



Prof. Dr. Luis Gomberoff

Inestabilidades lineales y acoplamientos no lineales de ondas, en plasma espaciales y de laboratorio

2003 - Reservados todos los derechos

Permitido el uso sin fines comerciales

Prof. Dr. Luis Gomberoff

Inestabilidades lineales y acoplamientos no lineales de ondas, en plasma espaciales y de laboratorio

Para comprender mejor el contenido de mis investigaciones, es conveniente decir algunas palabras relativas al ámbito de acción de la Física del Plasma.

Un plasma es un gas ionizado, es decir, compuesto por iones y electrones, en el que predominan los efectos colectivos del sistema. En este sentido, estamos en condiciones de aseverar que la materia en el universo se encuentra en un 99.99% en estado de plasma.

Así, entre otros, son plasmas tanto el Sol, como la materia interplanetaria, las galaxias y la materia intergaláctica. Por lo tanto, si bien la estructura del macrocosmos está muy posiblemente determinada por interacciones gravitacionales, su microestructura, es decir, la estructura de las estrellas y sus interacciones con sus respectivos sistemas planetarios, así como la estructura misma de las galaxias, están gobernadas por fuerzas electromagnéticas, que son las fuerzas que controlan a los plasmas.

Por otra parte, a pesar de que la tierra pertenece a este 0.01% donde los plasmas no se dan en estado natural -excepto en descargas eléctricas como, por ejemplo, una tormenta eléctrica- es posible generarlos en el laboratorio. Un aspecto fundamental de los plasmas de laboratorio tiene que ver con el proyecto de fusión controlada. Este proyecto consiste en crear un sol artificial con el propósito de generar energía, de la misma forma en que lo hace el Sol.

Mis investigaciones de los últimos años, tienen que ver con varios de los aspectos mencionados más arriba. Así, en lo que se refiere a nuestro sistema planetario, desde los comienzos mismos de la época espacial, se ha podido determinar que el Sol emite un plasma compuesto por electrones, protones y un gran número de iones pesados, que constituyen lo que llamamos viento solar. Existen dos tipos de viento solar : (a) viento solar rápido y (b) viento solar lento. El viento solar lento se comporta en la forma esperada, de acuerdo con nuestras teorías. Sin embargo, el viento solar rápido muestra características tales, que por más de 30 años, han evadido una explicación. Estas características se refieren al hecho de que los iones más pesados viajan más rápidamente que los protones, y son también más calientes que los mismos. Hemos dedicado bastante esfuerzo a este problema. Los resultados de estos estudios han permitido producir un modelo que puede explicar el

mecanismo responsable de estos hechos. Este consistiría en una interacción resonante entre ondas de alfvén (ondas electromagnéticas de muy baja frecuencia, que existen sólo en presencia de un campo magnético externo y que generan movimientos colectivos del sistema, afectándolo en su conjunto) generadas en hoyos coronales, las que al propagarse en el viento solar, entregarían mayor energía a los iones más pesados, calentándolos y acelerándolos al mismo tiempo. Asimismo, hemos demostrado que, a medida que los iones pesados son acelerados, las propiedades de dispersión de las ondas cambian de manera tal, que la banda prohibida de propagación de estas ondas, existen entre la girofrecuencia de los iones (frecuencia de giro del movimiento helicoidal de los iones en torno a las líneas de campo del campo magnético) y la frecuencia de corte, desaparece. Estos resultados están cualitativa y cuantitativamente de acuerdo con las observaciones [1.6].

Todavía en el ámbito del sistema planetario, hemos demostrado también que las ondas iónicas ciclotrónicas, que son ondas electromagnéticas de polarización circular, que se propagan en la dirección de un campo magnético externo y que resuenan con los iones, son fuertemente amplificadas en la presencia de una componente minoritaria de iones más fríos. Estos resultados, en conjunto con otros relativos a ondas electrostáticas, han permitido explicar observaciones dentro de la magnetósfera terrestre, magnetósferas de otros planetas y cometas. También provee un mecanismo factible de utilizarse industrialmente para amplificación de ondas electromagnéticas [3,4].

Tanto en lo que se refiera a ondas de alfvén, como a las ondas iónicas ciclotrónicas, hemos estudiado sus decaimientos paramétricos, es decir, efectos no lineales responsables de acoplamientos entre distintos tipos de ondas. Hemos demostrado la existencia de una gran variedad de nuevos acoplamientos e inestabilidades, así como de nuevos fenómenos. Muy particularmente, cabe destacar lo que hemos llamado "pump induced coupling", que consiste en acoplamientos inducidos por una intensidad creciente de la onda madre. Estos nuevos acoplamientos, particularmente con ondas acústicas de iones, permiten, a través del amortiguamiento de Landau, depositar energía en los iones del sistema. Estos resultados, que permiten explicar el calentamiento de algunos plasmas en varias regiones del espacio, son también relevantes para plasmas de fusión, puesto que constituyen una idea novedosa para calentar plasmas y alcanzar las temperaturas necesarias para gatillar la fusión controlada (¡aproximadamente unas 8 veces la temperatura del núcleo del Sol!) [7-10].

Nos hemos ocupado también de plasmas astrofísicos, especialmente de estrellas de neutrones. Los pulsares, (estrellas de neutrones), tienen una magnetósfera compuesta por un plasma de electrones y positrones. En este plasma se generan ondas electromagnéticas que pueden ser observadas en la Tierra. Esta radiación muestra la interesante característica de modulación de amplitud. Hace algunos años se planteó la idea de que estas ondas podrían automodularse debido a la existencia de una inestabilidad modulacional. Los cálculos demostraron que no es éste el caso. Los estudios se hicieron en base a la teoría usual de fluidos, que supone que la energía térmica del sistema es muy inferior a la energía en reposo de las partículas. Sin embargo, las observaciones muestran que el plasma de electrones y positrones en una estrella de neutrones, y posiblemente en núcleos galácticos activos, las temperaturas son relativistas, es decir, mucho mayores que la energía en reposo de las partículas. Incluir efectos relativistas de temperatura probó ser un desafío mayor. A pesar de ello, hemos podido hacerlo y en forma autoconsistente, introduciendo además,

otros efectos que inciden en el problema, como por ejemplo, la existencia de fonones (ondas electro-acústicas) y sus interacciones con la radiación electromagnética. Así, hemos podido demostrar que, debido a efectos relativistas de temperatura y acoplamientos de la radiación electromagnética con los fonones, se gatilla una inestabilidad modulacional que se traduce en una automodulación en la amplitud de la onda electromagnética. Los resultados son consistentes con las observaciones [11,12].

Hemos también introducido en el modelo anterior, la presencia de un campo magnético de gran intensidad -que es el caso de las estrellas de neutrones- y hemos podido demostrar que, incluso en ausencia de fonones, la inestabilidad modulacional responsable de la modulación de la amplitud de la radiación, está presente en el sistema. Estos resultados constituyen una evidencia importante de la hipótesis de automodulación [13].

Otro problema que nos ha interesado, tiene que ver con el estudio de la convección estacionaria en plasmas. La existencia de celdas de convección en un fluido neutro, es un fenómeno bien conocido y estudiado. La convección estacionaria en fluidos neutros se debe, entre otros, a la acción de la fuerza de gravedad. Es interesante hacer notar que experimentos de convección en fluidos neutros se han realizado recientemente en el espacio en condiciones de ingravidez, confirmándose que el fenómeno no existe en tales condiciones. En un plasma la gravedad no juega ningún papel. Sin embargo, hemos demostrado que en un plasma la acción de un campo magnético curvo puede reemplazar a la gravedad, dando origen a un fenómeno de convección muy similar al caso de un fluido neutro. Este problema ha sido exhaustivamente estudiado y confirmado en experimentos realizados en laboratorios. Es también posible que las celdas de convección existentes en el Sol, se deban a un fenómeno de este tipo [14-17].

Por último, hemos demostrado la existencia de una nueva inestabilidad electromagnética en un plasma consistente en un fondo de electrones y iones, y un haz de iones que se mueve a través del fondo. Esta inestabilidad tiene una estructura de bandas -en ciertos casos compuestas por radiación altamente monocromática- y es de amplio espectro para plasmas muy calientes. Plasma de este tipo existen tanto en el espacio como en los plasmas de fusión. En consecuencia, hemos aplicado estos resultados a ambas situaciones [18-20].

Todos los problemas considerados más arriba son problemas que están en la frontera del conocimiento de la Física del Plasma. Por lo tanto, constituyen la base para estudios posteriores y más acabados de estos fenómenos. Por ejemplo, los estudios relacionados con inestabilidades paramétricas se han realizado en base a una teoría de fluidos la que no incluye efectos importantes, como es, el amortiguamiento de Landau. La forma como influye tal efecto en los decaimientos paramétricos, es un problema abierto que requiere ser abordado con una teoría cinética. Asimismo, si bien hemos podido incluir efectos ultrarrelativistas en la energía térmica de un plasma de electrones y positrones, no hemos podido hacer lo mismo en lo que se refiere al movimiento de las partículas en el campo de la onda electromagnética, donde sólo hemos podido incorporar efectos débilmente relativistas. Sin embargo, los campos eléctricos que se generan en dichos plasmas son de tal intensidad, que los electrones son capaces de alcanzar velocidades ultrarrelativistas. A éstos, y otros aspectos relacionados con estos problemas, nos abocaremos en el futuro.

Referencias

"Resonant acceleration of alpha particles by ion-cyclotron waves in the solar wind"

L. Gomberof and R. Elgueta

J. Geophys. Res., 96, 9801-9804, (1991)

"On the alpha particle acceleration in the fast solar wind"

L. Gomberof and R. Hernández

J. Geophys. Res., 97, 12, 113-12,116, (1992)

"The semi-cold approximation in magnetospheric and solar wind physics"

L. Gomberof

Invited Review Paper. Geophys. Int., II 30, 4, pp. 225-339, (1992)

"Electromagnetic waves in the earth's magnetotail and in comets, and electromagnetic instabilities in the magnetosphere and in the solar wind"

L. Gomberoff

Invited Review Paper. IEEE Transactions on Plasma Science, 20, 843-866, (1992)

"Acceleration and Heating of Heavy Ions by Circularly polarized alfvén Waves"

L. Gomberoff, F.T. Gratton, and G. Gnani

J. Geophys. Res., 101, 15,661-15665, (1996)

"Excitation and parametric decay of electromagnetic ion cyclotron waves in high speed solar wind streams"

L. Gomberoff, F.T. Gratton, and G. Gnani

J. Geophys. Res., 99, 14,717-14727, (1994)

"Decay of the ion-cyclotron instability in magnetized plasma with thermally anisotropic minority ions, Plasma Phys. Control"

R.M.O. Galvao, G. Gnani, L. Gomberoff, and F. Gratton

Fusion, 36, 1679-1689, (1994)

"Circularly polarized alfvén waves and ion cyclotron waves in space plasmas"

L. Gomberoff

Invited Review Paper. Physica Scripta, T60, 144-159, (1995)

"Electromagnetic ion cyclotron waves in space plasmas"

L. Gomberoff

*Invited Review Paper. VI Latin American Workshop on Plasma Physics Combined with the 1994 International Conference on Plasma Physics
Braz. Jour. Phys., 26, 426-451, (1996)*

"Parametric decay of shear Alfvén waves in multicomponent plasmas"

R.M.O. Galvao, G. Gnani, L. Gomberoff, and F.T. Gratton

Phys. Rev. E, 54, 4112-4120, (1996)

"Self modulation of a strong electromagnetic wave in a electron-positron plasma induced by relativistic temperatures and phonon damping"

F.T. Gratton, G. Gnani, R.M.O. Galvao, and L. Gomberoff

Phys. Rev. E, 55, 1-12, (1997)

"Parametric decays of a linearly polarized electromagnetic wave in an electron-positron plasma"

L. Gomberoff, V. Muñoz, and R.M.O. Galvao

Phys. Rev. E. (submitted for publication), (1997)

"Modulational instability of an electromagnetic wave in a magnetized electron-positron plasma with relativistic thermal energies"

L. Gomberoff and R.M.O. Galvao

Phys. Rev. E. (submitted for publication), (1997)

"Convection in a cylindrical plasma column with a free boundary"

L. Gomberoff and K. Gomberoff

Phys. Fluids B4, 1428-1431, (1992)

"Effect of Hall currents on the steady convection of a current-carrying cylindrical plasma"

K. Gomberoff and L. Gomberoff
Phys. Fluids B4, 3024-3030, (1992)

"Effect of viscosity on the stationary convection of a cylindrical plasma with a free boundary"

L. Gomberoff
Phys. Rev. E., 50. 1692-1696, (1994)

"Steady convection due to resistivity and viscosity in plasma column with a free boundary"

L. Gomberoff
Invited paper in instabilities and nonequilibrium structures
Tirapegui and W. Zeller (Eds.)
Kluwer Academic Press, pp. 119-129, (1996)

"Electromagnetic beam-plasma instabilities in a cold plasma"

G. Gnani, L. Gomberoff, F.T. Gratton, and R.M.O. Galvao
Plasma Phys., 55. 77-86, (1996)

"Minor heavy-ion beam-plasma interactions in the solar wind"

L. Gomberoff, G. Gnani, and F.T. Gratton
J. Geophys. Res., 101, 13,517-13,522, (1996)

"Thermal effects on electromagnetic beam-plasma instabilities"

L. Gomberoff and H. Astudillo
J. Geophys. Res. (submitted for publication), (1997)

[Facilitado por la Universidad de Chile](#)

Súmese como **[voluntario](#)** o **[donante](#)**, para promover el crecimiento y la difusión de la **[Biblioteca Virtual Universal](#)**.

Si se advierte algún tipo de error, o desea realizar alguna sugerencia le solicitamos visite el siguiente [enlace](#).

