran la utilidad de los satélites en baja órbita para caracterizar la dinámica de pérdida de partículas hacia la ionósfera, permitiendo comprender cómo las perturbaciones geomagnéticas afectan el acoplamiento magnetosfera-ionosfera y fortalecer el marco interpretativo de eventos intensos.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo de ANID Chile a través de los proyectos FONDECYT N° 11251905 (VAP), y N° 1249501 (MS).



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.21. Deep Learning-Based Automatic Detection of Solar Flares in the Central Solar Disk

Nicolás Campos¹ y Victor A. Pinto^{1,2}

¹ Departamento de Física, Universidad de Santiago de Chile

² Center for Interdisciplinary Research in Astrophysics and Space Sciences (CIRAS), Universidad de Santiago de Chile

Resumen

Solar flares are sudden and intense releases of energy in the solar atmosphere, often associated with magnetic reconnection in active regions of the Sun. While GOES/XRS provides continuous monitoring of flare activity, its lack of spatial resolution limits localized studies. In this study, we aim to present our self-developed deep learning-based method for the automatic detection of solar flares occurring in the central region of the solar disk, where projection effects are minimized. The proposed approach leverages the existence of curated catalogs and the availability of EUV imagery from the Atmospheric Imaging Assembly (AIA) onboard the Solar Dynamics Observatory (SDO), which, combined with the use of convolutional neural networks (CNNs), allowed us to train a model that can recognize solar flares in images. The goal is to establish a robust, scalable framework for flare detection, with potential applications in real-time monitoring and flare forecasting.

Agradecimientos

We are grateful for the support of ANID Chile through the FONDECYT grant No. 11251905 (VAP).



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.22. Radial Evolution of 1.8-7.6 MeV Relativistic Electrons during Enhancement Events Driven by Different Geomagnetic Perturbations

Victor A. Pinto^{1,2}, Yulissa Espitía^{3,4}, Bea Zenteno-Quinteros^{1,2}, Marina
Stepanova^{1,2} y Pablo S. Moya⁵

¹ Departamento de Física, Universidad de Santiago de Chile

² Center for Interdisciplinary Research in Astrophysics and Space Sciences (CIRAS), USACH

³ Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Adolfo Ibañez

⁴ _

⁵ Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile

Resumen

In this work, we utilized a dataset of 60 relativistic electron enhancement events measured at geostationary orbit (GEO) to compare against in situ measurements from the Van Allen Probes mission and study the radial response of outer belt fluxes and the correlation between the fluxes at GEO and those at lower L-shells closer to the Earth. The enhancement events occurred between 1 October 2012 and 31 December 2017 and were identified using Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) 15 > 2 MeV. We compare the events with fluxes measured by the Van Allen probes Energetic Particle, Composition and Thermal Plasma Suite Relativistic Electron-Proton Telescope (ECT-REPT) between $2.5 < L < 6.0$ at the entire range of energies between $E = 1.8$ MeV through $E = 7.6$ MeV. We found that the response of the radiation belts during enhancement events is very homogeneous for $L > 4.0$ and extremely similar for $L > 5.0$ at all studied energies. Post-enhancement maximum fluxes show a remarkable correlation for all $L > 4.0$ for all energy channels, with a maximum correlation at 4.2 MeV. We further studied the characteristic solar wind forcing leading to those relativistic electron enhancement events and characterized the L-dependent response according to the geomagnetic driver of the event.

Agradecimientos

We are grateful for the support of ANID Chile through the FONDECYT grants No. 11251905 (VAP), No. 1240281 (PSM), No. 1249501 (MS), and No. 3250884 (BZQ)



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.23. Lu and Hamilton model for solar flares over a rewiring complex network

Alejandro Zamorano¹, Laura Morales^{2,3,2}, **Denisse Pastén**¹ y Víctor Muñoz¹

¹ Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Santiago, Chile

² INFIP, UBA CONICET, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

³ Ciclo Básico Común y Departamento de Física, Universidad de Buenos Aires, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

Resumen

Presentamos un modelo modificado de tipo Lu & Hamilton en el que usamos una red compleja sobre este modelo, donde las relaciones de vecindad se sustituyen por conexiones de la red, las que pueden modificarse dinámicamente. El modelo representa cada nodo de la grilla como un tubo de flujo, como en el modelo clásico, pero a su vez cada cuadrícula es un nodo con conexiones que evolucionan para capturar los complejos efectos de la reconexión magnética. De esta manera, analizamos cómo cambia la distribución de energía disipada, centrándonos especialmente en el exponente de la ley de potencia α_E , que disminuye con respecto al modelo original debido a los efectos del recableado de la red compleja. Cuando el sistema está dominado por el recableado, presenta un exponente de distribución exponencial β_E , mostrando un decaimiento más rápido de la energía disipada que en el modelo original. Esto genera una dinámica dominada por microlamaradas en escalas de tiempo cortas, lo que provoca que el sistema pierda el comportamiento libre de escala en la energía observado tanto en el modelo original (Lu & Hamilton, 1991) como en configuraciones donde la liberación de energía se debe principalmente al forzamiento en lugar del recableado. Nuestros resultados revelan una clara transición de regímenes de ley de potencia a exponencial a medida que aumenta la probabilidad de recableado, lo que cambia las características de distribución de energía del sistema. Por el contrario, al considerar vecinos topológicos en lugar de locales, la dinámica del modelo se vuelve intrínsecamente no local. Esto genera exponentes de escalado comparables a los reportados en otros sistemas dinámicos no locales.

Agradecimientos

Agradecemos al proyecto FONDECyT No. 1242013 (V.M. and D.P.), y a la beca ANID de Doctorado No. 21231335 (A.Z.). También agradecemos a la beca ACAL que permitió a A.Z. realizar una estadía de investigación en la Universidad de Buenos Aires.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.24. Modelo de aprendizaje automático para estimar la ubicación de la plasmasfera usando datos durante la era de las sondas Van Allen

Antonia Morales¹, Matilde Coello^{1,2}, Bea Zenteno-Quinteros^{1,3} y Victor Pinto^{1,3}

¹ Departamento de Física, Universidad de Santiago de Chile

² Center for Interdisciplinary Research in Astrophysics and Space Sciences (CIRAS), Universidad de Santiago de Chile

³ Center for Interdisciplinary Research in Astrophysics and Space Sciences (CIRAS)

Resumen

El bow shock de la Tierra está formado por la interacción entre el viento solar supersónico y la magnetosfera terrestre que actúa como obstáculo. Como tal, es una región de tremendo interés científico, debido a que entender la transición entre el viento solar prístino y el viento solar turbulento dentro del envoltorio magnético es clave para entender los procesos de transferencia energética hacia la magnetósfera terrestre. El bow shock puede ser clasificado según el ángulo de incidencia entre su vector normal de propagación y la dirección del campo magnético del viento solar; para ángulos entre 0° y 45° se habla de un régimen cuasi-paralelo, mientras que entre los 45° y los 90° la geometría es denominada cuasi-perpendicular. En este estudio utilizamos datos de las sondas THEMIS durante los años 2008 y 2009 para generar una lista de cruces de estas sondas por el bow shock. Estos cruces han sido posteriormente clasificados en función del ángulo de incidencia en el bow shock. para determinar si corresponden a cruces cuasi-perpendiculares o cuasi-paralelos. Con esta clasificación, realizamos un estudio caracterizando la distribución de velocidades de los iones, la intensidad media del campo magnético y los cambios en las distribuciones de fluctuaciones magnéticas en cada uno de ellos.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo de ANID Chile a través de los proyectos FONDECYT N° 11251905 (VAP, CP), N° 3250884 (BZQ), y al proyecto DICYT Postdoctorado 042431PA_Postdoc (MC, VAP).



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.25. Dynamics of the turbulent plasma sheet

Marina Stepanova^{1,2}, Victor Pinto Abarzúa^{1,2} y Cristóbal Espinoza Romo^{1,2}

¹ Departamento de Física, Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile

² Center for Interdisciplinary Research in Astrophysics and Space Sciences (CIRAS), Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile

Resumen

The interaction between a turbulent plasma flow, such as the solar or stellar wind, and a magnetic field acting as an obstacle is a common phenomenon in space and astrophysical plasmas. The Earth's magnetosphere is formed precisely as a result of this type of interaction, and considerable evidence suggests that the geomagnetic tail resembles a turbulent wake behind an obstacle. Turbulent fluctuations in the solar wind are significantly amplified after crossing the bow shock, resulting in turbulent plasma flows within the magnetosheath. The geomagnetic tail itself comprises the plasma sheet, characterized by dense and turbulent plasma, and the tail lobes, filled with rarefied, quasi-laminar plasma. Large-scale vortices in the wake can generate turbulent transport, which occurs both along the plasma sheet (in the X and Y directions) and across it (in the Z direction). Therefore, turbulent fluctuations in all directions must be considered when analyzing plasma transport within the plasma sheet, and the stability of the plasma sheet itself. The interaction between the turbulent plasma sheet and the inner magnetospheric regions is crucial for understanding key magnetospheric processes, such as geomagnetic storms and substorms. Simultaneously, variations in solar wind density, velocity, and the interplanetary magnetic field consistently alter plasma conditions within both the plasma sheet and the inner magnetosphere, albeit through different and incompletely understood mechanisms. Data from the CLUSTER and THEMIS satellites are used to analyze the stability of the turbulent plasma sheet and turbulent transport under varying solar wind conditions and geomagnetic activity levels. The results indicate that the level of turbulence in the plasma sheet, characterized by the eddy diffusion coefficient, correlates with the dawn-dusk electric field and depends on solar wind and IMF parameters during both quiet and disturbed geomagnetic conditions.

Agradecimientos

This work was supported by FONDECYT No 1252149 grant.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.26. Stability of Magnetic Fields in Stellar Interiors

Lautaro Alvear¹, Nicolas Moraga¹, Francisco Castillo², Laura Becerra³, Juan Alejandro Valdivia¹ y Andreas Reisenegger²

¹ Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Las Palmeras 3425, Ñuñoa, Santiago, Chile

² Departamento de Física, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación, Av. José Pedro Alessandri 774, Ñuñoa, Santiago, Chile

³ Centro Multidisciplinario de Física, Vicerrectoría de Investigación, Universidad Mayor, 8580745 Santiago de Chile, Chile

Resumen

Stars in the upper part of the main sequence, neutron stars, and white dwarfs are known to have long-lived magnetic fields. Several theories have been proposed throughout the study of these objects, with the most widely accepted being the fossil field theory, which states that the magnetic fields in these stars are inherited from their formation. Previous works [1,2,3] have studied the stability of axisymmetric magnetic fields in these systems, with the purpose of determining which configurations are possible, establishing an approximate relation that must be satisfied by the poloidal magnetic energy, the toroidal magnetic energy, and the gravitational energy in order to achieve stability of the system. In this work, we extend previous findings by solving the fully compressible magnetohydrodynamic equations for a stably stratified fluid in a spherical domain using spectral methods with the Dedalus v3 code [4], in contrast to previous studies that performed simulations in a Cartesian domain using finite differences. With this, we seek to determine whether the findings of previous studies prove to be general or are instead artifacts of the previously employed model, such as the use of a finite magnetic resistivity outside the star or the presence of an atmosphere around it.

[1] Becerra, L., Reisenegger, A., Valdivia, J. A., & Gusakov, M. (2022). Stability of axially symmetric magnetic fields in stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 517(1), 560-568. [2] Braithwaite, J. (2009). Axisymmetric magnetic fields in stars: relative strengths of poloidal and toroidal components. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 397(2),

763-774. [3] Braithwaite, J., & Nordlund, Å. (2006). Stable magnetic fields in stellar interiors. *Astronomy & Astrophysics*, 450(3), 1077-1095. [4] Burns, K. J., Vasil, G. M., Oishi, J. S., Lecoanet, D., & Brown, B. P. (2020). Dedalus: A flexible framework for numerical simulations with spectral methods. *Physical Review Research*, 2(2), 023068.

Agradecimientos

The authors of this work would like to thank the Maria Ghilardi Venegas Foundation and its PhD grant for partial funding of this work.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.27. Predicción de flujos de electrones relativistas de >2 MeV en órbita geoestacionaria usando técnicas de Deep Learning.

Camila Peña Cifuentes¹, Bea Zenteno-Quinteros¹ y Víctor A. Pinto^{1,2}

¹ Departamento de Física, Universidad de Santiago de Chile

² Center for Interdisciplinary Research in Astrophysics and Space Sciences (CIRAS), Universidad de Santiago de Chile

Resumen

Los electrones relativistas (>2 MeV) en la órbita geoestacionaria (GEO) son de gran interés científico, ya que durante condiciones geomagnéticas perturbadas sus flujos pueden aumentar varios órdenes de magnitud en escalas de tiempo de tan solo horas. Esto representa un riesgo significativo para los satélites, pues la capacidad de estos electrones de penetrar las superficies y acumularse en el interior de los dispositivos puede ocasionar fallas en los circuitos eléctricos, afectando su funcionamiento y provocando daños irreparables. Diversos estudios han mostrado que el flujo de electrones relativistas en GEO presenta una fuerte correlación con diferentes índices geomagnéticos, así como con parámetros de plasma y campo magnético del viento solar. En este contexto, hemos desarrollado un modelo predictivo basado en técnicas de Deep Learning, para pronosticar los flujos de electrones relativistas de >2 MeV en GEO con hasta 24 horas de anticipación. Para ello, empleamos arquitecturas de redes neuronales tipo LSTM y CNN, entrenadas con datos de históricos de flujo de electrones medidos por los satélites GOES a través del instrumento EPEAD, junto con índices geomagnéticos y parámetros del viento solar de la base de datos OMNIWeb.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo de ANID Chile a través de los proyectos FONDECYT N° 11251905 (VAP, CP), N° 3250884 (BZQ), y al proyecto FONDEF IDEA I+D ID25I10556 (VP).



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.28. Two-fluid simulations of ambipolar diffusion in neutron star cores using the Dedalus code

Nicolás Moraga¹, Andrei Igoshev², Andreas Reisenegger³, Calum Skene⁴ y
Rainer Hollerbach⁴

¹ Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile

² School of Mathematics, Statistics and Physics, Newcastle University

³ Departamento de Física, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación

⁴ Department of Applied Mathematics, University of Leeds

Resumen

Neutron stars possess the most powerful magnetic fields observed in the universe. They are grouped into several classes based on their distinct surface magnetic field strengths, rotational periods, and whether they experience accretion from a binary companion. The most magnetized class, magnetars, is particularly interesting for confronting theoretical models of their magneto-thermal evolution with observations as, for example, their high quiescent X-ray emission is likely attributed to the decay of their immense magnetic fields. One candidate mechanism to explain their high emissivity is ambipolar diffusion, which involves the joint motion of charged particles and the magnetic field relative to the neutrons in the star's core. Simulating this mechanism is a very complex task due to the multifluid nature of the core and the nonlinearity of the equations involved. In this talk, we will present our preliminary simulations of the magnetic field evolution in the core using the two-fluid model, where ambipolar diffusion is the main source of energy dissipation. The simulations are performed using the Dedalus pseudo-spectral code, a flexible framework for spectrally solving differential equations in fluid dynamics and plasma physics.

Agradecimientos

Nicolás Moraga acknowledges the Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID)
– Subdirección de Capital Humano, through the doctoral fellowship No. 21210909



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.29. Wave-particle equilibria with heavy ions in weakly collisional space plasmas

Nicolás Villarroel Sepúlveda^{1,2}, Daniel Verscharen², Pablo S. Moya¹,
Rodrigo A. López^{3,4} y Kristopher G. Klein⁵

¹ Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Santiago, Chile

² Mullard Space Science Laboratory, University College London, Dorking, UK

³ Research Center in the Intersection of Plasma Physics, Matter, and Complexity (P²mc),
Comisión Chilena de Energía Nuclear, Santiago, Chile

⁴ Departamento de Ciencias Físicas, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Andres Bello,
Santiago, Chile

⁵ Department of Planetary Sciences, Lunar and Planetary Laboratory, University of Arizona,
Tucson, Arizona, USA

Resumen

Space plasmas are weakly collisional since characteristic time scales related to Coulomb collisions are much larger than those of Larmor gyration or wave-particle interactions. Thus, wave activity is likely to drive some of the non-thermal features that are observed in space plasma velocity distributions, such as temperature anisotropy, beams, and skewness. Therefore, we study how wave-particle interactions shape the velocity distribution functions of minor ions, and how these ions and their statistical properties modify the dispersion relation of electromagnetic waves. To achieve this, we derive the motion of heavy ions in electromagnetic waves using the Boris algorithm. We take the waves to be solutions of the fully kinetic dispersion relation of electromagnetic waves in two-ion component plasmas with parameters representative of the solar wind. We use the Arbitrary Linear Plasma Solver (ALPS) code to derive the linear Vlasov-Maxwell dispersion relation based on the actual distribution of the ions. The test-particles are initially in thermal equilibrium, and their distribution evolves due to interactions with the waves. By solving the dispersion relation using the evolved distributions, we show that the system evolves into a steady wave-particle equilibrium, which

is characterized by a minimization of the interaction and energy transfer between wave and particles.

Agradecimientos

N.V.S. gratefully acknowledges the support provided by the National Agency for Research and Development (ANID) of Chile through the National Doctoral Scholarship 21220616. This scholarship partially funded an internship at the Mullard Space Science Laboratory (MSSL), University College London (UCL). N.V.S. extends sincere gratitude to the staff of MSSL for their hospitality and support during the internship, which greatly contributed to the progress of this work. D.V. is supported by STFC Consolidated Grant ST/W001004/1. We also thank the support of ANID, Chile, through FONDECYT grants No. 1240281 (P.S.M.) and 1251712 (R.A.L). K.G.K. was supported by NASA grant 80NSSC24K0724. We also thank Dr. Abiam Tamburrini (Universidad de Chile), Dr. Jesse Coburn (MSSL-UCL), and Mr. Diego Rodríguez Cid (Pontificia Universidad Católica de Chile) for fruitful discussions. The ALPS project received support from UCL’s Advanced Research Computing Centre through the Open Source Software Sustainability Funding scheme. This study benefited from support by the International Space Science Institute (ISSI) in Bern, through ISSI International Team project 24-612 (“Excitation and dissipation of kinetic-scale fluctuations in space plasmas”).



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.30. Estudio estadístico de la correlación entre el ULF power y los flujos de electrones de alta energía en la magnetosfera interna

Felipe Darmazo Fullerton¹, Bea Zenteno-Quinteros^{2,3}, Victor A. Pinto^{2,3} y Pablo S.Moya¹

¹ Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Santiago, Chile

² Departamento de Física, Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile

³ Center for Interdisciplinary Research in Astrophysics and Space Sciences (CIRAS), Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile

Resumen

Las ondas de ultra baja frecuencia (ULF), en particular aquellas cuya frecuencia se encuentra en el rango de 2 a 100 mHz, son de gran interés científico ya que se generan de manera natural en el viento solar, y pueden mediar los procesos de transferencia de energía hacia el campo magnético terrestre. Estas ondas pueden propagarse dentro de la magnetósfera, especialmente en su región interna y afectar la dinámica de las partículas atrapadas en ella. El estudio de la propagación y efectos de ondas ULF es fundamental para comprender procesos que, entre otras consecuencias, podrían dañar satélites en órbita y afectar tanto las comunicaciones globales como diversas investigaciones científicas en curso. Nuestro estudio se centra en períodos de tormentas geomagnéticas, durante los cuales la interacción entre el viento solar y la magnetosfera terrestre se intensifica de manera significativa, aumentando con ello la relevancia de las ondas ULF. El objetivo principal de este trabajo es analizar la correlación entre los cambios en los flujos de electrones de alta energía y las ondas ULF durante las distintas fases de las tormentas geomagnéticas, usando medidas in-situ en la magnetósfera interna. Para ello, utilizamos datos de flujos de electrones entre 0.47 y 5.2 MeV obtenidos por los instrumentos ECT-REPT y ECT-MagEIS a bordo de la misión Van Allen Probes, junto con mediciones de campo magnético realizadas por el instrumento EMFISIS de la misma sonda., Estos datos hacen posible calcular fluctuaciones del campo magnético y descomponerlas en

sus componentes paralelas y perpendiculares al campo magnético de fondo. A partir de este análisis, es posible calcular el ULF wave power index, un indicador que caracteriza los cambios en el campo magnético asociados a la presencia de ondas ULF, otorgando así una medida cuantitativa del fenómeno. Con ello, realizamos un estudio estadístico de la correlación entre el ULF power y la evolución de los flujos de electrones durante tormentas geomagnéticas ocurridas entre 2013 y 2018.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo de ANID Chile a través de los proyectos Fondecyt N°11251905 (VAP), N° 3250884 (BZQ) y N°1240281 (PSM)



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.31. Differentiate Adiabatic and Non-Adiabatic Mechanisms in the Dynamics of the Outer Radiation Belt During the 25 August 2018 Geomagnetic Storm

Sebastián Echeverría-Veas¹, Bea Zenteno-Quinteros¹, Marina Stepanova¹ y Víctor Pinto¹

¹ Universidad de Santiago de Chile

Resumen

It is broadly accepted that the Earth's outer radiation belt electron variability is linked to the effects of geomagnetic storms. However, the processes of energization, transport, and losses governing the outer belt dynamics are complex to isolate. This is mainly because in-situ measurements are obtained from single-point moving satellites. Thus, it is challenging to distinguish between adiabatic processes, in which the populations migrate in response to changes in the magnetic field, and non-adiabatic processes, where actual energization or removal of the population occurs. As such, accurately quantifying adiabatic and non-adiabatic processes in the radiation belts is important to understand the underlying physical processes that the particles undergo. The phase space density (PSD) transformation is a widely used tool for studying particle acceleration and transport processes, which describe electrons' fluxes as a function of the three adiabatic invariants: magnetic moment, bouncing, and drifting motion of the particle around the Earth's magnetic field.

In this work, we present a case study of the evolution of the phase space density of the Earth's radiation belt electron population, calculated in the adiabatic invariant frame of reference during the 25 August 2018, geomagnetic storm, to quantify adiabatic vs non-adiabatic response. Using data from the Relativistic Electron-Proton Telescope (ECT-REPT) and Magnetic Electron-Ion Spectrometer (ECT-MagEIS) instruments aboard the Van Allen Probes Energetic Particle, Composition and Thermal Plasma Suite (ECT), we processed

electron fluxes in the energy range of 30 keV to 6.3 MeV to perform the PSD transformation of electron fluxes with a self-developed code. For the algorithm, we implemented the T89 and T96 models (Tsyganenko, 1989, 1996). The studied event is triggered by a Coronal Mass Ejection (CME) and is characterized by a decrease of the SYM-H index to a minimum of -205 nT, with significant substorm activity during the main and recovery phase. Here, we show that by obtaining PSD as a function of the third adiabatic invariant L^* , we are able to differentiate between adiabatic and non-adiabatic processes in the radiation belts, thus laying the ground for a fundamental understanding of the underlying physical mechanisms that the particles undergo. The results are promising as they may allow us to determine whether an enhancement (depletion) is due to acceleration (loss) processes, transport, or simply spatial rearrangement of the particles following geomagnetic activity.

Agradecimientos

We are grateful for the support of DICYT Project 042531SSSA_Postdoc (MS, SEV) and ANID Chile through the FONDECYT grants No. 11251905 (VAP), No. 3250884 (BZQ) and 1252149 (MS)



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.32. Quantifying Plasma Expansion Effects in the Propagation of Electrostatic Waves: A Theoretical Approach through the Expanding Box Model

Sebastián Echeverría-Veas¹, Felipe A. Asenjo² y Pablo S. Moya³

¹ Universidad de Santiago de Chile

² Universidad Adolfo Ibáñez

³ Universidad de Chile

Resumen

Multi-scale modeling of expanding plasmas is crucial for understanding the dynamics and evolution of various astrophysical plasma systems such as the solar and stellar winds. In this context, the Expanding Box Model (EBM) provides a valuable framework to mimic plasma expansion in a non-inertial reference frame, co-moving with the expansion but in a box with a fixed volume, which has been helpful for numerical simulations. The EBM has been key in providing a robust framework for including plasma expansion in heating dynamics, being a fundamental and active research area. There is a global consensus that global plasma expansion dynamics, together with non-linear effects such as turbulence, weak collisionality, and wave-particle interactions, play a crucial role in regulating anisotropies and heating in the solar wind. The EBM has several applications over the years in MHD and kinetic plasma simulations, focusing on correlating non-adiabatic heating processes with plasma expansion, particularly in the context of wave propagation and interactions. However, theoretical models to describe wave propagation in the EBM framework have yet to be explored and studied, allowing for direct comparison with simulations.

Recent theoretical models have included the EBM transformations in the kinetic equation for plasma dynamics, described through the collisionless Vlasov equation, and thus closing the gap between theory and simulations. Based on the results of Echeverría-Veas et al. (2023), we are now able to theoretically study and quantify the effects of plasma expansion on kinetic wave propagation. In this work, we develop a novel application of the EBM-Vlasov equation

to study Langmuir waves, introduced as a first textbook example of a theoretical description of electrostatic wave propagation in the co-moving frame. Through this work, we aim to set the main ideas and approximations to theoretically quantify the expanding effects at kinetic scales, being the stepping stones to build a robust description of the EBM consequences in the study of well-known plasma waves.

We followed textbook linear theory to obtain expanding corrections to the dispersion relation of electrostatic waves without a background magnetic field. Due to the mathematical complexity of the equations introduced by the EBM transformations, we developed a quasilinear-like approximation to consider the expansion as a second-order perturbation, which slowly affects the evolution of the quasi-equilibrium velocity distribution function. Through this procedure, we were able to solve the thermal corrections to Langmuir waves. Our results show that plasma expansion slowly affects wave dynamics by damping the waves and inducing a small redshift. Nevertheless, when computing solar wind conditions, Langmuir modes are not strongly affected by the expansion. We expect expansion to play a significant role in damping slower waves produced by heavier particles and in the presence of a background magnetic field.

Agradecimientos

We acknowledge DICYT Project 042531SSSA_Postdoc (SEV) and the support of ANID, Chile, through the Fondecyt grant No. 1240281.

S.33. Double Power-law Electron Spectra in Solar Flares Due to Temperature Anisotropy Instabilities

Mario Riquelme¹ y Martín Astete¹

¹ Universidad de Chile

Resumen

Solar flares are powerful events that efficiently accelerate particles into nonthermal energies. In particular, the spectra of accelerated electrons show a rich diversity of nonthermal tails that include single and double power-law shapes, with the latter being dominated by downward (or knee-like) breaks. Despite extensive observational and theoretical efforts, the physical processes responsible for shaping this diversity remain poorly understood.

We investigate whether electron temperature anisotropy instabilities in above-the-loop-top (ALT) regions in the solar corona can help accounting for this spectral diversity of the flares. In particular, we explore how the resulting spectra depend on key plasma parameters: the initial electron temperature T_e and the initial ratio of electron cyclotron to plasma frequency, $f_e = \omega_{ce}/\omega_{pe}$. We perform two-dimensional, fully kinetic particle-in-cell (PIC) simulations of collisionless, magnetized plasmas subject to continuous shear-driven magnetic amplification. The adiabatic evolution of the plasma naturally generates electron temperature anisotropy with $T_{e,\text{perp}} > T_{e,\text{parallel}}$, where $T_{e,\text{perp}}$ ($T_{e,\text{parallel}}$) is the electron temperature perpendicular (parallel) to the magnetic field. This anisotropy eventually drives electromagnetic instabilities capable of scattering and accelerating electrons.

The simulations consistently produce nonthermal tails in the electron spectra whose hardness increases with the initial f_e , while depending only weakly on T_e . The dependence on f_e is explained by a transition from the instability being dominated by oblique quasi-electrostatic (OQES) to parallel electromagnetic z (PEMZ) modes, which occurs when $f_e \sim 1.2$ -1.5. For runs in which $f_e \lesssim 1.2$, the spectra exhibit double power-law shapes with downward (knee-like) breaks, and the electron scattering is dominated by OQES modes, whereas in runs with $f_e \gtrsim 1.5$, PEMZ modes dominate and produce harder double power-law

spectra with upward (elbow-like) breaks. Cases that include the $f_e \sim 1.2-1.5$ transition yield nearly single power-laws ending with a bump break.

Our results support the scenario in which temperature anisotropy instabilities provide a robust and flexible mechanism for electron acceleration in ALT regions, offering a promising framework to help explaining the wide range of spectral shapes reported by solar flare observations.

Agradecimientos

We gratefully acknowledges support from the ANID-FONDECYT grant 1191673, as well as from the Center for Astrophysics and Associated Technologies (CATA; ANID Basal grant FB210003). The numerical simulations used in this research were performed in the supercomputing infrastructure of the NLHPC (CCSS210001) at the Center for Mathematical Modeling (CMM) of University of Chile.



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

S.34. Particle Acceleration in the Collisionless Magnetorotational Instability

Astor Sandoval¹ y Mario Riquelme²

¹ Nucleo Milenio TITANs

² Universidad de Chile

Resumen

The magnetorotational instability (MRI) is one of the primary mechanisms responsible for driving turbulence and efficient outward transport of angular momentum in astrophysical accretion disks. In low-luminosity disks around black holes (e.g., Sgr A* at the center of the Milky Way and M87*), the plasma is hot and tenuous, with infrequent particle–particle interactions, rendering the system effectively collisionless. Such conditions give rise to a variety of non-thermal phenomena, including different temperatures between ions and electrons, pressure anisotropy, and particle acceleration. Understanding these processes is essential for interpreting cutting-edge observations of extreme accreting systems with instruments such as the Event Horizon Telescope, GRAVITY, and CTA.

We present results from two-dimensional, fully kinetic particle-in-cell (PIC) simulations of the collisionless MRI in the stratified shearing-box approximation, which models a local patch of the disk while accounting for its vertical structure. Our simulations capture disk expansion, as well as the emergence of particle and magnetic outflows. Our simulations also show dynamo-like activity and non-thermal particle acceleration, characterized by a sudden injection phase dominated by non-ideal electric fields, followed by sustained acceleration driven by ideal electric fields in a manner consistent with Fermi-like processes.

Agradecimientos

This work was funded by ANID, BASAL, FB210003



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.35. Dynamic spectra of solar radio emissions

Rodrigo A. López¹, Marian Lazar², Luiz F. Ziebell³, Peter H. Yoon⁴ y Stefaan Poedts²

¹ Research Center in the intersection of Plasma Physics, Matter, and Complexity (P²mc),
Comisión Chilena de Energía Nuclear

² Centre for Mathematical Plasma Astrophysics, Department of Mathematics, KU Leuven, Leuven,
Belgium

³ Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brazil
Instituto de Física,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil

⁴ Institute for Physical Science and Technology, University of Maryland, College Park, MD, USA

Resumen

Solar type II and III radio bursts are key tracers of energetic processes in the solar corona and interplanetary medium, characterized by dynamic spectra with decreasing frequency as their sources propagate outward. While past models have relied on approximate analytical approaches, we present here self-consistent weak-turbulence (WT) simulations of dynamic spectra generated by electron beam–plasma interactions. The WT framework captures both the linear excitation of Langmuir waves through the bump-on-tail instability and their nonlinear couplings with ion-sound and electromagnetic modes, leading to the fundamental and harmonic radio emissions. By embedding the WT results into a background density profile falling as an inverse square of the distance from the solar source, we construct synthetic spectra for type II and III bursts. The simulations reproduce the steep frequency drift of type III emissions driven by fast flare-accelerated beams, as well as the more gradual frequency drift of type II emissions associated with CME-driven shocks. Upon making a qualitative comparison with typical solar radio emission events, we find that our first-principle-based synthetic dynamic spectra are in good agreement. This approach opens the way toward more realistic large-scale models linking kinetic plasma processes with MHD simulations and direct measurements of solar radio sources.

Agradecimientos

RAL acknowledges the support of ANID, Chile, through the FONDECyT grant No. 1251712. LFZ acknowledges support from CNPq (Brazil), grant No. 303189/2022-3, and partial support by Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001. PHY was supported by NASA Grant 80NSSC23K0662, NSF Grant 2203321, and the Department of Energy (DOE DE-SC0022963) through the NSF/DOE Partnership in Basic Plasma Science and Engineering. These results were also obtained in the framework of the projects C16/24/010 (C1 project Internal Funds KU Leuven), G002523N (FWO-Vlaanderen), 4000145223 SIDC Data Exploitation (SIDEX2), ESA Prodex, Belpo project B2/191/P1/SWiM.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.36. Primeros Resultados Científicos de la Misión SUCHAI-1: Caracterización del Plasma Ionosférico y el Ambiente de Radiación con un Nanosatélite Chileno

Joaquín Díaz Peña¹ y Marcos Díaz Quezada¹

¹ Universidad de Chile

Resumen

La misión SUCHAI-1, el primer nanosatélite desarrollado y operado en Chile, fue diseñada como una plataforma para la validación de tecnología espacial y la realización de ciencia de bajo costo en órbita terrestre baja (LEO). Lanzado en 2017, este CubeSat 1U marcó un hito para la investigación espacial en el país, integrando una carga útil científica para el estudio in-situ del entorno espacial. Este trabajo presenta los primeros resultados obtenidos de sus dos instrumentos principales: una sonda de Langmuir y un contador de partículas a bordo. La sonda de Langmuir, desplegada en órbita, ha realizado mediciones directas del plasma ionosférico. Se presentan las curvas características corriente-voltaje (I-V) obtenidas, de las cuales se han derivado valores de densidad electrónica (N_e) y temperatura de electrones (T_e). Por su parte, el contador de partículas basado en semiconductores fue diseñado para monitorear el ambiente de radiación. Los datos revelan un aumento significativo en la tasa de conteo de partículas energéticas durante los tránsitos del satélite por la Anomalía del Atlántico Sur (SAA). Esta correlación geográfica no solo confirma la funcionalidad del detector, sino que también subraya su capacidad para mapear regiones de alto flujo de radiación. En conjunto, estos resultados demuestran la capacidad de la misión SUCHAI-1 para generar datos científicos valiosos, validando el uso de plataformas CubeSat para la investigación de la física del plasma y el clima espacial.

Agradecimientos

Agradecimientos a ANID-Anillo ATE220057



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.37. Tratamiento y análisis de datos de ondas de ultra baja frecuencia provenientes del viento solar

Juan Carlos Agurto Veragua¹, Víctor A. Pinto^{2,3} y Pablo S. Moya¹

¹ Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile

² Departamento de Física, Universidad de Santiago de Chile

³ Center for Interdisciplinary Research in Astrophysics and Space Sciences (CIRAS)

Resumen

Las ondas de ultra baja frecuencia (ULF) son ondas con frecuencia del orden de 2 a 100 mHz que provienen del viento solar, y se propagan por el espacio interplanetario. Al llegar a la Tierra, interactúan con el campo magnético terrestre provocando variaciones periódicas globales en este. La interacción Sol-Tierra presente es relevante dado que el estudio de las variaciones en el campo magnético que provocan las ULF nos permite analizar la transferencia de energía solar y predecir eventos que, por ejemplo, puedan dañar los satélites en órbita afectando a las comunicaciones en el planeta. Nuestro objetivo en este trabajo es analizar cómo la energía de las ondas ULF interactúa con la magnetósfera, y cómo esta interacción afecta el clima espacial en el sistema Sol-Tierra en distintos eventos como tormentas solares, centrándonos en las variaciones del campo magnético. Para ello combinamos el análisis de datos provenientes de la sonda Advanced Composition Explorer (ACE) con herramientas de la física computacional y el ya existente índice de potencia de ondas ULF (ULF wave power index) para establecer correlaciones de nuestros datos con el índice de tiempo de perturbación de tormentas solares (Dst index). Los resultados que obtuvimos muestran una correlación significativa entre el índice de potencia de ondas ULF y las variaciones del campo magnético en las distintas fases de una tormenta solar.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo de ANID Chile a través de los proyectos Fondecyt N°11251905 (VAP) y N°1240281 (PSM).



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.38. Axially-symmetric magnetic field evolution in neutron stars

Francisco Castillo¹, Nicolás Moraga², Dmitry Ofengeim³, Andreas Reisenegger¹, Juan Alejandro Valdivia², Mikhail Gusakov⁴, Elena Kantor⁴ y Alexander Potekhin⁴

¹ Departamento de Física, Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación, Chile

² Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile

³ Racah Institute of Physics, The Hebrew University, Jerusalem 91904, Israel

⁴ Theoretical Astrophysics Department, Ioffe Institute, St. Petersburg, Russia

Resumen

Neutron stars display a variety of magnetic field strengths that seem to correlate with their ages, indicating a potential decay of the magnetic field. Likely, the primary process promoting the evolution of the magnetic field in their cores is ambipolar diffusion, which involves the joint motion of charged particles and the magnetic field in relation to the neutrons. This process strongly depends on the magnetic field strength and thus has been considered to explain the high quiescent X-ray luminosity observed in some magnetars. Given its nature, accurate numerical simulations considering ambipolar diffusion must account for the independent motion of the different particle species in the core, where at least two fluid simulations (charged particles and neutrons) are desirable. However, these can be numerically challenging and have not been widely studied in the literature.

Here, we present axially symmetric magnetohydrodynamic simulations of the long-term magnetic evolution of a neutron star core composed of normal matter under the influence of ambipolar diffusion, where the core is modeled as a two-fluid system consisting of neutrons and a charged-particle fluid (protons and electrons), coupled to the magnetic field. We focus on two limiting cases: The "strong" ($T > \sim 5 \times 10^8 \text{K}$) and "weak coupling" ($T < \sim 5 \times 10^8 \text{K}$) regimes. In these contexts, we follow its evolution considering both constant and variable temperatures and discuss their implications.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.39. Investigating relativistic electron variability in the Earth's outer radiation belt: A case study of ULF wave-driven electron losses during geomagnetic storms

Bea Zenteno-Quinteros^{1,2} y Víctor A. Pinto^{1,2}

¹ Departamento de Física, Universidad de Santiago de Chile

² Center for Interdisciplinary Research in Astrophysics and Space Sciences (CIRAS), Universidad de Santiago de Chile

Resumen

The Earth's outer radiation belt is a region in the inner magnetosphere where highly energetic charged particles are trapped by the planet's dipole-like magnetic field, primarily electrons in the 0.5 - 10 MeV range. These trapped particles exhibit three quasi-periodic motions — gyromotion, bounce motion between magnetic mirror points, and drift motion around the Earth — each associated with a corresponding adiabatic invariant. The outer belt is highly dynamic, responding to solar wind variations associated with solar activity. Changes in relativistic electron fluxes may arise from: (1) adiabatic processes, in which particles migrate following slow changes in the magnetic field while conserving their invariants, or (2) non-adiabatic processes, where one or more invariants are violated. The non-adiabatic evolution of this system results from the complex interplay of mechanisms driving particle acceleration, transport, and loss. During geomagnetic storms, ultra-low frequency (ULF) wave-particle interactions play a key role in these processes. Accurately predicting the belt's dynamics during such periods, requires considering the combined effects of all these competing mechanisms. However relativistic electron losses have received comparatively less attention. In this work, we perform a case-by-case study of ULF wave activity and the response of the outer radiation belt in terms of electron loss during geomagnetic storms. For this analysis, we use magnetic field measurements from the EMFISIS-MAG instrument onboard the Van

Allen Probes. We derive time series of ULF wave power during geomagnetically active periods, enabling us to identify storms with enhanced ULF activity. Electron flux measurements are obtained from the ECT- REPT and ECT-MagEIS instruments onboard the same mission, covering energies from tens of keV up to ~ 10 MeV. We transform the electron fluxes into phase space density (PSD), expressed in adiabatic invariant coordinates, using a locally developed algorithm. The PSD representation allows us to identify signatures of non-adiabatic processes affecting trapped particles, distinguishing them from adjustment due to adiabatic evolution. We identify electron loss driven by ULF waves in the outer radiation belt during selected storms and assess the conditions under which these waves are most effective, in terms of radial location and particle energy. This work represents a first step towards understanding the outer belt's response to geomagnetic storms regarding electron loss, and aims to advance our knowledge of radiation belts variability.

Agradecimientos

We are grateful for the support of ANID Chile through FONDECYT grants No. 3250884 (BZQ) and No. 11251905 (VAP).



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.40. Flujos de salida ultra relativistas en reconexión magnética asimétrica.

Maricarmen A. Winkler¹ y Felipe A. Asenjo²

¹ Universidad Adolfo Ibáñez

² Universidad Adolfo Ibáñez

Resumen

La reconexión magnética es un proceso fundamental en plasmas altamente conductores, responsable de convertir energía magnética en energía cinética y térmica, y está presente en una amplia variedad de entornos astrofísicos. Los modelos tradicionales suelen asumir condiciones simétricas entre los flujos de entrada de plasma, pero observaciones en la heliosfera y en sistemas astrofísicos muestran que la asimetría es frecuente. En este trabajo se utiliza el modelo de Koide de magnetohidrodinámica relativista de un fluido para plasmas de pares, que incluye efectos térmico-inerciales, para generalizar la teoría de Sweet–Parker de reconexión magnética, utilizando condiciones asimétricas en los flujos de entrada del plasma. A partir de relaciones de continuidad, conservación de energía y flujo magnético, se deriva una expresión generalizada para la tasa de reconexión, que recupera el resultado clásico de Cassak–Shay en el límite no relativista. El análisis muestra que, en condiciones extremas de asimetría, el flujo de salida alcanza factores de Lorentz ultra relativistas, muy superiores a los de los flujos de entrada, y que la tasa de reconexión se simplifica a una forma directamente proporcional al campo magnético más débil. Este mecanismo ofrece un canal eficiente de aceleración de partículas, con posibles implicancias en vientos de púlsares, chorros de núcleos activos de galaxias y magnetosferas. Aunque requiere configuraciones específicas, abre una nueva vía para comprender la aceleración de partículas y la generación de emisiones de alta energía en la astrofísica relativista.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecemos el apoyo financiero de los proyectos FONDECYT postdoc No. 3240441 (MAW) y regular No. 1230094 (FAA).



2° CONGRESO CHILENO DE
FÍSICA DE PLASMAS
01 AL 04 DE DICIEMBRE, 2025
VALPARAÍSO, CHILE



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.41. Modelamiento y análisis del perfil de densidad electrónica en la Región D de la Ionósfera utilizando datos del ISI-Riometer.

Fernanda Vera Núñez¹

¹ Universidad de Concepción

Resumen

El principal objetivo de este proyecto es el estudio y caracterización de los perfiles de altura de densidad electrónica en la región D de la ionósfera. Para lograrlo se utilizarán principalmente dos instrumentos: El ISI-Riometer, un instrumento de la Universidad de Concepción que mide la ionósfera a través del análisis de las señales del ruido cósmico de radio (CRN) emitido por la Galaxia; y una ionosonda, dispositivo que emite ondas de radio y mide el tiempo que tardan en reflejarse en la ionósfera. Este estudio se enfocará en comparar el comportamiento ionosférico en condiciones habituales con el comportamiento durante eventos perturbados, como las tormentas solares. Para ello, se revisarán y aplicarán diversos métodos de análisis de datos ionosféricos, utilizando principalmente el modelo empírico PyIRI para obtener perfiles de densidad electrónica. La metodología consistirá en la recopilación y análisis de datos ionosféricos, seguidos de la aplicación de PyIRI para generar modelos locales de la ionósfera bajo condiciones normales. Estos modelos permitirán caracterizar la variabilidad típica de los perfiles de densidad electrónica y serán empleados como referencia para identificar eventos inusuales, los cuales podrán ser detectados posteriormente mediante técnicas de aprendizaje automático, como redes neuronales. Esto permitirá una mejor comprensión de los fenómenos espaciales que afectan la ionósfera, tales como las tormentas solares, el viento solar, los rayos cósmicos, la radiación espacial y las lluvias de meteoros. También facilitará una mejor comprensión de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur (SAA), una región donde el campo magnético terrestre es particularmente débil, lo que permite una mayor penetración de partículas energéticas. Al estudiar cómo estos fenómenos interactúan con el campo magnético y la ionósfera, se podrán esclarecer los mecanismos que contribuyen a esta anomalía y de

cómo el clima espacial influye en las actividades humanas, incluyendo las telecomunicaciones satelitales y los servicios de geolocalización.

Agradecimientos

CePIA, CINC.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.42. Resonant Absorption via 2D Hybrid-PIC Simulations: Kinetic Description

Hugo Alexis Carril¹, Adolfo Figueroa Viñas^{2,3}, Jaume Terradas^{4,5}, Roberto Elías Navarro¹ y Marcel Goossens⁶

¹ Departamento de Física, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Concepción, Concepción 4070386, Chile

² Department of Physics and Institute of Astrophysics and Computational Sciences (IACS), The Catholic University of America, Washington-DC, USA

³ NASA Emeritus Scientist, Heliophysics Science Division, Goddard Space Flight Center, Greenbelt MD, USA

⁴ Departament de Física, Universitat de les Illes Balears (UIB), 07122 Palma, España

⁵ Institute of Applied Computing & Community Code (IAC3), UIB, España

⁶ Centre for Mathematical Plasma Astrophysics, Department of Mathematics, KU Leuven, Celestijnenlaan 200B, B-3001 Leuven, Bélgica

Resumen

Resonant absorption is a known MHD phenomenon where large-scale fluctuations in a plasma exhibiting inhomogeneities in the density, bulk velocity, and/or magnetic fields, locally resonate. The inhomogeneities lead to space-dependent wave dispersion properties, involving local energy transfer to smaller scales via mode conversion[1], damping the large-scale fluctuations and local heating[2]. This phenomenon has been studied in the context of solar corona plasmas[3]. Since fluctuations reach small-scales in the plasma, kinetic-scale dynamics may become relevant and must be studied. The process has been studied via Hybrid-PIC simulations, suggesting interaction mechanisms with particles via resonant wave-particle interactions[4] without providing further kinetic analysis of the physics. In this work, we study resonant absorption via 2D-3V Hybrid-PIC simulations in a collisionless, inhomogeneous, magnetized, pressure-balanced plasma modeling electrons as a massless fluid and protons as kinetic species. Resonant absorption of large-scale fluctuations leads to the generation of Kinetic Alfvén waves at the inhomogeneous regions toward kinetic scales[5]. Interactions

between these waves and the proton distribution, as well as the nature of these processes are investigated and compared with the description provided in Ref.[4]

[1] Terradas, J. et al, *Astrophys. J.* 679, 1611 (2008). [2] Van Doorselaere, T. et al, *Space Sci. Rev.* 216, 140 (2020). [3] Morton, R. J. et al, *Rev. Mod. Plasma* 7, 17 (2023). [4] Vasquez, B., *Geophys. Res. Space Phys.* 110, A10S02 (2005). [5] Carril, H. et al, *Astrophys. J.* 986, 40 (2025).

Agradecimientos

This publication is part of the R+D+i project PID2020-112791GB-I00, financed by MCIN/AEI/10.13039/501100011033. The authors H.A.C. and J.T. acknowledge support from IAC3. This work was partially supported by FONDECYT Grants No. 1240281 and No. 1240697 (R.E.N.); and the Chilean ANID Scholarship No. 21202472 (H.A.C.). A.F.V. would like to thank J.T. for the institutional support as Visiting Professor Fellow at the Department de Física of the Universitat de les Iles Balears (UIB), España, as well as to R.E.N. for his publication support.



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

S.43. CGL revisited in the ultrarelativistic regime

Francisco Ley^{1,2}

¹ University of Wisconsin Madison

² Universidad de Chile

Resumen

Astrophysical plasmas are usually in a turbulent state, and are weakly collisional or collisionless. In these conditions, departures from thermodynamic equilibrium are expected, leading to a plethora of interesting phenomena.

In such conditions, the conservation of adiabatic invariants such as the magnetic moment makes the different components of the pressure tensor to evolve decoupled from each other. Particularly, the pressure tensor components perpendicular and parallel to the direction of the ambient magnetic field evolve differently, which was first described by Chew, Goldberger, and Low, 1956 (CGL) in the nonrelativistic regime.

In this work, a novel solution to the Drift Kinetic Equation (DKE) in absence of heat flows and collisions is presented, and a new pair of CGL equations for the perpendicular and parallel pressures is proposed in the relativistic and ultrarelativistic regimes. We recover the classic CGL evolution in the nonrelativistic regime, and we compare the solution with a numerically solved DKE and PIC simulations for ultrarelativistic temperatures, obtaining consistent results. Preliminary results from linear theory for the proposed distribution function are discussed.

These results can be applied to the study of astrophysical plasmas in extreme temperatures, such as Pulsar Wind Nebulae, and accretion disks around Supermassive Black Holes, from both theoretical and numerical approaches.

Agradecimientos

The author acknowledges Professor Ellen G. Zweibel and Professor Mario Riquelme for their invaluable advice in the development of this work.

S.44. Study on the Impact of Plasma Pressure and Auroral Dynamics on Relativistic Electron Acceleration in the Outer Radiation Belt during Geomagnetic Storms

Ana Inostroza Lara^{1,1}, Joaquín Díaz peñas², Matilde Coello³, Marina Stepanova³, Víctor pinto^{3,4}, Roberto Navarro¹, Miguel Martinez^{5,6}, Elena kolomiytseva^{7,7} y Elizabeta Antonova^{8,8,8}

¹ Universidad de Concepción

² Universidad de Chile

³ Universidad de Santiago

⁴ Universidad de Santiago

⁵ Nasa

⁶ NASA

⁷ Russian technological university

⁸ Space research institute

Resumen

We present an analysis of the relationship between auroral dynamics, plasma pressure, and the acceleration of relativistic electrons in the outer radiation belt during intense geomagnetic storms. Using a multi-event dataset from the Van Allen Probes, we examine variations in relativistic electron fluxes, revealing systematic depletion during storm main phases followed by a recovery-phase enhancement that restores pre-storm flux levels. Spectral slope analysis across multiple L-shells shows minimal variation during quiet and slow recovery intervals, consistent with adiabatic effects, while significant slope changes during main phases indicate the presence of non-adiabatic acceleration processes. Auroral activity is analyzed using multiple ground-based and global datasets, including ionospheric currents, ionospheric potential maps, and auroral energy fluxes from the Ovation Prime model. These results highlight the critical

role of substorm injections and auroral processes in radiation belt reformation and relativistic electron acceleration.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.45. Caracterización de las propiedades magnéticas del envoltorio magnético en función de su tipo de cruce por el arco de choque usando datos de THEMIS

Antonia Morales¹, Matilde Coello^{1,2}, Bea Zenteno-Quinteros^{1,2} y Victor Pinto^{1,2}

¹ Departamento de Física, Universidad de Santiago de Chile

² Center for Interdisciplinary Research in Astrophysics and Space Sciences (CIRAS), Universidad de Santiago de Chile

Resumen

El bow shock de la Tierra está formado por la interacción entre el viento solar supersónico y la magnetosfera terrestre que actúa como obstáculo. Como tal, es una región de tremendo interés científico, debido a que entender la transición entre el viento solar prístino y el viento solar turbulento dentro del envoltorio magnético es clave para entender los procesos de transferencia energética hacia la magnetósfera terrestre. El bow shock puede ser clasificado según el ángulo de incidencia entre su vector normal de propagación y la dirección del campo magnético del viento solar; para ángulos entre 0° y 45° se habla de un régimen cuasi-paralelo, mientras que entre los 45° y los 90° la geometría es denominada cuasi-perpendicular. En este estudio utilizamos datos de las sondas THEMIS durante los años 2008 y 2009 para generar una lista de cruces de estas sondas por el bow shock. Estos cruces han sido posteriormente clasificados en función del ángulo de incidencia en el bow shock. para determinar si corresponden a cruces cuasi-perpendiculares o cuasi-paralelos. Con esta clasificación, realizamos un estudio caracterizando la distribución de velocidades de los iones, la intensidad media del campo magnético y los cambios en las distribuciones de fluctuaciones magnéticas en cada uno de ellos.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo de ANID Chile a través de los proyectos FONDECYT N° 11251905 (VAP, CP), N° 3250884 (BZQ), y al proyecto DICYT Postdoctorado 042431PA_Postdoc (MC, VAP)



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

S.46. Characterizing BL Lac and FSRQ sources via Complex Networks

Macarena Cádiz¹, Walter Max-Moerbeck², Pablo S. Moya¹ y Denisse Pastén¹

¹ Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile

² Departamento de Astronomía, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile

Resumen

Blazars are a subclass of active galactic nuclei (AGN), galaxies that exhibit strong non-stellar emission. This emission arises from the accretion of matter onto a supermassive black hole at the galaxy's center. Relativistic plasma jets can form in the presence of strong magnetic fields, either by extracting energy from the rotating black hole or from the accretion disk itself. Blazars are distinguished by the orientation of their plasma jets, which move at relativistic velocities nearly along our line of sight [1]. Blazars are classified into two types based on their optical spectrum: BL Lacertae objects (BL Lacs) and Flat-Spectrum Radio Quasars (FSRQs). BL Lacs exhibit weak or featureless emission lines, whereas FSRQs display prominent emission lines.

A key challenge in blazar studies is distinguishing between these subclasses (BL Lac and FSRQ) at a fundamental level. To address this, it is essential to develop methods capable of analyzing these systems despite observational and data limitations [2, 3]. In this work, we analyze blazar light curves using complex networks, whose topology can reveal non-trivial correlations.

We model each blazar light curve obtained from the OVRO 40 m Telescope as a network through the Visibility Graph algorithm and analyze their degree distributions, which follow a power law. By studying these distributions, we aim to infer the nature of the correlations in the time series of blazar radio emissions, thereby characterizing the time series. This methodology offers a novel approach to analyzing astrophysical systems and represents a promising avenue for a deeper understanding of blazar variability.

[1] Richards, J.L.; Max-Moerbeck, W.; Pavlidou, V.; King, O.G.; Pearson, T.J.; Readhead, A.C.; Reeves, R.; Shepherd, M.C.; Stevenson, M.A.; Weintraub, L.C.; et al. Blazars in the

FERMI Era: The OVRO 40 m telescope monitoring program. *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 2011, 194, 29. [2] Acosta-Tripailao, B.; Max-Moerbeck, W.; Pastén, D.; Moya, P.S. Assigning Degrees of Stochasticity to Blazar Light Curves in the Radio Band Using Complex Networks. *Entropy* 2022, 24, 1063. [3] Cádiz, M., Gallo-Méndez, I., Moya, P. S., & Pastén, D. (2025). Analysis of persistent and antipersistent time series with the Visibility Graph method. *Chaos, Solitons & Fractals*, 201, 117280.

Agradecimientos

This research was funded by FONDECYT grant number 1240281 (P.S.M.) and supported by ANID MSc grant number 22240809 (M.C.). We are grateful for the OVRO Telescope data supplied.

Experimentales



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

E.1. Cosmología de laboratorio usando ondas de choques de plasmas

Felipe Asenjo¹, Felipe Veloso² y Julio Valenzuela²

¹ Universidad Adolfo Ibáñez

² Pontificia Universidad Católica de Chile

Resumen

Usando un láser es posible generar ondas de choques inicialmente cilíndricas. Al propagarse, estas ondas cambian su dimensionalidad. Aquí se demostrará que la evolución experimental de esta onda de choque produce un análogo a la dinámica de la evolución cosmológica del Universo. La interacción de distintas partes de la onda de choque permite hacer una correspondencia con los diferentes tipos de contenido (materia/energía) que el Universo ha tenido. Incluso es posible tener comportamientos que imiten energía oscura. La evolución de la onda de choque presenta un análogo tan preciso a la cosmología actual, que puede modelarse con la teoría cosmológica estándar actual LambdaCDM. Además, se demuestra que las perturbaciones de la onda de choque son el análogo a ondas gravitacionales cosmológicas. Todo lo anterior muestra que este tipo de experimento abre la posibilidad de estudiar cosmología en laboratorio usando experimentos de física de plasmas de una manera simple y asequible.

Agradecimientos

F. Asenjo agradece a FONDECYT No. 1230094. F. Veloso agradece a FONDECYT No. 1231286. J. Valenzuela agradece a FONDECYT No. 1220533.

E.2. Medición de campo magnético producido por efecto de Biermann battery en una pluma de plasma producido por láser.

Lucas López¹

¹ Pontificia universidad católica

Resumen

El campo magnético está presente en el universo a diferentes escalas, desde el medio inter-cúmulo de galaxias (ICG) hasta estrellas y planetas [1]. Sin embargo, su origen y evolución siguen siendo una incógnita en astrofísica y cosmología [2]. Comprender el mecanismo que lo genera permitiría una visión más completa de la evolución cosmológica, dado que este campo influye en procesos que abarcan desde la formación estelar hasta la dinámica de galaxias [3,4]. Se acepta que el campo magnético cósmico no se originó durante el Big Bang, sino en épocas tempranas del universo, con intensidades del orden de 10^{-20} G [1]. Posteriormente, estos campos semilla se amplificaron mediante turbulencias del plasma y procesos de dinamo, hasta alcanzar intensidades de microgauss observadas en galaxias mediante la rotación de Faraday y el efecto Zeeman [2,5]. El origen de la semilla magnética se ha dividido en dos escenarios: primordial, donde el campo permea todo el espacio, y galáctico, donde se genera en objetos locales y luego se dispersa. Ambos requieren un mecanismo inicial [2,6]. Entre los más estudiados destacan las inestabilidades cinéticas del plasma, como la de Weibel, y el efecto termoeléctrico Biermann battery [1–3]. Este último, descrito por Biermann en 1950 [7], ocurre cuando en un plasma existen gradientes de densidad y temperatura no paralelos. Los electrones, debido a su menor inercia respecto a los iones, fluyen siguiendo dichos gradientes generando una fuerza electromotriz que, de acuerdo con la ley de Faraday, induce un flujo magnético espontáneo [3,6]. Este proceso constituye un candidato sólido para explicar tanto un origen primordial como galáctico del campo semilla. Dado que estudiar estos fenómenos en condiciones astrofísicas resulta complejo, se recurre a la astrofísica de laboratorio. En plasmas producidos por láser (LPP), se han generado campos desde microgauss hasta megagauss y se

ha observado la formación de corrientes que inducen inestabilidades [2,6]. En este contexto, el presente proyecto busca estudiar el campo magnético autogenerado en una pluma de plasma producida por láser sobre un blancometálico. Se emplearán sondas magnéticas triaxiales (B-dot), complementadas con interferometría Mach-Zehnder, con el fin de estimar la densidad electrónica del plasma y su relación con el campo magnético espontáneo.

Referencias [1] Kulsrud, R. M., & Zweibel, E. G. Reports on Progress in Physics, 71(4):046901, 2008. [2] Zhou, M., Zhdankin, V., Kunz, M. W., Loureiro, N. F., & Uzdensky, D. A. PNAS, 119(19):e2119831119, 2022. [3] Pilgram, J. J. PhD Thesis, UCLA, 2023. [4] Matteucci, J. V. H. PhD Thesis, Princeton University, 2020. [5] Grasso, D., & Rubinstein, H. R. Physics Reports, 348(3):163–266, 2001. [6] Zweibel, E. Physics, 6:85, 2013. [7] Biermann, L. Zeitschrift Naturforschung Teil A, 5:65, 1950.

Agradecimientos

Agradecimientos al: Grupo de plasmas del instituto de física de la PUC. Fondecyt regular 1220533.

E.3. Generation of Turbulence in Conical Wire Array Plasma Jets and its Effect in the Thomson Scattering Diagnostic.

Consuelo Mimica¹

¹ Pontificia Universidad Católica de Chile

Resumen

En la actualidad, se cree que la turbulencia presente en una variedad de experimentos de física de plasmas podría estar afectando a diversos diagnósticos implementados y, por lo tanto, interfiriendo en el proceso de obtención de parámetros clave de los plasmas experimentales. Específicamente, en el caso del diagnóstico scattering de Thomson, debido al ensanchamiento de los espectros de la característica 'ion feature' resultante, se cree que la temperatura iónica del plasma podría estar siendo sobreestimada debido a este "ensanchamiento" artificial [1]. Dado este comportamiento, hemos diseñado e implementado una plataforma experimental para la investigación y el estudio de la turbulencia hidrodinámica del plasma enfocada en estos diagnósticos clave, al inducir externamente turbulencia en jets de plasma supersónicos mediante la inserción de mallas plástica con aperturas periódicas de 374 μm [2, 3]. Además, hemos implementado un refractómetro de imágenes [4], junto a una línea de visión de Shadowgraphy, con el propósito de detectar gradientes mínimos de densidad electrónica en el plasma. Como resultado, hemos logrado encontrar el ensanchamiento de los espectros de scattering de Thomson en la zona de interés, con un aumento significativo en la temperatura iónica dadas las mismas condiciones de potencia pulsada.

Referencias:

[1] S. V. R. Rocco et al. "Dispersión Thomson Resuelta en el Tiempo en Plasmas Gas-Puff Z-Pinch en el Tiempo de Pinch". En: IEEE Transactions on Plasma Science 46.11 (2018), pp. 3906-3911.

[2] Geneviève Comte-Bellot y Stanley Corrsin. "El uso de una contracción para mejorar la isotropía de la turbulencia generada por la malla". En: Journal of Fluid Mechanics 25.4

(1966), 657–682.

[3] J. Meinecke et al. "Amplificación turbulenta de campos magnéticos en ondas de choque producidas por láser en laboratorio". En: *Nature Physics* 10.7 (2014), pp. 520-524. ISSN: 1745-2473.

[4] J. D. Hare et al. "Un refractómetro de imágenes para mediciones de fluctuaciones de densidad en plasmas de alta densidad energética". En: *Review of Scientific Instruments* 92.3 (2021), p. 033521. ISSN: 0034-6748.

Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por FONDECYT 1220533 y ANID BECAS/DOCTORADO NACIONAL 21251992.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

E.4. Rotaciones en plasmas compresionales magnetizados

Pelayo Phillips¹, Julio Valenzuela¹, Miguel Escalona¹, Pedro Retamales¹ y Marco Ribeiro¹

¹ Pontificia Universidad Católica de Chile

Resumen

La configuración de Gas-puff Z-pinch se ha convertido en una pieza fundamental del estudio de plasmas de altas densidades debido a sus usos como una fuente eficiente de neutrones y rayos X, y debido a su relevancia para la fusión magneto-inercial. Recientemente se descubrió que la aplicación de un campo axial en el plasma, usado normalmente para estabilizarlo, induce una fuerte rotación consistente con la propiedad de isorotación. El mecanismo exacto por el cual se genera este efecto no se ha determinado hasta el momento, y, dado que solo hay una publicación que logró replicar este efecto, hay varios aspectos de este fenómeno que no han sido investigados aún, especialmente sobre cómo se ve afectada la dinámica completa del pinch y como esto afecta a la energía final del plasma.

En el presente trabajo se describe el desarrollo de una configuración de Gas-puff Z-pinch magnetizado para el generador de potencia pulsada Llampüdkeñ por medio de la fabricación de bobinas de Helmholtz, lo que se utilizó para estudiar un plasma de argón magnetizado utilizando dos bobinas y también con una bobina para aumentar el campo radial. Para el estudio del plasma, se aplicó Thomson Scattering por medio de un láser de 532 nm con 1 J de energía y 10 ns de ancho, cuya luz fue recolectada por medio de 3 arreglos de 25 fibras que fueron colocados ortogonales al láser, lo que permitió medir la velocidad radial, azimutal y axial del plasma con una resolución espacial de $0.2 \mu\text{m}$ y temporal de 2 ns. En conjunto a esto, se utilizaron diodos, diagnósticos eléctricos, una cámara XUV MCP y Shadowgrafía, lo que en conjunto con Thomson Scattering permitió realizar una descripción del balance energético según el campo aplicado, un estudio de las inestabilidades helicoidales generadas, y una descripción temporal detallada de la dinámica del plasma y sus parámetros, lo que

incluye la densidad iónica y electrónica, el grado de ionización, y las temperatura iónica y electrónica.

Nuestros resultados sugieren que el campo magnético radial es el principal responsable de la rotación, ya que la rotación va en la dirección de $J_z \times B_r$, y hay un aumento considerable en la velocidad de azimutal del plasma al aumentar este campo, en donde se llegó a alcanzar velocidades superiores a la velocidad de implosión del plasma de hasta 119.6 ± 4.4 km/s. El balance energético mostró que la aplicación de un campo elimina en gran parte las pérdidas de energía cinética debido a la componente axial de la velocidad, lo que significa que la implosión es axialmente uniforme y que la energía termal final debería aumentar. Sin embargo, el trabajo requerido para comprimir las líneas de campo y la energía cinética de la componente azimutal de velocidad generan pérdidas importantes en la energía termal final, lo que afecta negativamente a cualquier aplicación de fusión que podría tener el Gas-puff.

Agradecimientos

Agradecimientos al proyecto FONDECYT Regular 1220533, al proyecto FONDECYT Regular 121131 y al proyecto FONDECYT Postdoctorado 23040 por financiar y hacer posible este trabajo.



2° CONGRESO CHILENO DE
FÍSICA DE PLASMAS
01 AL 04 DE DICIEMBRE, 2025
VALPARAÍSO, CHILE



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

E.5. ESTUDIO DE LA EMISIÓN DE IONES USANDO DIFERENTES MÉTODOS DE DETECCIÓN Y ANÁLISIS EN UN PLASMA FOCUS DE UN KILO JOULES

Mauricio Badilla¹, José Moreno^{2,1}, Cristian Pavez^{2,1}, Sergio Davis^{2,1}, Jalaj Jain^{2,1} y Leopoldo Soto^{2,1}

¹ Universidad Andrés Bello, Departamento de ciencias físicas

² Centro de Investigación en la Intersección de Física de Plasma, Materia y Complejidad, P2mc,
Comisión Chilena de Energía Nuclear

Resumen

Actualmente, dado la gran versatilidad de las emisiones en los dispositivos Plasma Focus (PF) y sus potenciales aplicaciones en diversos campos[1-4], ha surgido un gran interés en estudiar y caracterizar este tipo de dispositivos PF, de modo de operarlas como potenciales fuentes de radiación ON-OFF portátiles y seguras. En la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN), como parte del programa de caracterización de los dispositivos PF de baja energía (~ 1kJ) desarrollados en ella, se ha estudiado la emisión de iones usando diferentes gases como son: H₂, He, N₂, Ar, O₂ y CH₄. La estimación de la energía y el grado de ionización de los iones se ha hecho inicialmente a través del método de Tiempo de Vuelo (ToF), usando un sistema colector de grafito que opera en modo colector de iones con un potencial de -200V, tipo Copa de Faraday. Por otro lado, tanto la medición del flujo de iones, obtenida también por este medio, como la energía de los iones es contrastada con mediciones hechas utilizando un espectrómetro de Thomson de campos paralelos, utilizando inicialmente películas de marcación de trazas de partículas (SSNTD), CR39, la cual se espera que posteriormente sea reemplazada por un sistema de detección de respuesta en tiempo real como son las placas MCP. Resultados preliminares muestran cierto nivel de acuerdo con las medidas obtenidas para iones de distinto tipos y grados de ionización. Los experimentos han sido realizados en

un dispositivo plasma focus de 1,2kJ (PF-2kJ), para diferentes presiones y voltajes de carga. Referencias: [1] M. Sadowski, J. Zebrowski, E. Rydygier, and J. Kucinski, *Plasma Physics and Controlled Fusion*, 30, 763 (1988). [2] P. Silva, J. Moreno, L. Soto, L. Birstein, R. E. Mayer, and W. Kies, *Appl. Phys. Lett.* 83, 3269 (2003). [3] Jain, J., Moreno, J., Bora, B., Soto, L. *Results in Physics*, 23, 104016 (2021). [4] Valentina Verdejo, Analía Radl, Joan-Francesc Barquinero, Jalaj Jain, Sergio Davis, Cristian Pavez, Leopoldo Soto, José Moreno, *J. Appl. Phys.* 133, 163302 (2023).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto Fondecyt Regular 1240375.

E.6. Caracterización de nuevo inyector de gas tipo Z-pinch con implemetación preliminar de técnicas PLIF/LIF

Claudio Ignacio Huerta Arancibia¹

¹ Pontificia Universidad Católica de Chile

Resumen

La caracterización del nuevo inyector utilizado para aplicar confinamiento tipo Z-pinch es fundamental para garantizar la correcta formación del plasma, dado que es necesario sincronizar múltiples parámetros para que la corriente se dispare en el momento adecuado. Las técnicas de interferometría laser nos permite medir y caracterizar parámetros del inyector sin alterar ni interferir con el gas. además, se realizaron simulaciones tipo CDF en ANSYS Fluent para predecir el comportamiento del gas, incluyendo la formación de ondas de choque y posibles turbulencias. Posteriormente, se llevarán a cabo experimentos preliminares usando LIF y PLIF, técnicas que permiten obtener perfiles de densidad excitando las moléculas de acetona previamente mezcladas con el gas mediante un láser UV, cuya fluorescencia es capturada por una cámara para su posterior análisis, estos resultados luego se comparan con los de las simulaciones, validando así la configuración para su posterior implementación en llanpudken (PUC-Chile). Este conjunto de simulaciones y diagnósticos experimentales proporciona información crucial para optimizar la inyección y lograr plasmas reproducibles, ya sea con fines de estudio fundamental o para experimentos de fusión nuclear.

Agradecimientos

Agradecemos a la Pontificia Universidad Católica de Chile por brindarnos el apoyo institucional necesario para el desarrollo de esta investigación, así como al Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (Fondecyt) por el financiamiento otorgado.

E.7. Influencia de la geometría de arreglos cónicos de alambre en la dinámica y estructura interna de jets de plasma

Luisa Izquierdo¹, Felipe Veloso¹, Miguel Escalona¹, Gonzalo Avaria² y Julio Valenzuela¹

¹ Pontificia Universidad Católica de Chile

² Universidad Técnica Federico Santa María

Resumen

Los jets de plasma producidos por arreglos cónicos de alambres se utilizan ampliamente en física de plasmas de alta densidad de energía y astrofísica de laboratorio [1–3]. Aunque estudios previos han demostrado su relevancia y escalabilidad a escenarios astrofísicos [2,3], la caracterización experimental detallada de su estructura interna aún enfrenta limitaciones.

En esta presentación mostraré nuevos resultados experimentales obtenidos en el generador de potencia pulsada Llampudken. Se investigó la influencia de la geometría de los arreglos cónicos en los jets de plasma producidos, para lo cual diferentes ángulos de apertura fueron estudiados. El plasma se caracterizó combinando diversas técnicas de diagnóstico: deflectometría Moiré-Schlieren, espectroscopía de emisión óptica y Thomson Scattering. La combinación de estos diagnósticos permite obtener mediciones resueltas espacialmente de densidad electrónica, temperaturas de electrones e iones y velocidad de propagación del plasma.

Nuestros resultados muestran que los perfiles de densidad y temperatura se mantienen en gran medida independientes de la geometría cónica, mientras que la velocidad de propagación aumenta con el ángulo de apertura. Se observa un claro desacoplamiento térmico entre electrones e iones, determinado por la competencia entre intercambio colisional de energía y enfriamiento radiativo. Adicionalmente, la incorporación de una apertura en la configuración experimental evidencia que experimentos previos podrían haber sobreestimado la densidad del chorro al incluir contribuciones de flujos de plasma parásitos.

Estos hallazgos establecen nuevas referencias para la caracterización interna de chorros de plasma de arreglos cónicos, apoyan su escalabilidad a condiciones astrofísicas y motivan su aplicación en futuros experimentos de interacción plasma-plasma y formación de choques. Esta presentación resume los resultados descritos en [4], actualmente bajo revisión.

Referencias [1] L. Izquierdo et al., Results in Physics (2022) [2] S. Lebedev et al., IEEE Trans. Plasma Sci. (2002) [3] F. Veloso et al., J. Phys. Conf. Ser. (2016) [4] L. Izquierdo et al., arXiv:2507.05652 (2025)

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por los proyectos Fondecyt/Regular 1231286, 1220533, 3230401 y 1211131. L. Izquierdo agradece el apoyo de ANID-Subdirección de Capital Humano/Doctorado Nacional/2023-21230431.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

E.8. CORRELACIÓN ENTRE MEDICIONES DE DISTINTOS DIAGNÓSTICOS EN UN PLASMA FOCUS DE KILO JOULES

José Moreno Martínez^{1,2}, Sergio Davis Saavedra¹, Mauricio Badilla Ríos²,
Cristian Pavez Morales¹, Jalaj Jain¹ y Leopoldo Soto Norambuena¹

¹ Centro de Investigación en la Intersección de Física de Plasma, Materia y Complejidad, P2mc,
Comisión Chilena de Energía Nuclear

² Departamento de Ciencias Físicas, Universidad Andrés Bello

Resumen

Una descarga tipo Plasma Focus (PF) se produce mediante un sistema eléctrico pulsado, en una configuración de electrodos coaxiales, y genera diferentes tipos de emisiones, tanto de partículas como de radiación electromagnética. Este tipo de descarga ha demostrado un gran potencial como fuente pulsada de radiación, con posibilidades de uso en diversas áreas de aplicación [1,2]. Un aspecto importante del estudio de este tipo de dispositivo es la caracterización de las emisiones producidas, necesaria para comprender tanto los procesos físicos como sus posibles aplicaciones. En particular es relevante el poder conocer, dada la variabilidad entre disparos, cómo cambian las condiciones que producen una buena compresión y, por lo tanto, una buena emisión de radiación. Una metodología apropiada para conseguir este objetivo involucra medir y caracterizar disparo a disparo las diferentes características de la emisión, entre ellas el efecto sobre los elementos de detección o los irradiados. Para lograr esto, se requiere que el nivel de emisión por disparo sea lo suficientemente alto como para poder diferenciar la señal del ruido de los instrumentos y detectores utilizados en la medición. La principal modificación realizada para mejorar el nivel de emisión fue en la geometría del ánodo, aumentando su longitud y disminuyendo su radio. Este trabajo presenta los resultados de los avances realizados en la optimización y mejora de un dispositivo PF de 1,2 kJ (PF-2 kJ) y la correlación entre las mediciones para disparos individuales con diferentes diagnósticos, utilizados para caracterizar la dinámica y emisiones en este tipo de descarga.

Entre los parámetros correlacionados están, la dosis por disparo para rayos-X medidos a través de cristales termoluminiscentes TLD100, la carga directa detectada en ellos, el voltaje en el momento de máxima compresión, Pinch, y la inductancia en ese instante, entre otros. Análisis cruzados iniciales han mostrado una buena correlación entre los parámetros estudiados, lo que abre una vía para predecir y optimizar las emisiones en este tipo de dispositivos, a través de entender la relación que existe entre ellos. Se espera que esta metodología sirva como medio para entender la relación que existe entre los diversos procesos que están presentes en la dinámica de un PF.

Referencias: [1] Jain et al. J. Appl. Phys. 130, 164902 (2021). [2] Verdejo et al. J. Appl. Phys. 133, 163302 (2023).

Agradecimientos

Este trabajo está financiado por los proyectos ANID-FONDECYT, Regular 1240375, Regular 1211885 e Iniciación 11230594.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

E.9. “Estudio de la dinámica de rotación de un gas-puff bajo la influencia de un campo magnético asimétrico”

Pedro Enrique Retamales Ramirez¹, Miguel Escalona¹ y Julio Valenzuela Ahumada¹

¹ Pontificia Universidad Católica de Chile

Resumen

En este trabajo se presentarán resultados preliminares sobre la dinámica de rotación en un gas-puff Z-Pinch de argón y deuterio sometidas a un campo magnético externo asimétrico. Los experimentos se realizarán en el generador de potencia pulsada Llampüdkeñ, que entrega corrientes de ~400 kA en 350 ns. Para la premagnetización se utilizarán bobinas tipo Hemholtz modificadas, diseñadas para producir una componente radial de campo en el rango de 0.015–0.035 T. Trabajos recientes han mostrado que la aplicación de campos externos puede inducir rotación en plasmas generados por Z-Pinch, aunque el mecanismo responsable aún no está completamente establecido. Una hipótesis relevante sugiere que la rotación se origina de la interacción entre la corriente axial del plasma (J_z) y la componente radial del campo aplicado (B_r), generando un torque electromagnético. Este estudio busca explorar esta hipótesis mediante la aplicación de un campo radial suficientemente grande como para producir una rotación observable. Para el diagnóstico se implementará un sistema de Thomson Scattering y otros diagnósticos simultáneos que nos ayudarán a caracterizar el plasma y cómo se comporta el campo magnético dentro de este, aportando información cinética asociada a la dinámica rotacional.



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

E.10. Operación remota y caracterización de plasmas en el tokamak GOLEM

Germán Vogel¹, Vicente Sepúlveda¹, Theo Reinoso¹, Catalina Vásquez², Cori Angulo¹, Mateo Yáñez¹ y Vojtech Svoboda³

¹ Facultad de Física y Astronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile

² Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile

³ Faculty of Nuclear Sciences and Physical Engineering, Czech Technical University in Prague

Resumen

Este trabajo presenta los resultados de una exhaustiva campaña experimental remota realizada entre 2023 y 2025 en el dispositivo GOLEM, un tokamak de pequeña escala y sección circular ($R=0.4$ m, $a=0.085$ m) ubicado en la Universidad Técnica de Praga (CTU). Se ejecutaron 108 descargas controladas remotamente desde la Pontificia Universidad Católica de Chile, marcando un hito en la participación chilena en investigación experimental de fusión.

Los experimentos caracterizaron plasmas calentados óhmicamente en configuración de limitador, utilizando una suite de diagnósticos magnéticos, espectroscópicos y electrostáticos. El estudio se enfocó en el análisis espectral de las pérdidas radiativas mediante un espectrómetro OceanOptics (200–1100 nm), complementado con cuatro espectrómetros dedicados (UV, visible, H- α , IR), logrando una resolución temporal de 2 ms. Se controlaron activamente la posición del plasma, el gas de trabajo (H₂ y He) y los parámetros operativos, mientras que cámaras rápidas monitorearon los desplazamientos del plasma con resolución milimétrica.

Se midieron el tiempo de confinamiento energético, la densidad electrónica y las temperaturas electrónicas central y promedio ($T_{e,0}$ y $T_{e,av}$). Mediante un escaneo paramétrico (presión de gas $p_{WG}=8-20$ mPa, campo toroidal $B_t < 0.55$ T, corriente de plasma $I_p < 11.2$ kA), se identificaron combinaciones óptimas, logrando descargas récord en duración (28.5 ms), densidad ($n_e \sim 2 \times 10^{18}$ m⁻³) y temperaturas electrónicas centrales estimadas de hasta 0.1-0.2 keV. Se demostró el impacto positivo del control de posición en tiempo real sobre la

estabilidad en plasmas de H₂ y He. El análisis espectroscópico identificó emisiones de impurezas (C, O, Fe), vinculadas a la interacción plasma-pared, y reveló diferencias significativas en el comportamiento entre plasmas de H₂ y He.

Además de los resultados en física, el proyecto representa un esfuerzo pionero en Chile: ha formado a estudiantes de pregrado en la operación real de dispositivos de fusión, estableciendo una base para futuras colaboraciones internacionales y posicionando a Chile en la investigación global de fusión mediante el acceso remoto a infraestructura científica internacional.

E.11. Mapeo Preliminar del Espacio Operativo y Caracterización de Límites de Estabilidad en el Tokamak MEPHIST-0

Vicente Ignacio Sepúlveda Bustos^{1,2}

¹ Pontificia Universidad Católica de Chile

² Instituto de Física

Resumen

La búsqueda de condiciones estables de operación es un desafío central en el desarrollo de la fusión nuclear controlada. En dispositivos de confinamiento magnético, como los tokamaks, la identificación de los límites impuestos por inestabilidades magnetohidrodinámicas (MHD) resulta clave para maximizar el rendimiento del plasma y avanzar hacia regímenes de operación seguros y reproducibles. En este contexto, el tokamak MEPHIST-0 —un dispositivo esférico de baja escala ubicado en la Universidad Nacional de Investigación Nuclear MEPhI (Moscú, Rusia), con radio mayor de 0.3 m, radio menor de 0.075 m, calentamiento óhmico y configuración con limitador— representa una plataforma experimental de relevancia para el estudio de escenarios de estabilidad.

El objetivo de esta investigación fue construir un primer mapa del espacio operativo de MEPHIST-0 y determinar empíricamente los límites asociados a la corriente de plasma, la densidad y el factor de seguridad en el borde. Para ello, se llevó a cabo una campaña experimental exploratoria de 13 descargas de plasma exitosas, en las cuales se realizó un escaneo sistemático de la presión del gas p_{WG} , entre 15.4 y 24.3 mPa. Cada descarga fue diagnosticada a través de la reconstrucción de la evolución temporal de la corriente de plasma I_p y del factor de seguridad q_a , clasificando su resultado como estable o disruptivo según el comportamiento observado.

Los experimentos permitieron alcanzar corrientes de plasma de hasta 7.7 kA y proporcionaron la base para la construcción de un diagrama preliminar del espacio operativo (diagrama de Hugill) en el plano $(1/q_a, \text{densidad normalizada})$. Este análisis evidenció un límite de

estabilidad por baja q en torno a q_a cercano a 2.8, bajo el cual las descargas mostraron una marcada propensión a la disrupción. Dichas disrupciones estuvieron consistentemente asociadas al crecimiento de oscilaciones magnéticas coherentes (modos $m=2$) detectadas mediante bobinas de Mirnov. Adicionalmente, se identificó una correlación entre la presión inicial del gas y la estabilidad de las descargas, sugiriendo un rango óptimo de densidades que favorece el desempeño del plasma.

Este trabajo constituye el primer mapa preliminar de estabilidad para el tokamak MEPHIST-0. La caracterización sistemática de sus límites operativos no solo proporciona una referencia crítica para la planificación de futuras campañas, sino que también abre la posibilidad de validar códigos numéricos de equilibrio y estabilidad en un dispositivo experimental real. De este modo, los resultados obtenidos representan un paso relevante para avanzar en la comprensión de la física de estabilidad en tokamaks y consolidan a MEPHIST-0 como un banco de pruebas valioso en el camino hacia la fusión controlada.

Agradecimientos

Agradecimientos al profesor German Vogel, por introducirme y guiarme por la física de plasmas.



2° CONGRESO CHILENO DE
FÍSICA DE PLASMAS
01 AL 04 DE DICIEMBRE, 2025
VALPARAÍSO, CHILE



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

E.12. Study of the damage caused by the plasma generated in ITER on tungsten walls.

E. Figueroa¹, J. Wachter¹ y P. Miranda¹

¹ Departamento de Física, Facultad de Ciencias Naturales, Matemática y del Medio Ambiente, Universidad Tecnológica Metropolitana, Santiago 7800002

Resumen

Although ITER's primary mission is to demonstrate the viability of nuclear fusion as a large-scale energy source in addition to integrating advanced plasma technologies, ITER could improve its sustainability profile and operational efficiency if it also focuses on the cornerstone of future environmentally friendly energy sources. Using classical molecular dynamics, we are quantifying the radiation damage caused by the potential tungsten wall. To this end, we are studying the effect of plasma-induced defects on the material, such as hydrogen and helium bubbles, vacancies, dislocations, and interstitials.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido desarrollado en el marco del proyecto “Resistencia a la radiación de plasma de compuestos basados en tungsteno con material nanoestructurado como refuerzo”, financiado por la Vicerrectoría de Investigación y Postgrado de la Universidad Tecnológica Metropolitana (UTEM), en el contexto del concurso de Proyectos Regulares de Investigación.



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

E.13. Observación de flujos axiales impulsados por gradientes de presión en Z-pinches tipo gas-puff

Miguel Escalona¹, Julio Valenzuela¹, Marco Ribeiro¹, Pelayo Phillips¹, Felipe Veloso^{1,1}, Isaac Gallegos¹, Cristian Pavez² y Gonzalo Avaria³

¹ Pontificia Universidad Católica de Chile

² Comisión Chilena de Energía Nuclear

³ Universidad Técnica Federico Santa María

Resumen

Los Z-pinches generados mediante inyección de gas (gas-puff) son dispositivos ampliamente utilizados para producir plasmas de alta densidad energética, con aplicaciones en generación de rayos X, estudios de fusión y producción de neutrones. En general, se asume que su dinámica está dominada por la implosión radial, y que el transporte de energía ocurre principalmente en esa dirección. Sin embargo, discrepancias persistentes entre las temperaturas iónicas medidas y las predicciones basadas en el equilibrio electrón-ion sugieren la existencia de otros canales relevantes de transferencia energética. En esta charla presentaremos la primera observación directa de flujos axiales en un Z-pinch tipo gas-puff, obtenida mediante la técnica de dispersión colectiva de Thomson. El análisis del balance energético muestra que la energía cinética asociada al flujo axial representa una fracción significativa del total, lo que indica que esta componente puede desempeñar un rol importante en la dinámica de la estagnación. Asimismo, se observa que estos flujos parecen originarse a partir de asimetrías geométricas en la columna de plasma, las cuales son comunes en este tipo de configuración experimental. Los resultados obtenidos indican que el transporte axial puede tener un impacto significativo en el balance energético del plasma durante el estancamiento, por lo que su inclusión en modelos teóricos y diagnósticos resulta pertinente. Este estudio contribuye con nuevos datos experimentales que amplían la comprensión de la dinámica en Z-pinches de gas-puff y abren la posibilidad de explorar configuraciones futuras que consideren explícitamente el efecto del flujo axial.



2° CONGRESO CHILENO DE
FÍSICA DE PLASMAS
01 AL 04 DE DICIEMBRE, 2025
VALPARAÍSO, CHILE



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

E.14. Estudio de eficiencia de transferencia de energía generador-plasma para una descarga plasma foco de baja energía y corriente

Cristian Pavez¹, Miguel Escalona², Julio Valenzuela², Gonzalo Avaria³, José Pedreros⁴, José Moreno¹, Edmund Wyndham², Felipe Veloso², Leopoldo Soto¹, Iván Morales⁵ y Ariel Tarifeño-Saldivia⁶

¹ Comisión Chilena de Energía Nuclear

² Pontificia Universidad Católica

³ Universidad Federico Santa María

⁴ Universidad de Chile

⁵ Universidad Andrés Bello

⁶ Instituto de Física Corpuscular, Universidad de Valencia

Resumen

De las descargas Z-pinch, las descargas Plasma Foco Densa (PFD) se caracterizan por ser una de la más eficiente en la producción de neutrones de fusión, en relación a la energía almacenada en el banco de capacitores o en relación a la corriente que circula por la columna de plasma o pinch. Si bien una fracción pequeña de la energía es entregada al pinch, la mayor parte de la energía queda almacenada como energía magnética en el inductor del cañón coaxial y otra fracción se consume en el trabajo electro-mecánico realizado por el pistón magnético para acelerar la lámina de plasma. La evaluación y comprensión correcta de los procesos físicos detrás de la conversión energética desde el generador al plasma, son fundamentales a la hora de optimizar un dispositivo PF para aplicaciones o escalar a regímenes de mayor energía y corriente con un acoplamiento energético optimizado. En este trabajo presentamos un estudio detallado de la conversión de energía desde el banco de capacitores a la fase pinch, para una descarga PF de baja energía y corriente, desarrollada en el Generador Multipropósito (GMP; 1,2 μF ; 47.5 nH, 340J; 85kA), la cual opera eficientemente en régimen de alta presión de D2 (> 10 mbar) bajo criterio de optimización I/a alto, donde I y a corresponden a la corriente en

el pinch y al radio del ánodo, respectivamente. Para el estudio de la evolución de la energía magnética almacenada en el cañón coaxial y el trabajo electromecánico sobre la lámina de plasma en toda la fase de la descarga, se utilizaron las señales eléctricas proporcionadas por los monitores de voltaje y de derivada de corriente. Para el estudio del balance energético en la fase de compresión radial (energía cinética y energía térmica del plasma) se utiliza Dispersión de radiación coherente o Dispersión de Thomson (DT) en modo colectivo, en dos direcciones de colección de radiación dispersada por el plasma. El diagnóstico se complementa con estudios interferométricos para la caracterización de la densidad del plasma y estudios de la dinámica del plasma por medio de imágenes schlieren. Ambos diagnósticos ópticos refractivos permiten además una caracterización espacial del plasma. Para evaluar el rendimiento de la descarga con la emisión de neutrones, se mide en cada disparo la emisión total de neutrones. Con la medida de temperatura obtenida por medio de la técnica DT, las medidas de densidad y volumen del plasma, junto con el tiempo de emisión de neutrones, evaluamos la contribución de origen termonuclear de la producción total de neutrones. El conjunto de medidas aquí discutidas corresponde a la primera caracterización en extenso de un dispositivo PF de baja energía.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero de los proyectos ANID-FONDECYT N°1251843; N°. 3230401; N°1220533 and N°1252134



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

E.15. Experimental study of D-D nuclear fusion reaction products in dense Z-pinch discharges, within a current range of 85 kA to 400 kA

Cristian Pavez^{1,2}, José Moreno^{1,2}, Daniel Klir³, Jan Novotny³, Balzima Cikhardtova³, Vojtech Juras³, Karel Turek⁴, Gonzalo Avaria⁵, Julio Valenzuela⁶, Miguel Escalona⁶, Felipe Veloso⁶, Martín Quijada⁷, Leopoldo Soto¹ y Ariel Tarifeño-Saldivia⁸

¹ Comisión Chilena de Energía Nuclear

² Universidad Andrés Bello

³ Czech Technical University in Prague, Faculty of Electrical Engineering, Czech Republic

⁴ Nuclear Physics Institute, Academy of Sciences of Czech Republic, Prague, Czech Republic

⁵ Universidad Federico Santa María

⁶ Pontificia Universidad Católica

⁷ Universidad de Concepción

⁸ Instituto de Física Corpuscular

Resumen

Among the dense and dynamic Z-pinch discharges, the Plasma Focus (PF) and Gas-Puff (GP) configurations are characterized by their high neutron production efficiency when operating with D_2 gas. Both plasma configurations share many features associated with their implosive dynamic behavior (instabilities, axial mass flow, filamentation, non-thermal processes, among others), whose studies have helped establish scientific and technological foundations for the development of new fusion concepts based on Z-pinches. This work presents the results from nuclear fusion experiments on three Z-pinch devices. Two PF experiments were performed on low-current devices, namely, the MP generator (MPG, 1,2 μ F, 47.5 nH, 340J, 85kA) and PF-2kJ (8 μ F, 65 nH, 140 kA), both at Chilean Nuclear Energy Commission. In addition, we present preliminary results from the fusion research of a deuterium Gas-Puff

on the Llampudken generator (~ 400 kA with 200 ns rise time) at the Catholica University. The study focuses on plasma characterization through measurements of the products of D-D fusion reactions. Of particular interest are the measurements of the total neutron yield per shot, the time of neutron emission, as well as the spatial, spectral, and emission properties of the fusion proton source. The neutron emission was characterized with a ^3He filled-gas proportional counter, operating in integrated charge mode and embedded at a paraffin wax moderator, a moderated Ag activation system based on Geiger-Müller detectors, and an array of plastic scintillators coupled to photomultipliers allowing the detection of X-ray and neutron pulses with temporal resolution. For the detection and recording of fusion protons from the D(d, p)T reaction, passive solid-state nuclear track detectors (SSNTD) CR-39 were used. The detectors were incorporated into various diagnostic techniques, depending on the proton emission properties under study and the mounting possibilities of each experiment. In this way, different measurement techniques for proton emission were implemented, such as spectrometry, deflectometry, anisotropy measurement, and pinhole imaging. The results will be correlated with information from complementary diagnostics previously implemented in each discharge, such as electrical diagnostics, X-ray imaging, refractive optical imaging, among others.

Agradecimientos

The authors appreciate the financial support of the ANID-FONDECYT projects N°1251843; N°. 3230401; N°1220533, N°1252134 and the project of the Grant Agency of the Czech Republic No. 23-04679S.

Aplicaciones



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

A.1. Diseño y desarrollo de un Propulsor a Plasma Pulsado Ablativo para aplicación en Nanosatélite CubeSat.

Javiera Bravo Z.¹ y Alejandro Hernandez A.¹

¹ UTFSM

Resumen

El creciente interés por los nanosatélites tipo CubeSat ha transformado el acceso al espacio, al ofrecer plataformas de bajo costo y alta versatilidad para aplicaciones científicas, académicas y comerciales. Sin embargo, una de sus principales limitaciones sigue siendo la falta de sistemas de propulsión compactos y eficientes, lo que restringe su autonomía y capacidad de maniobra orbital. En este contexto, se presenta el diseño y desarrollo de un propulsor a plasma pulsado ablativo (APPT), para su integración en CubeSats.

El APPT funciona mediante la ablación de un propelente sólido, típicamente politetrafluoroetileno (PTFE), inducido por descargas eléctricas de baja energía. El plasma generado es acelerado por una fuerza de Lorentz, produciendo impulsos de magnitud controlada. A diferencia de los sistemas químicos o presurizados, esta tecnología no requiere tanques de alta presión ni sustancias peligrosas, lo que la convierte en una alternativa segura, escalable y compatible con las restricciones de masa y volumen de nanosatélites.

El diseño propuesto considera una configuración de placas paralelas, que facilita la construcción y asegura el contacto continuo del propelente mediante un resorte. Los principales componentes incluyen electrodos de aleación Cu-W, un banco de capacitores de película con baja ESR y ESL, y un sistema de ignición basado en generadores de arco de 30 kV. La integración electrónica contempla un controlador LT3750 y un microcontrolador ESP32 C3 para la sincronización de los ciclos de carga y descarga, permitiendo una frecuencia de operación de 1 Hz.

Para la fabricación del propulsor, se plantea una combinación de manufactura avanzada y convencional: manufactura aditiva en aleaciones de aluminio para geometrías complejas,

mecanizado CNC para piezas de alta precisión, metalurgia de polvos para electrodos de Cu-W, y tratamientos superficiales que optimicen la resistencia al desgaste, la durabilidad y la compatibilidad con ambientes espaciales.

El desempeño del micropropulsor será evaluado experimentalmente en una cámara de alto vacío, simulando condiciones espaciales. Se medirán parámetros clave como el impulso específico y el impulso por pulso mediante sensores piezoeléctricos de alta sensibilidad. Si bien los resultados experimentales se encuentran en desarrollo, las simulaciones preliminares indican que el sistema es capaz de generar impulsos repetibles, con potencial para aplicaciones en control de actitud, desaturación de ruedas de reacción, correcciones orbitales y operaciones de proximidad en CubeSats.

Agradecimientos

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María, Profesores Jorge Ardila, Rodrigo Cassineli y Sheila Lascano, Familiares y Amigos.

A.2. Efectos de campo eléctrico en la interacción plasma-líquido

Florencia Díaz¹, Felipe Velosos¹ y Francisco Castillo¹

¹ Pontificia Universidad Católica de Chile

Resumen

Las interacciones entre plasmas y líquidos producen fenómenos complejos de electrones libres, formación de iones, moléculas excitadas y especies reactivas que involucran diversas escalas de tiempo y espacio en cada estado de la materia [1-3]. En este tipo de interacciones se ha observado la formación de patrones sobre la superficie del líquido cuyas formas y estructuras dependen de la concentración salina en el líquido, así como de los parámetros del plasma, especialmente voltaje y corriente [2,3], indicando efectos de campo eléctrico asociados a la interfaz plasma-líquido. En este trabajo se estudia los efectos de la variación campo eléctrico en las variaciones dinámicas de los patrones y en la formación de reactivos de oxígeno y nitrógeno (RONS) en el líquido debido a estas variaciones en la topología del campo eléctrico. Para esto, se utiliza un plasma atmosférico DC en contacto con una solución de agua y perclorato de sodio ($H_2O+NaClO_4$). El plasma se forma en una configuración punta-plano con un electrodo de tungsteno (punta) actuando como un el cátodo a alto voltaje y la superficie acuosa (plano) como el ánodo a tierra. El campo eléctrico se modifica mediante aperturas metálicas de diferentes diámetros conectadas a tierra ubicadas entre la superficie acuosa y el cátodo de tungsteno. Se monitorea la corriente y voltaje del plasma mediante multímetros, se tomaron imágenes de autoemisión del plasma y de la interfaz plasma-líquido. Además de ello se obtuvieron imágenes de espectroscopía de absorción in situ (430-670nm) y tras varios minutos de terminada la interacción plasma-líquido tras la interacción (190-500nm) Complementariamente, la distribución del campo eléctrico se analiza con simulaciones numéricas usando ANSYS Maxwell Electrostatic Solver. Los resultados muestran que la presencia de las aperturas metálicas produce variaciones tanto en la formación de patrones como en la espectroscopia de absorción. Estos resultados indican cambios en la

relación de dispersión del líquido, así como variaciones en la formación de distintas especies moleculares (especialmente en la región bajo los 300nm asociadas a la formación de NOx) que son controlables de manera externa sin variar la potencia eléctrica del equipo ni las propiedades salinas del líquido en cuestión. Estos resultados motivan la investigación de estos efectos como medio de control para la generación de NOx útiles para distintas aplicaciones.

[1] P. Bruggeman, J. Liu, J. Degroote, M. G. Kong, J. Vierendeels, C. Leys. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 41, 215201 (2008) [2] P. Rumbach, A. E. Lindsay, D. B. Go. *Plasma Sources Sci. Technol* 28, 105014 (2019) [3] O. Dubrovski, J. Yang, F. Veloso, D. B. Go, H-C. Chang, P. Rumbach. *Phys. Rev. Lett.* 133, 105301 (2024)

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por Fondecyt/Exploracion 2024_13240197.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

A.3. Evolución temporal de la propagación de ondas de choque iniciadas por plasmas anulares producidos por láser

Josefina Muñoz¹, Felipe Veloso¹, Felipe Asenjo² y Julio Valenzuela¹

¹ Pontificia Universidad Católica de Chile

² Universidad Adolfo Ibáñez

Resumen

A mediados del siglo 20, Sedov y Taylor [1] demostraron que la evolución temporal de una onda de choque sigue una ley de potencia que depende de la geometría (dimensionalidad) de dicha onda. En el caso de una onda de choque iniciada por plasma producido por láser en un gas de fondo, es posible modificar esta dimensionalidad según la geometría inicial del plasma que actúa como pistón [2]. Esto se logra utilizando un láser pulsado Nd:YAG (6.24(5) mJ, 30 ps FWHM) enfocado de forma anular sobre una superficie de aluminio, mediante la combinación de axicon y lente convergente ($\theta_{ax} = 20$ mrad y $f = 75$ mm) [3] en un ambiente de argón de 300 torr. La evolución temporal del plasma se estudia mediante imágenes schlieren con dos resoluciones espaciales diferentes ($\theta_1^{crit} = 0,8$ mrad y $\theta_2^{crit} = 1$ mrad), logradas con distintas lentes y aperturas circulares. Para analizar la dimensionalidad de la onda de choque, se estudia la evolución temporal del perímetro de su sección transversal. Los resultados experimentales muestran que la onda de choque varía su geometría de propagación a través del tiempo. Adicionalmente, se analiza el parámetro matemático de circularidad $\mathcal{C}(S)$ dado por el momento invariante de Hu [4] que describe cuán cercana se encuentra una figura geométrica de un círculo perfecto. Para esto, se someten las imágenes schlieren a un modelo de aprendizaje profundo U-Net para detectar el borde de la onda de choque inducida por el plasma. Los resultados muestran que a $\mathcal{C}(S) = 0,927(1)$ existe un cambio en el parámetro de dimensionalidad ζ , pudiendo expresar la propagación de ondas de choque como la sumatoria de varias ondas de choque con distintas dimensionalidades. Junto con esto, se estudia este parámetro para condiciones iniciales que incluyen perturbaciones controladas en la formación

del plasma que inducen cambios en la forma de la onda de choque. Estos resultados son relevantes para la aplicación de esta onda de choque como paralelo experimental a modelos cosmológicos como los descritos en [5].

[1] Sedov, L. I. (1946). Propagation of strong shock waves. *Journal of Applied Mathematics and Mechanics*, 10, 241-250. [2] Felipe Veloso, Vicente Rosales, Mario Favre, and Julio Valenzuela. *Phys. Rev. E*, 110:065210, Dec 2024. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.110.065210> [3] F. Veloso, H. Chuaqui, R. Aliaga-Rossel, M. Favre, I. H. Mitchell, E. Wyndham; Laser-produced annular plasmas. *Rev. Sci. Instrum.* 1 June 2006; 77 (6): 063506. <https://doi.org/10.1063/1.2206773> [4] Joviša Žunić, Kaoru Hirota, and Paul L. Rosin. *Pattern Recognition*, 43(1):47–57, 2010. [5] Asenjo, F. A., Veloso, F., & Valenzuela, J. C. (2025, June 18). [arXiv.org. https://arxiv.org/abs/2506.15493](https://arxiv.org/abs/2506.15493)

Agradecimientos

Fondecyt/Regular 1231286



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

A.4. Desarrollo y validación de dispositivo para medición de micro impulso: una nueva solución para caracterización de propulsores de plasma pulsado para nanosatélites

Camilo Vásquez-Wilson^{1,2}, Cristian Pavez², José Moreno², Jalaj Jain², Biswajit Bora², Marcos Diaz³, Felipe Asenjo¹, Luis Altamirano⁴ y Leopoldo Soto²

¹ Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Adolfo Ibáñez, Santiago 7491169, Chile

² Center for Research on the Intersection in Plasma Physics, Matter and Complexity, P2mc
Comisión Chilena de Energía Nuclear, CCHEN, Casilla 188-D, Santiago, Chile.

³ Space and Planetary Exploration Laboratory (SPEL), Universidad de Chile

⁴ Dicontek Ltda., Chile

Resumen

La investigación presenta el desarrollo de un sistema experimental para la medición de impulsos generados por propulsores de plasma pulsado (PPT), empleados en aplicaciones de propulsión espacial para satélites pequeños. Estos dispositivos operan con niveles de empuje en el rango de microNewton-segundo a miliNewton-segundo, lo que exige métodos de medición confiables y reproducibles. El objetivo fue diseñar, implementar y validar una plataforma de ensayo con una celda de carga calibrada dinámicamente, capaz de registrar impulsos del orden de microNewton-segundo. El sistema incluye un PPT, una bobina Rogowski para medición de corriente y un divisor resistivo para voltaje, registrando datos mediante un osciloscopio de alta velocidad. Además, se desarrolló un modelo para estimar el impulso utilizando parámetros eléctricos, validado experimentalmente bajo condiciones atmosféricas. Los resultados muestran que el sistema logra mediciones en el rango de impulsos de interés, comparables con métodos descritos en la literatura.

Palabras Clave: Propulsor de plasma pulsado, Potencia pulsada, Plasma foco, Celda de carga, Medición de empuje.

Agradecimientos

Patrocinado por ANID FONDECYT Regular 1211695



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

A.5. Design and Testing of a Miniaturized Plasma Propulsión System Compatible with the CubeSat Standard

Patricio Jara^{1,2}, Marcos Díaz^{1,2}, José Pedreros^{1,2}, Rodrigo Silva^{3,4} y Leopoldo Soto⁵

¹ Space and Planetary Exploration Laboratory.

² Electrical Engineering Department, Faculty of Physical and Mathematical Sciences, University of Chile, Santiago, Chile.

³ Former Space and Planetary Exploration Laboratory (SPEL)

⁴ Centro Científico y Tecnológico de Valparaíso (CCTVal)

⁵ Center for Research and Applications on the Intersection of Plasma Physics, Matter and Complexity, P2mc, Comisión Chilena de Energía Nuclear, Casilla 188-D, Santiago, Chile

Resumen

This work presents the development and preliminary validation of a plasma propulsion system designed for CubeSats. The main objective is to assess the feasibility of using plasma discharges as a low-cost and low-power alternative for attitude control in Low Earth Orbit (LEO) missions. Several geometric configurations were evaluated, with the concentric cylindrical design of 3 mm diameter showing stable operation under vacuum conditions. The prototype, with dimensions of 80×40×30 mm and a power consumption of approximately 10 W, complies with the CubeSat standard constraints. Laboratory and vacuum chamber tests confirmed the repeatability and stability of the discharge, although the experimental characterization of thrust is still in progress. These results demonstrate the potential of this technology as a miniaturized plasma propulsion solution for small satellites. The system is currently integrated into the SUCHAI 4 satellite, scheduled for launch in Q3 2026, opening the possibility for future applications focused on attitude and orbital control in space environments.

Agradecimientos

- ANID-ANILLO ATE220057. - ANID-Fondecyt 1211695. - ANID-FONDEF IDeA ID23I10360.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

A.6. Statistical Characterization and Reliability of a Portable Plasma Focus Device: An Unavoidable Step for Applications

Daniel Zanelli¹, Biswajit Bora¹, Sergio Davis¹, Jalaj Jain¹, José Moreno¹, Cristian Pavez¹ y Leopoldo Soto¹

¹ Center for Research and Applications on the Intersection of Plasma Physics, Matter and Complexity, P2mc, Comisión Chilena de Energía Nuclear, Chile

Resumen

The dense plasma focus (DPF) is a pulsed source of radiation and particles, such as x-rays, ion and electron beams, neutron bursts [1], plasma shocks [2], and plasma jets [3]. DPF discharges are being used as pulsed radiation sources to explore applications in both industry and other sciences—for instance, in non-destructive analysis, pulsed x-ray and neutron imaging, as non-radioactive sources for field applications, as well as in studies of materials under extreme radiation conditions [4], biological research [5, 6], and pulsed plasma thrusters [7]. However, a well-known feature of the plasma focus is that the emitted radiation varies from shot to shot. Therefore, determining the optimum operational parameters, along with a characterization of its statistical reproducibility and a reliability analysis, is indispensable for any application. We present the results of a study on a portable repetitive plasma focus device with 2 J of stored energy (PF-2J: 120 nF, 6–8 kV, 2–4 J, 10–15 kA achieved in 110 ns) [7]. The entire system, including capacitor, spark gap, discharge chamber, and power supply, fits into hand luggage. From voltage and current derivative signals, we analyzed the probability and frequency of pinch occurrence for different operating H_2 pressures (2–10 mbar). In addition, values of the pinch plasma voltage, the dip in the current derivative, and the inductance derivative induced by the plasma pinch were obtained across the H_2 pressure range, determining the best operational pressure. More than 2×10^4 shots were recorded. Furthermore, a life-cycle analysis of the system's decay was performed, enabling a possible implementation of a predictive maintenance program for the PF-2J device. It was found that

the life cycle for the pinch plasma voltage and for the amplitude of the dip in the current derivative signal exceeds 10^4 shots, without significant changes in the pinch voltage and with only a 10 % decrease in the dip amplitude of the current derivative.

References: 1. L. Soto et al., Phys. Plasmas, 24, 082703, (2017). 2. L. Soto et al., Phys. Plasmas, 21, 122703, (2014). 3. C. Pavez et al., Phys. Plasmas, 22, 040705 (2015). 4. M. J. Inestrosa-Izurieta et al., Nuclear Fusion 55, 093011 (2015) 5. J. Jain et al., AIP Advances, 7, 085121, (2017). 6. V. Verdejo et al., J. Appl. Phys. 133, 163302 (2023) 7. L. Soto et al., Micromachines, 15, 1123 (2024)

Agradecimientos

Supported by FONDECYT 1211695 grants, Chile, and by IAEA Research Contract No. 24222.

A.7. Ultra high-dose rate pulsed X-ray effects on cancer cell lines using a kilojoule plasma focus device and development of the PFFAR-5kJ source for advanced radiobiological studies

Jalaj Jain^{1,2}, José Moreno^{1,2}, Héctor Araya³, Rodrigo Andaur⁴, Sergio Davis^{1,2}, Biswajit Bora^{1,2}, Ethel Velásquez⁵, Cristian Pavez^{1,2}, Octavio Orellana¹, Katherine Marcelain³ y Leopoldo Soto^{1,2}

¹ Center for Research on the Intersection in Plasma Physics, Matter and Complexity, P2mc, Comisión Chilena de Energía Nuclear, Chile

² Universidad Andrés Bello, Departamento de Ciencias Físicas, Republica 220, Santiago-8370035, Chile

³ Centro para la Prevención y el Control del Cáncer (CECAN), Facultad de Medicina, Universidad de Chile, Chile

⁴ Tecnología Medica, Facultad de Medicina Clínica Alemana, Universidad del Desarrollo

⁵ Centro de Investigaciones Nucleares para Aplicaciones en Salud y Biomedicina, Comisión Chilena de Energía Nuclear, Chile

Resumen

Radiation therapy has been a cornerstone of cancer treatment for decades, traditionally applying continuous or fractionated exposures at dose rates of tens to hundreds of Gray per hour (Gy/hr). Despite significant clinical advances, tumor recurrence and radioresistance remain major challenges. These limitations have stimulated interest in novel strategies such as FLASH radiotherapy (FLASH-RT), which delivers moderate doses (~8–10 Gy) in less than a second, reducing toxicity to healthy tissue while effectively damaging tumors [1–3]. However, the biological effects of ultra-high dose rates (10^3 – 10^7 Gy/min) remain largely unexplored. In recent studies, we employed a kilojoule plasma focus device (PF-2kJ) to irradiate several cancer cell lines with pulsed X-rays at ultra-high dose rates (90 ns X ray

pulse, ~ 0.025 Gy per pulse, 2.7×10^5 Gy/s, i.e. $\sim 1.6 \times 10^7$ Gy/min ≤ 1 Gy total). Colorectal cancer cells (DLD-1, HCT-116) [4], breast cancer cells (MCF-7) [5], exhibited enhanced sensitivity compared to conventional irradiation, including low-dose hyper-radiosensitivity (LDHRS) and increased cell death even in previously radioresistant lines [4,5]. Ovarian cancer cells further displayed reduced proliferation [6] and impaired vasculogenic mimicry in 3D models. Notably, non-cancerous colorectal cells (CCD-841-con) were unaffected under the same pulsed conditions, suggesting selective cytotoxicity. Fractionated pulsed irradiation (10–40 pulses) induced responses distinct from continuous fractionation, underscoring the unique dynamics of ultra-high dose rate delivery. Encouraged by these results, and supported by the ANID-Iniciación project 11230594, we have developed a new, higher-energy plasma focus device to expand capabilities in pulsed radiation studies. The Plasma Focus for Fundamental and Applied Research – 5 kJ (PFFAR-5kJ) operates in the 5–6 kJ range, with two interchangeable spark-gap geometries, and was recently constructed and installed at the P2mc laboratory of the Chilean Nuclear Energy Commission in Santiago. Designed to achieve larger total doses per pulse, the PFFAR-5kJ represents a next step toward controlled and scalable pulsed X-ray exposures for biological applications. Ongoing investigations with the PFFAR-5kJ aim to validate and extend the preliminary findings obtained with the PF-2kJ, exploring differential cancer cell responses, radiobiological mechanisms, and the potential to overcome resistance in refractory tumors. Together, these advances suggest that ultra-high dose rate pulsed irradiation may open new therapeutic windows in radiotherapy, with the PFFAR-5kJ providing a versatile platform to deepen both fundamental and translational research.

References [1] V. Favaudon, et al., *Science Translational Medicine*, 6(245), 245ra93 (2014) [2] M. C. Vozenin, et al., *Clinical Cancer Research*, 25(1), 35-42 (2019) [3] J. R. Hughes et al., *International Journal of Molecular Sciences*, 21(18), 6492 (2020) [4] L. M. Martin et al., *Cancer Lett.* 338, 209 (2013) [5] J. Jain et al., *J. Appl. Phys.* 130, 164902 (2021) [6] J. Jain et al., 9th Asia-Pacific Conference on Plasma Physics, 21-26 September 2025, Fukuoka, Japan

Agradecimientos

Supported by the FONDECYT-Iniciación project number 11230594 and the ANID-FONDECYT-Regular project 1240375.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

A.8. Síntesis controlada de nanopartículas mediante expansión supersónica de plasma: un enfoque combinado de modelado y experimentación.

Biswajit Bora¹

¹ Comisión Chilena de Energía Nuclear, Casilla 188-D, Santiago, Chile

Resumen

La expansión supersónica de plasmas térmicos constituye una metodología poderosa y versátil para sintetizar materiales nanoestructurados con morfología y composición controladas. En este trabajo, combinamos modelado numérico e implementación experimental para estudiar la síntesis de nanopartículas de litio–azufre–carbono (Li–S–C), un sistema prometedor para baterías recargables de próxima generación. Mediante el marco de las Ecuaciones Dinámicas Generales Nodalizadas (NGDE), simulamos la expansión del plasma en condiciones de baja presión, analizando el efecto de la presión de la cámara, la inyección de precursores y las tasas de enfriamiento en los procesos de nucleación, crecimiento y aglomeración. De manera complementaria, se desarrolló un reactor de plasma supersónico optimizado y operado con precursores de litio y azufre, junto con metano como fuente de carbono, lo que permitió la producción reproducible de nanopartículas Li–S–C con morfología tipo núcleo–coraza. La caracterización estructural y química mediante SEM, HRTEM, XRD y EDX confirmó la presencia de Li_2S estabilizado por recubrimientos de carbono, mientras que los ensayos electroquímicos evidenciaron la influencia crítica de los parámetros de síntesis en la estabilidad y el desempeño funcional de las partículas. El estudio teórico–experimental conjunto demuestra que el control de la dinámica de expansión del plasma permite ajustar la distribución de tamaños, la morfología y la composición de las nanopartículas, aportando información valiosa para la fabricación escalable de nanomateriales avanzados destinados a aplicaciones de almacenamiento de energía.

Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por el proyecto ANID–FONDECYT Regular N° 1231235.

Diagnosticos

D.1. Desarrollo de un Generador de Electrones Pulsado de Alto Voltaje para Diagnóstico de Campos Magnéticos en Plasmas Densos

Felipe Bastián Muñoz Muñoz^{1,2}, Julio Cesar Valenzuela Ahumada¹,
Vicente Rosales¹ y Beatriz Sánchez¹

¹ Pontificia Universidad Católica de Chile

² .

Resumen

El desarrollo de dispositivos de potencia pulsada (DPP) es fundamental para avances en la física de plasmas, permitiendo la generación de pulsos intensos de energía, partículas y radiación. Estas herramientas son cruciales para investigaciones en fusión nuclear por confinamiento inercial, radiación de estado sólido y, de manera particular, para el diagnóstico de plasmas de alta densidad, donde las técnicas convencionales encuentran limitaciones severas. Este trabajo presenta el diseño, construcción y caracterización inicial de un generador de electrones pulsado de alto rendimiento, con la finalidad de aplicarlo como diagnóstico para medir campos magnéticos en plasmas densos. El sistema opera en base a dos etapas principales. La primera es un banco de condensadores tipo Marx, modificado y optimizado para comprimir temporalmente la descarga. Este generador Marx es capaz de producir un pulso de -400 kV en un tiempo de subida extremadamente rápido, cercano a 10 nanosegundos, y está diseñado para operar de forma repetitiva a una frecuencia de 100 Hz, superando la limitación de single-shot típica de muchos sistemas similares. La segunda etapa consiste en un diodo de alto voltaje operando en vacío, que actúa como la fuente de electrones. La interacción entre el generador Marx y el diodo es crítica. Debido a la impedancia característica del diodo, estimada en aproximadamente 1 k Ω , y al fenómeno de duplicación de voltaje por reflexión de pulso (o "voltage overshoot") en circuitos de impedancia no coincidente, se prevé que la tensión efectiva aplicada en el cátodo del diodo alcance valores cercanos a los -800 kV. Este alto voltaje acelera los electrones, extrayéndolos del cátodo y generando un haz pulsado de alta energía.

La motivación central de este dispositivo es su aplicación como herramienta de diagnóstico. La propagación de un haz de electrones relativistas a través de un plasma magnetizado se ve afectada por los campos electromagnéticos presentes, desviándose de su trayectoria original. Mediante el análisis de la deflexión de este haz, es posible reconstruir mapas precisos de los campos magnéticos internos del plasma, incluso en regímenes de alta densidad. Esta medición es vital para validar modelos de transporte y confinamiento en plasmas de interés para fusión nuclear. En esta contribución, se presentarán los datos experimentales del desempeño del generador Marx, incluyendo las formas de onda de voltaje y corriente, medidas con divisores capacitivos y bobinas de Rogowski, respectivamente. Adicionalmente, se caracterizará el haz de electrones generados, reportando su espectro de energía obtenido mediante el uso de un espectrómetro de haz de electrones de tipo dispersivo. Los resultados preliminares confirman la capacidad del sistema para generar pulsos de alto voltaje con la rapidez y tasa de repetición deseadas, sentando las bases para su uso inmediato en experimentos de diagnóstico de plasmas.

Agradecimientos

Fondecyt regular 1220533



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

D.2. Reconstrucción digital del ángulo de rotación y cambio de fase de un haz láser al atravesar plasma magnetizado

Iván Alberto Morales Hernández¹

¹ Pontif. Universidad Católica de Chile

Resumen

Actualmente, uno de los principales intereses de la comunidad de física de plasmas que reproduce escenarios astrofísicos a escala de laboratorio es la caracterización de la magnetización y la dinámica de los plasmas. Debido a sus ventajas en resolución espacial, la técnica de rotación de Faraday es una de las más utilizadas para caracterizar el campo magnético dentro del plasma. Sin embargo, esta técnica requiere el conocimiento del mapa de densidad a lo largo de la dirección del haz de prueba, lo que impone el desafío de implementar montajes simultáneos interferométricos y polarimétricos, junto con registros de referencia adicionales. Este trabajo propone un montaje interferométrico de registro digital, además de una técnica de procesamiento y análisis digital, basada en dos registros interferométricos digitales simultáneos, con los cuales es posible obtener información tanto del cambio de fase como del ángulo de rotación de la polarización de un haz coherente que atraviesa un plasma magnetizado. La técnica de reconstrucción de la fase interferométrica y del polarograma propuesta aquí es independiente de las intensidades de frente de onda en cada brazo del interferómetro, eliminando así la necesidad de una segunda exposición sin la influencia del plasma magnetizado. La técnica es probada digitalmente con frentes de onda simulados, donde el haz de prueba atraviesa una columna de plasma, tal como se espera en la fase de pinch de una descarga plasma focus de unos pocos cientos de julios. De esta manera, los resultados permiten evaluar la aplicación de la técnica en descargas PF pequeñas, con corrientes del orden de 100 kA y diámetros de columna de plasma de tamaño submilimétrico.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero de los proyectos FONDECYT-ANID N° 1211885, N° 1251843 y N° 1211131.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

D.3. Thomson Scattering as a Diagnostic for Plasma Turbulence: Insights from Particle-In-Cell Simulations

Marco Ribeiro¹, Julio Valenzuela¹, Rodrigo López² y Miguel Escalona¹

¹ Pontificia Universidad Católica de Chile

² Comisión Chilena de Energía Nuclear

Resumen

La turbulencia juega un rol fundamental en el transporte de energía y partículas en plasmas, siendo un fenómeno clave en contextos que abarcan desde plasmas astrofísicos, como el viento solar, hasta plasmas de laboratorio relevantes para la fusión por confinamiento magnético e inercial. Caracterizar la turbulencia resulta esencial para comprender y controlar estos sistemas, pero sigue siendo un desafío experimental. En este estudio se busca caracterizar el espectro de Thomson Scattering producido por plasmas fuera del equilibrio, con el fin de verificar la validez de la aplicación de esta técnica de diagnóstico en plasmas que presentan turbulencia. Se ha reportado [1,4] que fluctuaciones en la densidad de partículas producen asimetrías en la función de forma $S(k, \omega)$ del espectro de la luz dispersada, por lo que el análisis de datos obtenidos mediante esta técnica debe considerar este fenómeno. Además de esta asimetría, también se ha observado un ensanchamiento del espectro [3], por lo que asumir una distribución de velocidades de Maxwell-Boltzmann para realizar el ajuste correspondiente deja de ser válido.

Con el objetivo de recrear las características no térmicas asociadas a la turbulencia, en nuestras simulaciones inicializamos el plasma utilizando distribuciones kappa, las cuales reproducen colas de alta energía en la distribución de velocidades. Esto permite explorar cómo distintas condiciones experimentales afectan el espectro observado y determinar la distribución óptima para distintos escenarios. Distinguir entre el ensanchamiento producido por procesos térmicos y no térmicos, como la turbulencia, es fundamental para comprender la disipación

de energía en plasmas, relevante en la formación de choques no colisiones y en implosiones de Gas-Puff Z-Pinch [3], entre otras aplicaciones [5].

Las simulaciones se realizan utilizando el código open source de simulaciones PIC (Particle-In-Cell) Smilei [2], debido a su facilidad de implementación, paralelización y amplia gama de módulos físicos que permiten modelar distintos tipos de plasmas turbulentos.

[1] K. Sakai, T. Nishimoto, S. Isayama, S. Matsukiyo, Y. Kuramitsu; Ion-acoustic feature of collective Thomson scattering in non-equilibrium two-stream plasmas. *Phys. Plasmas* 1 January 2023; 30 (1): 012105. <https://doi.org/10.1063/5.0117812>. [2] J. Derouillat, A. Beck, F. Perez, T. Vinci, M. Chiaramello, A. Grassi, M. Fle, G. Bouchard, I. Plotnikov, N. Aunai, J. Dargent, C. Riconda, M. Grech, SMILEI: a collaborative, open-source, multi-purpose particle-in-cell code for plasma simulation, *Comput. Phys. Commun.* 222, 351-373 (2018). [3] E. S. Lavine et al., .Energetics of Triple-Nozzle Gas-Puff Z-Pinch Implosions on COBRA, in *IEEE Transactions on Plasma Science*, doi: doi.org/10.1109/TPS.2024.3379889. [4] K. Sakai, S. Isayama, N. Bolouki, M. S. Habibi, Y. L. Liu, et. al; Collective Thomson scattering in nonequilibrium laser produced two-stream plasmas. *Phys. Plasmas* 1 October 2020; 27 (10): 103104. <https://doi.org/10.1063/5.0011935>. [5] S. Davidovits and N. J. Fisch, “Sudden viscous dissipation of compressing turbulence,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 116, no. 10, Mar. 2016, Art. no. 105004, doi: [10.1103/PhysRevLett.116.105004](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.105004).

Agradecimientos

Agradecimientos por el financiamiento de este proyecto a FONDECYT 1220533.

D.4. Caracterización de modos resonantes en pulsos electromagnéticos inducidos por láser y su uso en la clasificación de disparos y diagnóstico del montaje experimental mediante técnicas de aprendizaje automático

Matias Diaz¹, Cristian Pavez², Ariel Tarifeño Saldivia³, Michael Ehret⁴, Jorge Ardila⁵ y Gonzalo Avaria¹

¹ Departamento de Física, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.

² Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN), Chile

³ Instituto de Física Corpuscular (IFIC), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Valencia, España.

⁴ Extreme Light Infrastructure – Beamlines (ELI-Beamlines), República Checa.

⁵ Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.

Resumen

Los avances en la tecnología láser han permitido el desarrollo de sistemas Ti:Sa, capaces de generar pulsos del orden de los petavatios, con frecuencias de disparo entre 0.05Hz y 1Hz. Estos sistemas pueden alcanzar intensidades focales en el rango de 10^{18} W/cm² a 10^{20} W/cm², con pulsos ultracortos del orden de los femtosegundos. Cuando un pulso láser interactúa con un blanco sólido de espesor micrométrico y a estas intensidades ultra-altas, la superficie del material se ioniza rápidamente dando lugar a un plasma denso. En este plasma, los electrones son extraídos a través de la absorción por resonancia de tipo Brunel y la aceleración ponderomotora[1]. El vector potencial normalizado $a_0 \approx 7.8$ predice energías medias electrónicas de aproximadamente 3.5MeV. La eyección de estos electrones relativistas induce potenciales positivos en el blanco, corrientes de retorno en la pared conductora de la cámara de vacío (Al, $1.2 \times 0.6 \times 1.64$ m³, 10^{-6} mbar) y, en consecuencia, la excitación de

modos resonantes en la cavidad dentro de los rangos de VHF-UHF. La superposición de estos campos electromagnéticos produce pulsos electromagnéticos (EMPs).

La excitación relativa y aparición de cada modo normal de los EMPs están determinadas por la configuración experimental dentro de la cámara de vacío, por lo que constituyen una huella característica de cada grupo de disparos asociados a una configuración específica. Sobre esta base, el objetivo es caracterizar dichos EMPs para utilizarlos como elemento de diagnóstico del correcto funcionamiento del set-up experimental y obtener información para clasificar disparos en los que no se dispone de información directa sobre lo ocurrido en el interior de la cámara de vacío, utilizando únicamente el espectro extraído mediante antenas de campo eléctrico (hasta ~ 8 GHz), magnético (hasta $\sim 0,4$ GHz) y antenas bioinspiradas (hasta $\sim 1,75$ GHz).

El experimento considera una diversidad de configuraciones experimentales a partir de la variación del espesor de los blancos de aluminio ($7\mu\text{m}$ - $300\mu\text{m}$) y de polietileno (PE), junto con el uso de moderadores de LiF de 20 a 70mm, con y sin perforaciones. Adicionalmente, se dispuso de diferentes antenas en distintas posiciones dentro y fuera de la cámara de vacío. Cada una de estas configuraciones específicas modifica la dinámica de los electrones y de las corrientes de retorno en las paredes de la cámara, lo cual produce un EMP característico asociado a los modos normales excitados de la cavidad.

Para caracterizar y clasificar los espectros de los EMPs, se emplearon algoritmos de aprendizaje automático, en particular Random Forest y Gradient Boosting. La entrada para cada modelo corresponde a la transformada rápida de Fourier de las señales medidas, normalizada por zona integral. Estas entradas permiten comparar directamente las diferencias espectrales entre disparos y extraer una estimación de qué modos o qué rangos de frecuencia resultan más afectados por un cambio de configuración. El resultado es una clasificación automática de disparos y una herramienta de diagnóstico pasivo capaz de verificar la consistencia y el correcto funcionamiento del set-up experimental con una precisión superior al 97 %

Ehret M, et al. Influence of the experimental setup on electromagnetic pulses in the VHF band at relativistic high-power laser facilities. *Photonics*. 2024;11(5):459. doi:10.3390/photonics11050459

Agradecimientos

Agradecimientos a:

FONDECYT Regular 1253134 FONDECYT Regular 1251843



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

D.5. Diseño de metamateriales FSS para la caracterización de emisiones UHF en experimentos de plasmas pulsados

Julián Rojas¹, Matías Díaz¹, Gonzalo Avaria¹, Jorge Ardila², Cristian Pavez³, Ariel Tarifeño-Saldivia⁴ y Michael Ehret^{5,6}

¹ Departamento de Física, Universidad Técnica Federico Santa María, Av. Vicuña Mackenna 3939, San Joaquín, Santiago, Chile.

² Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad Técnica Federico Santa María, Av. Vicuña Mackenna 3939, San Joaquín, Santiago, Chile.

³ Comisión Chilena de Energía Nuclear, Nueva Bilbao 12051, Las Condes, Santiago, Chile

⁴ Instituto de Física Corpuscular, CSIC Universidad de Valencia, España

⁵ ELI-Beamlines Facility, Extreme Light Infrastructure ERIC, Doln Brezany, República Checa

⁶ Centro de Láseres Pulsados (CLPU), 37185 Villamayor, España

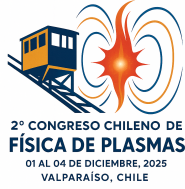
Resumen

Se presentan diseños de metamateriales basados en superficies de frecuencias selectivas (FSS) para la medición de emisiones UHF en experimentos de plasmas pulsados generados por láser. El objetivo es identificar parámetros experimentales a partir del análisis del espectro UHF medido mediante antenas bioinspiradas [1]. El experimento se realizó con el láser “PW-class VEGA-3” del Centro de Láseres Pulsados (CLPU, España), equipado con un sistema Ti:Sa de doble amplificación de pulsos en una longitud de onda de 800 nm, enfocado a intensidades relativistas sobre blancos sólidos de 3.0 μm de espesor, en vacío de 1×10^{-6} mbar. Se utilizaron antenas de campo eléctrico, magnético y un modelo bioinspirado para la detección de emisiones UHF dentro y fuera de la cámara. Las señales registradas fueron analizadas mediante algoritmos de inteligencia artificial [2], encontrándose correlación entre frecuencias relevantes y los modos normales de la cavidad, calculados en [3] hasta 400 MHz. No obstante, al extender el análisis a frecuencias mayores se identificaron bandas con información potencialmente relevante, aunque con amplitudes insuficientes para una interpretación clara.

Para abordar este desafío se diseñaron filtros FSS para frecuencias inferiores a 1,1 GHz, destinados a mejorar la ganancia y permitir una extracción más precisa de la física asociada. Estas estructuras periódicas, formadas por elementos resonantes como parches metálicos, ranuras y dipolos, interactúan con ondas electromagnéticas, reflejando, transmitiendo y absorbiendo señales en bandas específicas. Este trabajo se plantea como continuación de investigaciones previas orientadas al uso de FSS en antenas [4][5], que constituyeron un punto de partida sólido. Referencias: [1] Ardila-Rey, J. A., Karmelic, D. F., Pizarro, F., Govindarajan, S., de Castro, B. A., & Schurch, R. (2024). Bioinspired Ultrahigh Frequency Antenna for Partial Discharge Detection in High-Voltage Equipment. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 73, 1-18. [2] Diaz, M. (s.f.) Caracterización de modos resonantes en pulsos electromagnéticos inducidos por láser y su uso en la clasificación de disparos y diagnóstico del montaje experimental mediante técnicas de aprendizaje automático. [Manuscrito inédito], UTFSM. [3] Ehret, M.; Volpe, L.; Apiñaniz, J.I.; Rodríguez-Frías, M.D.; Gatti, G. Influence of the Experimental Setup on Electromagnetic Pulses in the VHF Band at Relativistic High-Power Laser Facilities. *Photonics* 2024, 11, 459. <https://doi.org/10.3390/photonics11050459>. [4] Iturrieta, D. (2025). Diseño e Implementación de un Reflector de Superficie de Frecuencia Selectiva para la Mejora del Rendimiento de Antenas Monopolo en la Medición de Descargas Parciales. [Tesis título Ingeniería Civil Eléctrica no publicada], UTFSM. [5] Afzal, W., Baig, M. Z., Ebrahimi, A., Robel, M. R., Rana, M. T. A., & Rowe, W. (2024). Frequency Selective Surfaces: Design, Analysis, and Applications. *Telecom*, 5(4), 1102-1128. <https://doi.org/10.3390/telecom5040056>.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de los proyectos FONDECYT Regular 1253134 y FONDECYT Regular 1251843.



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

D.6. Implementación de redes neuronales bayesianas para el análisis de espectros de Thomson scattering

Miguel Escalona¹, Julio Valenzuela¹, Pelayo Phillips¹, Marco Ribeiro¹ y Felipe Veloso¹

¹ Pontificia Universidad Católica de Chile

Resumen

La dispersión colectiva de Thomson (TS) es una técnica de diagnóstico ampliamente utilizada para obtener parámetros del plasma como densidad, temperatura electrónica, temperatura iónica, estado de ionización y las velocidades de las especies presentes. Estos parámetros se estiman comúnmente mediante algoritmos de ajuste que comparan espectros medidos con modelos analíticos derivados de funciones de distribución de velocidades (VDF), habitualmente Maxwellianas. Sin embargo, cuando se busca modelar plasmas con VDFs no-Maxwellianas o incluir efectos cinéticos, los modelos se vuelven más complejos y el análisis espectral requiere mayor capacidad computacional. Esta situación se agrava en entornos experimentales donde se adquieren decenas o incluso cientos de espectros por disparo, al combinar resolución espacial y temporal. En estos casos, los métodos convencionales de ajuste por mínimos cuadrados resultan poco prácticos debido a los altos tiempos de cómputo y a la dificultad para estimar de forma confiable las incertidumbres asociadas a cada parámetro. En este contexto, exploramos el uso de redes neuronales bayesianas (BNNs) como una alternativa más eficiente y escalable para el análisis de espectros TS. Las BNNs permiten obtener inferencias probabilísticas directamente desde el espectro, entregando no solo estimaciones puntuales de los parámetros del plasma, sino también distribuciones de probabilidad a posteriori que capturan de forma explícita las incertidumbres y posibles correlaciones entre parámetros. Presentamos una implementación preliminar de este enfoque utilizando datos sintéticos generados a partir de modelos espectrales con distribuciones de velocidades no-Maxwellianas. El objetivo es evaluar la viabilidad de las BNNs como herramienta de diagnóstico en escenarios donde se requiere procesar grandes volúmenes de datos con modelos no triviales. Las pruebas iniciales indican

que este enfoque permite reducir significativamente los tiempos de análisis manteniendo un tratamiento riguroso de la incertidumbre.



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

D.7. Detección de neutrones en Llampüdken

Mateo Yáñez¹ y Julio Valenzuela¹

¹ Pontificia Universidad Católica de Chile

Resumen

Proponemos la implementación de un sistema de detección de neutrones por tiempo de vuelo (nTOF) en el experimento de Z-pinch Llampüdken (PUC-Chile), utilizando centelladores plásticos acoplados a tubos fotomultiplicadores y osciloscopios de ancho de banda GHz. La radiación gamma emitida en el colapso del pinch servirá como referencia temporal para registrar los tiempos de vuelo de neutrones D–D (~ 2.45 MeV) y, en etapas posteriores, D–T (~ 14 MeV). El objetivo es extraer información sobre la energía media y el ensanchamiento Doppler, vinculados a la temperatura iónica del plasma, así como explorar posibles anisotropías angulares que distingan entre emisiones isotrópicas termales. Este diagnóstico busca consolidar a Llampüdken como plataforma experimental para la investigación de fusión en plasmas comprimidos por corriente y para estudios de astrofísica de laboratorio sobre jets y turbulencia.

Teóricos



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

T.1. Proton-Acoustic Wave Effects on the Relaxation of Proton Transverse Heating in Magnetized Plasmas

Martín A Quijada¹, Pablo S Moya² y Roberto E Navarro¹

¹ Universidad de Concepción

² Universidad de Chile

Resumen

Transverse electromagnetic and electrostatic plasma wave modes propagating along a background magnetic field are treated as independent within linear kinetic theory. However, resonant interactions and energy exchange between waves and particles break this linear decoupling. This work tracks the coupled evolution of Alfvén-cyclotron (ACWs) and Ion-acoustic waves (IAWs) by solving moment-based quasilinear (MbQL) equations for a collisionless plasma of bi-Maxwellian protons and Maxwellian electrons. Unlike earlier quasilinear studies that adopt the cold-electron limit, our formulation retains the full kinetic response of both species, treating the electrons as a thermal reservoir to isolate proton heating. A parameter survey over parallel proton beta ranging from 0.01 to 10, and electron-to-proton temperature ratios between 1 and 10, shows that an ambient spectrum of ACWs can drive significant perpendicular proton heating and increase the temperature anisotropy starting from initially isotropic conditions when the parallel proton beta is below about 0.1, thereby triggering cyclotron instabilities. The quasilinear evolution self-regulates the ACW, driving the system toward a quasi-stationary state with growth rate relative to the proton gyrofrequency smaller than one tenth, and with reduced anisotropy. As the electron-to-proton temperature ratio increases, IAWs become less damped and absorb a larger fraction of the fluctuation energy through Landau resonance, reducing the efficiency of ACW-driven proton heating and thus regulating the instability. For sufficiently large parallel proton beta or for electron-to-proton temperature ratios greater than about 5, ACWs become inefficient drivers of perpendicular heating, leaving IAWs as the dominant dissipation channel. These findings show that modest electrostatic activity in low-beta environments, such as the inner heliosphere and planetary

magnetosheaths, can regulate but not indefinitely sustain cyclotron instabilities. Moreover, the moment-based quasilinear framework provides a clear separation between the roles of IAWs and ACWs, and its flexibility allows straightforward extensions to include kinetic electron sub-populations or other instability mechanisms.

Agradecimientos

We acknowledge the support of ANID, Chile, through the Fondecyt grants No. 1240281 and 1240697.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

T.2. Wave propagation in relativistic anisotropic plasmas

Pedro Godoy¹, J. Alejandro Valdivia¹ y Benjamín Toledo¹

¹ Facultad de Ciencias, Universidad de Chile

Resumen

Pressure anisotropy is a relevant factor in the description of many non-collisional, magnetized plasmas, both in space or in the laboratory setting. In the context of astrophysics, anisotropy appears in the modelling of objects such as pulsar winds and jets, requiring the classical models such as CGL theory to be covariantly extended. Despite extensive work in the theory of relativistic magnetofluids, there's low consensus on the underlying kinetic description that allows for an anisotropic plasma state and/or particle velocity distribution function. In this work, we propose an anisotropic extension of the Maxwell-Jüttner distribution that maximizes local entropy under certain constraints. We argue that this function accurately and self-consistently describes anisotropy states for non collisional, magnetized relativistic plasmas. The resulting fluid model constructed using this distribution is utilized to obtain dispersion relations for circularly polarized waves propagating parallel to the magnetic field, allowing us to compare the results with those of preexisting models and Particle in Cell simulations.

Agradecimientos

This work was funded by the National Agency for Research and Development (ANID)/Fondecyt under the award numbers 1240697 and 21253136.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

T.3. Theoretical study of the dispersion properties of kinetic Alfvén waves in multi ion plasmas

Nicolás Villarroel Sepúlveda¹, Pablo S. Moya¹ y Rodrigo A. López²

¹ Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile

² Research Center in the Intersection of Plasma Physics, Matter, and Complexity (P²mc),
Comisión Chilena de Energía Nuclear

Resumen

The omnipresence of Alfvén waves in space and astrophysical environments, along with their sheer importance in a wide range of physical processes, makes them to date a key research subject for our understanding of the Universe. Kinetic effects modify significantly the dispersion relation and polarisation properties of Alfvén waves for wavenumbers comparable to the inverse ion gyroradius. In such a limit, Alfvén waves propagating in the direction of the background magnetic field generally exhibit a sub-Alfvénic phase-speed, and their polarisation is left-handed in the field-perpendicular plane. This mode is prone to cyclotron resonances with positive ions, and is thus referred to as the Alfvén/ion-cyclotron (A/IC) mode. Alfvén waves propagating in the near-perpendicular direction with respect to the background field are called kinetic Alfvén waves (KAW). This mode's phase-speed is greater than the Alfvén speed, and its polarisation is linear or right-hand elliptically polarised. Due to the great importance of both modes in space, astrophysical, and laboratory plasmas, determining the transition angle from left-hand polarised to right-hand polarised Alfvén waves becomes a matter of great interest. In this study, we combine analytical and numerical calculations within the framework of Vlasov-Maxwell theory to study the propagation angle at which the polarisation of kinetic-scale Alfvén waves changes its sign. We present novel approximations both in electron-proton and multi-ion plasmas. By complementing this with exact numerical solutions, we show that temperature and ion composition play a major role in the propagation of Alfvénic waves and in the transition angle between the EMIC and KAW modes.

Agradecimientos

N.V.S. gratefully acknowledges the support ANID, Chile, through the National Doctoral Scholarship 21220616 (NVS), and FONDECYT grants 1240281 (P.S.M.) and 1251712 (R.A.L). This study benefited from support by the International Space Science Institute (ISSI) in Bern, through ISSI International Team project 24-612 (“Excitation and dissipation of kinetic-scale fluctuations in space plasmas”).



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

T.4. Critical Phenomena Associated with the Formation of Multiple Electron-Acoustic BGK-Like Waves

Danilo M. Rivera¹, Hugo A. Carril¹, Jaime A. Araneda¹ y Roberto E. Navarro¹

¹ Universidad de Concepción

Resumen

Plasmas composed of two electron populations with different temperatures can sustain electron-acoustic waves (EAWs), electrostatic modes in which cold electrons oscillate against a hot background that provides the restoring force. EAWs have been proposed as a mechanism for explaining broadband electrostatic noise in Earth's magnetotail, due to their ability to generate solitary structures in two-temperature plasmas [1]. In this work, we investigate the long-time asymptotic evolution of electrostatic plasmas in a regime where EAWs are the least damped linear modes. High-resolution Vlasov–Poisson simulations are performed, exploring initial conditions with different fractions of cold electrons and several excited wavenumbers. Our goal is to determine the asymptotic states attained by the plasma and identify under which conditions coherent phase-space structures are formed. The results show that, under various initial conditions, EAWs survive the initial damping and evolve into states dominated by electron trapping, leading to the formation of BGK-type vortices around the wave phase velocity. A key finding is that, at longer times, secondary vortices progressively populate phase-space. This process reflects nonlinear wave–wave coupling and energy transfer toward smaller scales, producing asymptotic states rich in coherent structures. Such dynamics are consistent with those reported in single-population plasmas, where asymptotic states characterized by multiple distributed vortices have been observed [2]. Furthermore, we identify a critical phenomenon that separates two distinct regimes: one in which the perturbation is fully damped without forming persistent structures, and another where multiple BGK-like vortices define the asymptotic state. This threshold is characterized by analyzing the time at which the first secondary vortices appear, which follows a power-law scaling with respect to the cold electron density. From this scaling, we establish a critical density that

marks the transition between both regimes. This result extends previous studies of critical phenomena in non-collisional plasmas to the context of EAWs. Ivanov et al. [3] showed that the arrest of Landau damping can be described as a critical phenomenon in single-population plasmas, while Rupp et al. [4] identified a critical density separating linear damping from nonlinear recovery in two-population systems. Our study complements these perspectives by demonstrating that the onset of phase-space structures also follows a well-defined critical threshold. In conclusion, we show that EAWs can evolve not only into solitary structures but also into self-organized states characterized by multiple BGK-like vortices distributed across phase-space. The transition to these states can be described within the framework of critical phenomena, providing a robust conceptual tool to understand out-of-equilibrium plasma dynamics and to anticipate the initial conditions that determine whether the system damps out or evolves toward structured asymptotic regimes.

References [1] R. L. Mace and M. A. Hellberg, *J. Geophys. Res.* 98, 5881 (1993). [2] H. A. Carril et al., *Phys. Rev. E* 107, 065203 (2023). [3] A. V. Ivanov et al., *Phys. Plasmas* 11, 4649 (2004). [4] C. F. Rupp et al., *Phys. Plasmas* 22, 102306 (2015).

Agradecimientos

This research was funded by ANID Chile through FONDECYT grants No. 1240281 and No. 1240697 (R.E.N.). D.M.R. and H.A.C. acknowledge support from the ANID doctoral fellowships No. 21232025 and No. 21202472, respectively. We thank Jorge A. Gidi for useful comments.



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

T.5. Physical Model of a Non-Transferred Plasma Torch for Waste Management

E. Figueroa¹, J. Wachter¹, P. Miranda¹, V. Fuentes¹ y R. Correa¹

¹ Departamento de Física, Facultad de Ciencias Naturales, Matemática y del Medio Ambiente, Universidad Tecnológica Metropolitana, Santiago 7800002.

Resumen

This study presents a physical model of a non-transferred plasma torch designed to treat urban and industrial solid waste. The torch generates thermal plasma with electron densities between 10^{21} m⁻³ and 10^{24} m⁻³ and temperatures near 10^4 K, enabling the decomposition of waste into synthesis gas (CO and H₂) and molten slag that immobilizes heavy metals. The model estimates the minimum power required for atomization based on molar energy and plasma flow. For example, water requires 927 kJ/mol, and torch efficiency (50–70 %) must be considered to ensure complete decomposition. It also incorporates particle conservation, external pressure, and plasma mass density, which depends on the atomic mass of the injected gas. From these parameters, an expression for plasma density is derived, allowing prediction of optimal operating conditions—temperature, pressure, and flow rate—for efficient waste treatment. This framework supports the design of plasma-based systems for environmental remediation and energy recovery. Similar applications have been demonstrated by Figueroa and Fuentes (2018), who explored plasma gasification as a viable method for waste management and electricity generation (J. Phys.: Conf. Ser. 1043, 012065).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido desarrollado en el marco del proyecto “Resistencia a la radiación de plasma de compuestos basados en tungsteno con material nanoestructurado como refuerzo”, financiado por la Vicerrectoría de Investigación y Postgrado de la Universidad Tecnológica Metropolitana (UTEM), en el contexto del concurso de Proyectos Regulares de Investigación.



2° CONGRESO CHILENO DE
FÍSICA DE PLASMAS
01 AL 04 DE DICIEMBRE, 2025
VALPARAÍSO, CHILE



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

T.6. Distancia al equilibrio y correlación en plasmas con distribuciones kappa

Sergio Davis¹

¹ Centro P2mc, Comisión Chilena de Energía Nuclear

Resumen

Los plasmas fuera del equilibrio, como los que existen en la magnetósfera terrestre o el viento solar, muchas veces presentan distribuciones de velocidades no Maxwellianas. En particular, la distribución kappa de velocidades, comúnmente asociada a la estadística no extensiva de Tsallis, aparece usualmente en este tipo de plasmas espaciales, e incluso ha sido propuesta para modelar ciertos plasmas de laboratorio en condiciones extremas. En estos plasmas, el índice espectral kappa se considera como una medida de la complejidad del sistema, y de la desviación respecto al equilibrio canónico, el cual ocurre para kappa tendiendo a infinito. Sin embargo, esta interpretación del índice kappa con una medida de complejidad carece de un soporte formal basado en la teoría de información. Una descripción elegante para las distribuciones kappa, rigurosamente basada en la teoría de la probabilidad la proporciona la superestadística, que supone una mezcla o superposición de equilibrios canónicos a distintas temperaturas. En este trabajo se presenta una recientemente postulada definición de distancia al equilibrio en sistemas modelados por superestadística, con énfasis en plasmas no colisionales que poseen distribuciones kappa. Nuestros resultados entregan una conexión formal entre la distancia al equilibrio en superestadística, el índice espectral kappa, y la información en bits que comparten las velocidades de dos partículas arbitrarias de un plasma.

Agradecimientos

Agradecimientos al proyecto ANID FONDECYT 1220651.

Comunicacion



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

C.1. Metaphors in Astrophysical Plasma Research: An Ethnographic and Corpus-Based Study

Flavia I. Livacic-Rojas¹ y Pablo S. Moya¹

¹ Physics Department, Faculty of Sciences, Universidad de Chile

Resumen

A metaphor is a figure of speech that describes an object or action in a way that is not literally true but helps to explain an idea or make a comparison. In science, metaphors can help to illustrate abstract concepts by drawing parallels to tangible objects or processes that people are familiar with. This study is a mixed (qualitative and quantitative) research of how metaphors are used in astrophysical plasmas theses, based on an ethnographic study as participant-observers of metaphors utilized by a Space and Astrophysical Plasma research group of the Physics Department, Faculty of Sciences, Universidad de Chile. It will be followed by classification and characterization work, supported by a literature review on the historical use and journey of certain metaphors in the area.

During this initial five-month participant observation, we captured more than ten potential words or expressions and listed them as a “corpus.” We organized the corpus into five existing variables: role, devices and tools, cuisine, personification, and miscellaneous. From this set, we selected two metaphors for detailed review because of their relevance and extensive use within this specific research group. The selected terms are “seed” to refer to a small, initial condition (such as an initial magnetic field), and “tails”, meaning the extreme ends of a curve in graphs, where data values are less frequent and further from the mean or central tendency. This initial study has compiled a handful of metaphors and revised the two most frequent ones. The resulting corpus could be a starting point for the development of a compendium of metaphors for the astrophysical plasmas area. Further studies, such as extensive surveys and additional literature reviews, would be required as a continuation of this endeavor.

Agradecimientos

We would like to thank all the students in the PlaNETS Space plasmas group for their support in detecting metaphors, and Riva Quiroga for her valuable contribution in the linguistics area. We acknowledge the support of ANID, Chile, through the Fondecyt grant No. 1240281.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

C.2. Astrogirls: visibilizando la heliofísica desde la experiencia científica y la divulgación con perspectiva de género

Sol Troncoso¹, Martina Abarca¹ y Dafhne Muñoz¹

¹ Departamento de Física, Universidad de Santiago de Chile

Resumen

En un contexto donde la ciencia aún enfrenta desafíos en términos de acceso, representación y apropiación social, la iniciativa “Astrogirls” surge como una propuesta de divulgación y comunicación científica que articula conocimiento especializado en astrofísica y heliofísica con narrativas personales de tres estudiantes de astrofísica a través de sus experiencias académicas y de investigación. Astrogirls, consiste en una agrupación de estudiantes de pregrado que, con apoyo de docentes e investigadores de la Universidad de Santiago de Chile y el Centro de Investigación en Astrofísica y Ciencias del Espacio (CIRAS), busca generar un puente entre la comunidad científica y la sociedad, destacando no solo el contenido científico vinculado al estudio del entorno solar y sus interacciones con el medio interestelar, sino también humanizando el quehacer astrofísico desde una perspectiva situada y accesible. En este trabajo se presentará el enfoque metodológico, los objetivos y las primeras acciones de la iniciativa, enfatizando cómo la divulgación puede ser una herramienta transformadora tanto para la comunicación de la ciencia como para la visibilización de mujeres en disciplinas tradicionalmente masculinizadas. A partir de la experiencia como estudiantes, se discutirán los alcances y limitaciones de la iniciativa, así como proyecciones para que Astrogirls contribuya a ampliar las formas de acceder y habitar el conocimiento astronómico.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo de la Universidad de Santiago de Chile, del Centro de Investigación en Astrofísica y Ciencias del Espacio (CIRAS), así como la valiosa colaboración de Víctor A.

Pinto y Carla Hernández Silva.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

C.3. Comparison of different Numerical methods for the development of numerical simulations in Plasma Physics

Sebastián I. Pons¹, Roberto E. Navarro¹ y Jaime A. Araneda¹

¹ Universidad de Concepción

Resumen

With a long history and numerous studies[1][2], numerical simulations are a fundamental tool in the study of theoretical[3], astrophysical[4], Earth's space environment[5], and laboratory plasma physics[6]. Among the most commonly used techniques are hybrid-PIC codes, in which ions are treated as individual electrically charged particles at kinetic scales, while electrons are modeled as a background fluid that neutralizes the plasma charge.

A central aspect of these simulations is the numerical method used to integrate the motion of ions under the Lorentz force in the presence of a background magnetic field. Among the most widely used are the Boris, Verlet, and various Runge-Kutta methods, each with different conservation properties, accuracy, and stability. On the other hand, the evolution of electromagnetic fields generated by plasma instabilities can be calculated using both explicit and implicit schemes, while the fields can be represented spatially by finite differences of different orders, or by mean of spectral methods based, for example, on Fourier transforms.

For new students entering the field, the wide variety of numerical methods can be complex to understand and slow to assimilate. The aim of this work is to offer a clear comparative study and provide a more concrete initial view of the behavior and conservation properties of different numerical methods, taking into account their computational cost under a common set of initial conditions. This is intended to support the learning process of students, particularly regarding the impact of these numerical choices on plasma evolution in the presence of thermal anisotropies, different ion beta values, and multi-ion population configurations.

References [1] R.C. Davidson et. al. Transverse electromagnetic instabilities in collisionless plasmas. doi:10.1016/0375-9601(71)90846-2. [2] Valentini F. et al. A hybrid-Vlasov model

based on the current advance method for the simulation of collisionless magnetized plasma. doi:10.1016/j.jcp.2007.01.001. [3] Harned, D. S. Quasineutral hybrid simulation of macroscopic plasma phenomena. doi:10.1016/0021-9991(82)90094-8. [4] Araneda et al. Proton core temperature effects on the relative drift and anisotropy evolution of the ion beam instability in the fast solar wind. doi:10.1029/2002JA009337. [5] Agim et al. Magnetohydrodynamic and hybrid simulations of broadband fluctuations near interplanetary shocks. doi:10.1029/95JA00527.

Agradecimientos

ANID BECAS/DOCTORADO NACIONAL 21252436.

Otro



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

O.1. Design of a dual-polarization system to study ionospheric absorption

Claudio Fernández Cavieres¹

¹ Universidad de Concepción

Resumen

La ionósfera es la parte ionizada de la atmósfera, ubicada entre los ~60 km y más de ~1000 km de altitud. Su característica principal es la capacidad de modificar las radiaciones de radio que atraviesan sus capas. Las señales de radio que provienen del espacio y se ven alteradas por esta capa permiten estudiar sus propiedades, especialmente la densidad de electrones, que es clave para modelar la ionósfera y comprender cómo afecta las señales de comunicaciones en frecuencias altas (HF).

Este trabajo se enfoca en el uso del instrumento ISI-Riometer (Ionospheric Spectral Imager), que mide la opacidad de la ionósfera a través del análisis de señales de ruido cósmico. Los riómetros miden la opacidad utilizando una fuente externa de radiación, en este caso, la radiación sincrotrón proveniente del centro de la galaxia. Las variaciones en la densidad de electrones de la ionósfera afectan la absorción de las señales, lo que nos permite estimar la opacidad de la ionósfera.

El ISI-Riometer está ubicado en la plataforma científica Wenulafken, en el cerro de la Universidad de Concepción, a coordenadas -36.84°S , -73.03°O . Actualmente, todas las antenas poseen una sola polarización, y debido a condiciones climáticas adversas y trabajos de tala, algunas antenas han sufrido daños. Para repararlas, se necesitan postes nuevos y balunes, dispositivos que equilibran las líneas de transmisión.

La ionósfera es un medio anisotrópico, lo que significa que su comportamiento no es lineal, y la propagación de ondas varía dependiendo de la orientación del campo magnético de la Tierra. Con un sistema de doble polarización, es posible medir las ondas tanto en polarización vertical como horizontal, lo que mejora la precisión de las mediciones de opacidad.

Antes de instalar las nuevas antenas, se realizarán simulaciones con el software FEKO para estudiar la viabilidad de implementar doble polarización en el sistema. Además, se optimizará

el diseño para obtener los mejores parámetros de ganancia y directividad del arreglo de antenas. También se desarrollará un sistema de autocalibración, que incluirá la fabricación de tarjetas electrónicas específicas para este fin, las cuales serán evaluadas utilizando un VNA (analizador de redes vectoriales).

El objetivo final de este proyecto es implementar una configuración de doble polarización para medir la opacidad de la ionósfera, permitiendo estudiar la absorción ionosférica con datos calibrados. Esta información será útil para la creación de perfiles de densidad de electrones y para investigar cómo fenómenos como las llamaradas solares afectan los sistemas de comunicaciones y posicionamiento satelitales.

Agradecimientos

CePIA y CINC

O.2. Implementación del método EM para la estimación de parámetros en distribuciones kappa en el marco de la superestadística

Leonardo Herrera¹ y Sergio Davis¹

¹ 1. Universidad Andrés Bello, Facultad de Ciencias Exactas, Departamento de Física, Chile 2. Comisión Chilena de Energía Nuclear, Santiago, Chile

Resumen

En plasmas espaciales ya hace varias décadas [1] se utiliza la distribución kappa para modelar las observaciones empíricas y, más recientemente [2], se ha mencionado en conferencias la observación de esta distribución en condiciones de laboratorio. En el sentido físico, distribuciones de energía observadas exhiben colas supratérmicas que la clásica Maxwelliana no logra reproducir. La familia de distribuciones kappa, que introduce un único parámetro adicional κ , ha demostrado capturar tanto la componente térmica como la población energética en regiones tan diversas como el viento solar o la magnetósfera terrestre.

Sin embargo, su uso sigue siendo mayoritariamente fenomenológico, donde, en general, reconocemos 3 puntos por mejorar: (i) se elige el valor del parámetro κ “a mano” o por simple ajuste de curvas, (ii) no se propaga la incertidumbre de κ de forma rigurosa (intervalos de confianza, errores sistemáticos) y (iii) cada grupo adopta criterios diferentes para aceptar o rechazar la kappa, lo que dificulta la comparación entre experimentos y simulaciones.

Desde la perspectiva de la superestadística [3], la distribución kappa emerge de manera natural como una superposición continua de Maxwellianas ponderadas por fluctuaciones del parámetro inverso de temperatura β . Este marco probabilístico permite abordar el problema de estimación de sus parámetros en uno de inferencia bayesiana con parámetros latentes, abriendo la posibilidad de aplicar herramientas modernas de análisis numérico.

En este trabajo presentamos la implementación de un algoritmo Expectation–Maximization (EM) [4] diseñado específicamente para estimar el parámetro κ en el contexto de la superestadística. El procedimiento alterna un paso E que infiere las variables latentes β y un paso M

que actualiza el parámetro κ maximizando la verosimilitud completa, logrando convergencia robusta incluso en presencia de datos ruidosos o incompletos. Esta implementación contribuye a agilizar y fundamentar la solución a los problemas asociados a los dos primeros puntos descritos y estandarizar los criterios de “aceptación” de la distribución kappa frente a un conjunto de observaciones.

Referencias [1] S. Olbert. Summary of experimental results from M.I.T. detector on IMP-1. In *Physics of the Magnetosphere*, pages 641–659. Springer, Dordrecht, 1968. [2] Georgios Nicolaou and Georgios Livadiotis. Overview of recent applications of kappa distributions in space and laboratory plasmas. Presented at the 44th COSPAR Scientific Assembly, 2022. [3] C. Beck and E.G.D. Cohen. *Physica A*, 322:267–275, 2003. [4] Thomas B. Schön. An explanation of the expectation maximization algorithm. Technical Report LiTH-ISY-R-2915, Linköpings universitet, Division of Automatic Control, SE-581 83 Linköping, Sweden, August 2009.

Agradecimientos

A la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo ANID, al centro P2mc de la Comisión Chilena de Energía Nuclear y al programa de doctorado en ciencias Físicas de la UNAB.

O.3. Simulación MHD de la deflagración de plasma en un propulsor magnetoplasmadinámico con inyección supersónica

Eduardo Calderon¹

¹ Pontificia Universidad Católica de Chile

Resumen

Los propulsores magnetoplasmadinámicos (MPDT) constituyen una de las alternativas más prometedoras para alcanzar altos niveles de eficiencia en el empuje, gracias a su elevado impulso específico (I_{sp}), lo que los hace especialmente atractivos para aplicaciones espaciales prolongadas. Sin embargo, su rendimiento ha estado históricamente limitado por la eficiencia de ionización, el control del chorro de plasma y su bajo empuje neto. La literatura actual sostiene que la inyección supersónica de gas en este tipo de dispositivos es ineficiente, en gran medida a partir de análisis centrados en el mecanismo de auto-aceleración (Self-Field MPDT) sin considerar el efecto de campos magnéticos externos generados por bobinas superconductoras.

El trabajo a presentar aborda esta limitación mediante simulaciones numéricas basadas en magnetohidrodinámica (MHD), orientadas a estudiar el comportamiento del plasma cuando un gas neutro es inyectado supersónicamente en la región comprendida entre un cátodo axial y un ánodo coaxial, donde se produce simultáneamente su ionización y aceleración bajo la acción de un campo magnético aplicado. El objetivo es comparar directamente la evolución del plasma en condiciones de inyección subsónica y supersónica, analizando en particular la deflagración del plasma y su acoplamiento magnético con el campo aplicado.

Las simulaciones consideran condiciones representativas de un propulsor AF-MPDT (Applied-Field MPDT) con bobinas superconductoras, lo que permite explorar regímenes de mayor intensidad de campo sin penalización energética significativa. Se estudiará la evolución espacial y temporal de parámetros como densidad, temperatura, velocidad e ionización, con el fin de determinar el impacto de las condiciones de inyección en la eficiencia de empuje y en la estabilidad del chorro.

Los resultados esperados permitirán establecer si la inyección supersónica, bajo la acción de un campo aplicado, puede superar las limitaciones previamente reportadas en configuraciones de campo propio. De confirmarse esta hipótesis, los resultados aportarían evidencia sobre el rol de la inyección supersónica en presencia de campos aplicados, entregando una caracterización más realista de la deflagración de plasma y su interacción electromagnética. Este análisis permitirá además sentar bases para explorar, en trabajos futuros, el impacto de la modulación temporal del campo en la eficiencia y estabilidad del propulsor.