

# ¿ES EL PLASMÓN MAGNÉTICO UNA EXCITACIÓN COLECTIVA POSIBLE DEL GAS DE ELECTRONES?

Marcelo del Castillo Mussot, Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México

Jorge S. Helman, Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Rua Xavier Sigaud 150, Urca,

## RESUMEN

El plasmón magnético es un modo acústico del gas degenerado de electrones que presenta una modulación del spin pero que es eléctricamente neutro. Un cálculo de la vida media del plasmón magnético indica que podría ser observado en metales simples con altas densidades electrónicas como el aluminio.

## ABSTRACT

The magnetic plasmon is an acoustic mode of the degenerated electron gas that exhibits spin modulation but not charge modulation. A calculation of the lifetime of the magnetic plasmon shows that it could be observed in simple metals with high electronic densities like Aluminum.

## I. INTRODUCCIÓN

Gran parte de las excitaciones magnéticas ocurren en presencia de un campo magnético externo. En este artículo presentamos un modo colectivo magnético del gas de electrones que creemos existe en ausencia de un campo magnético externo. Este modo colectivo, que denominamos plasmón magnético, debe presentarse, en principio, en los metales simples. Este modo fue inicialmente descrito en un estudio de la dispersión inelástica de electrones polarizados por metales ferromagnéticos<sup>1</sup>.

- Cuando consideramos el gas de electrones como un plasma formado por dos componentes; electrones con spin para arriba ("up") y electrones con spin para abajo ("down"), este gas puede presentar dos tipos de excitaciones colectivas; el conocido plasmón óptico (PO) y el plasmón magnético (PM) (según la nomenclatura utilizada en la referencia<sup>1</sup>). Estas excitaciones se originan en la interacción de Coulomb en la dependencia del spin de la interacción electrón-electrón, debida al principio de exclusión de Pauli, es decir, en

la diferencia entre la interacción de los electrones con spin paralelo y spin antiparalelo.

## II. ORIGEN DE PLASMÓN MAGNÉTICO.

Si separamos la fluctuación de la densidad electrónica  $\rho(x)$  en la suma de sus componentes con spin "up" y "down";  $\rho(x) = \rho_{\uparrow}(x) + \rho_{\downarrow}(x)$  pueden existir dos tipos de oscilaciones independientes. En la Figura 1 podemos observar estas oscilaciones en las fluctuaciones de densidad electrónica. El plasmón óptico describe un modo colectivo caracterizado por una modulación de carga en la que los electrones con spin "up" están en fase con los electrones con spin "down", mientras que no existe una modulación magnética ya que localmente el número de electrones con spin "up" es igual al número de electrones con spin "down". Por otro lado, el plasmón magnético describe un modo caracterizado por una modulación magnética, ya que localmente existe un exceso de electrones de un tipo de spin y una deficiencia con el otro tipo de spin mientras que no existe una modulación

... de la compresibilidad y no localización de los electrones debidos al principio de

Pauli y  $\omega_p = (4\pi e^2 N / m)^{1/2}$  es la frecuencia de plasma que describe los efectos del campo eléctrico coulombiano, siendo  $e$  y  $m$  la carga efectiva de los electrones y  $N$  la densidad electrónica total.

... que la dependencia de ambas frecuencias en el tiempo es con frecuencia  $\omega$ , se obtiene de (1) los valores de la matriz característica

$\omega_p^2 + Dk^2$  (plasmón óptico) (2)

$\omega = Dk^2$  (plasmón magnético) (3)

En la Figura 2 se representan estas relaciones de dispersión. El plasmón óptico es una excitación longitudinal colectiva muy conocida<sup>2</sup>, cuya frecuencia en el límite de longitudes de onda largas está dada por  $\omega_p$ . El plasmón magnético es un modo acústico ( $\omega=0$  para  $k=0$ ), cuya relación de dispersión yace dentro del continuo de las excitaciones de una partícula y por lo tanto está amortiguado.

III. ¿"VIVE" EL PLASMÓN MAGNÉTICO EL TIEMPO SUFICIENTE ?

Fermi y la destrucción

$Q(q)$  es el espacio de fases disponible para este proceso. Para el cálculo de  $\tau_q$  utilizamos los operadores de creación y destrucción de plasmones magnéticos en segunda cuantización dados en la referencia 1. Obtenemos<sup>3</sup> que  $P$  es independiente de  $q$  dentro del rango  $q/k_F=0.96$  y

que  $P$  es proporcional aproximadamente a  $k_F^{-2}$ . En la Tabla I presentamos los valores de  $P$  calculados en la referencia 3 para varios metales junto con los valores correspondientes del vector de Fermi  $k_F$  (calculados con  $m^* = m$ , la masa libre del electrón).

IV. CONCLUSIONES

El plasmón magnético es una excitación colectiva bien definida para altas densidades

electrónicas para las cuales  $P = (\tau\Omega)^{-1}$  es mucho menor que 1. En particular, según la Tabla I, el

aluminio parece ser el mejor candidato por tener  $\tau$  más pequeña.

Es importante mencionar que a pesar de la simplicidad conceptual del plasmón magnético y de su importancia desde el punto de vista teórico, este (según nuestra búsqueda bibliográfica) sólo se ha estudiado para el gas de electrones degenerado en ausencia de un campo magnético externo en este trabajo y en la referencia 3. Por otra parte, se debe hacer un estudio sistemático de los posibles experimentos para observar al plasmón magnético en el

laboratorio. En este sentido la dispersión inelástica de partículas con spin polarizado en metales parece ser el mejor medio para crear y detectar plasmones magnéticos. Estas partículas podrían ser electrones o neutrones. En el primer caso, por ser los electrones partículas cargadas, se crearían simultáneamente plasmones ópticos y magnéticos, mientras que en el segundo caso sólo se crearían plasmones magnéticos.

Elemento	$k_F$ ( $\text{\AA}^{-1}$ )	P
Al	1.75	0.12
Sn	1.63	0.15
Pb	1.58	0.16
In	1.50	0.19
Au	1.20	0.42

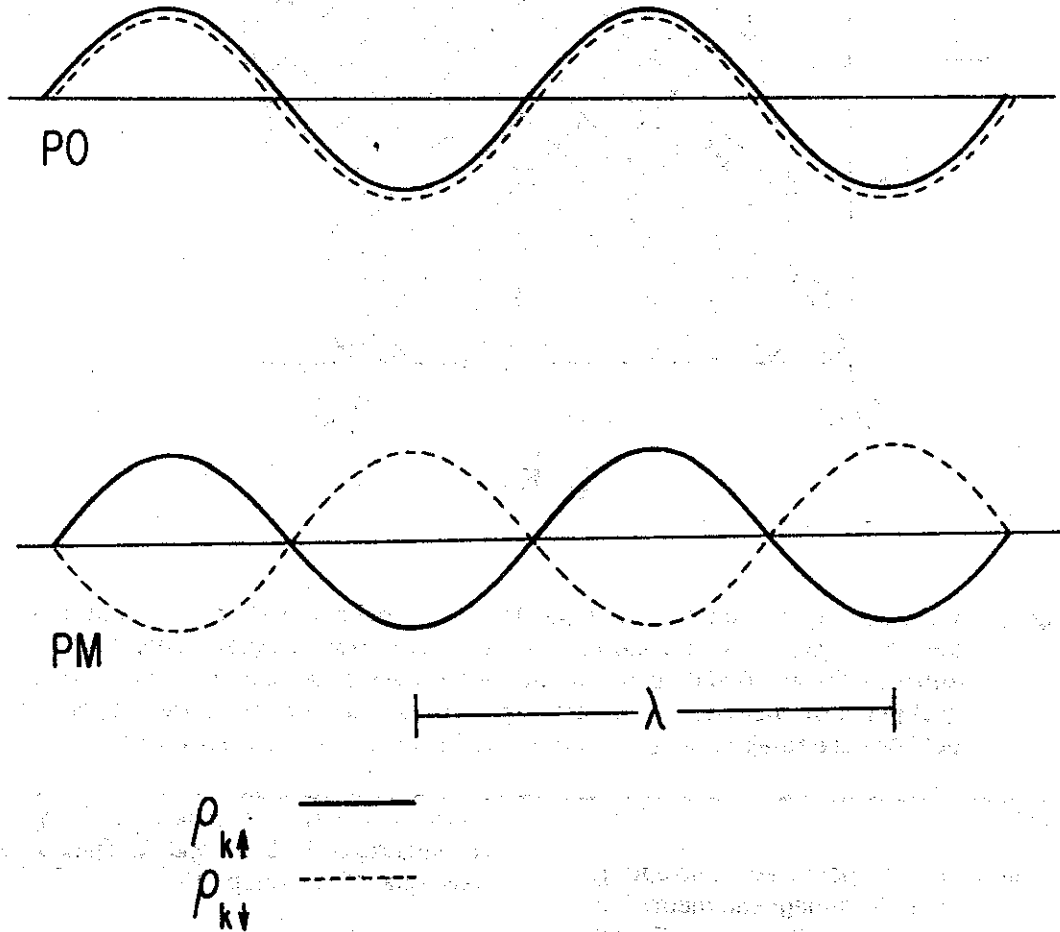
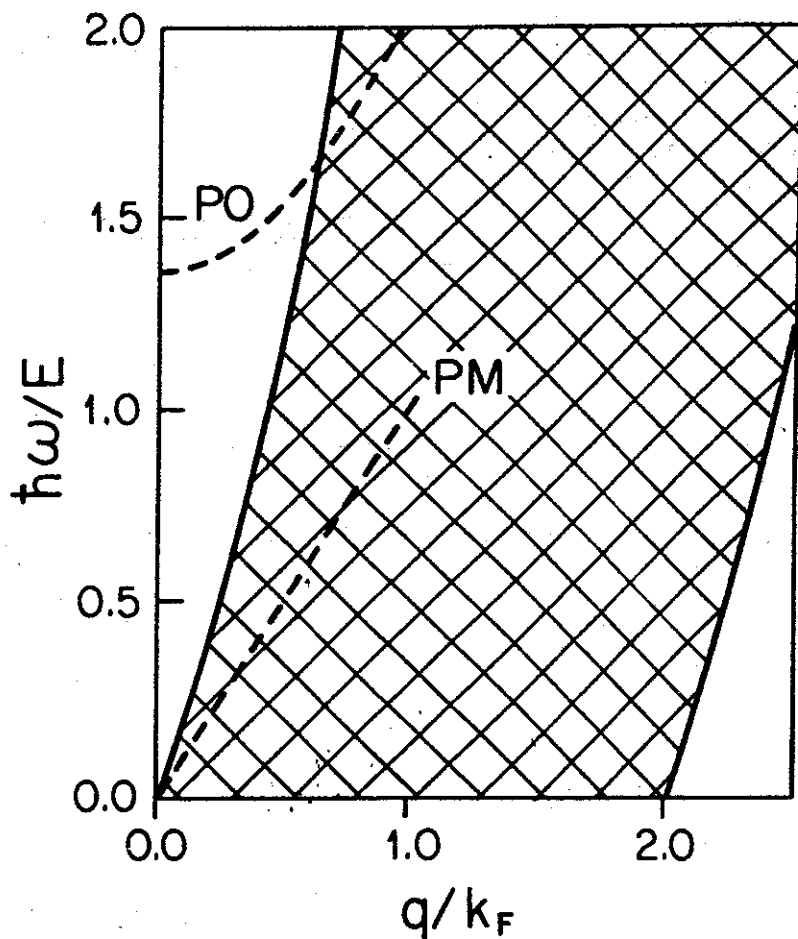


Figura 1: Se representan esquemáticamente las oscilaciones espaciales de las fluctuaciones de densidad con spin "up" y "down" correspondientes al plasmón óptico (PO) y al plasmón magnético (PM).



**Figura 2:** Espectro de excitación del gas de electrones incluyendo la región continua correspondiente a la creación de pares electrón-hoyo (región sombreada entre las líneas sólidas) y la relación de dispersión del plasmón óptico (PO) y el plasmón magnético (PM) acústico. Nótese que la relación de dispersión del PM yace totalmente del continuo de las excitaciones electrón-hoyo.

#### REFERENCIAS.

"Inelastic scattering of polarized low-energy electrons by plasmons in ferromagnetic metals", J. S. Helman y W. Baltensperger, Phys. Rev. B, Vol. 22, 1300 (1980).

*The theory of quantum liquids*, D. Pines and Ph. Nozières, (Benjamin, New York, 1966), P. M.

Platzman and Wolff, en *solid State Physics*, Ed. por H. Ehrenreich, F. Seitz and D. Turnbull (Academic, New York, 1973), Suppl. 13.

"Life-time of acoustic plasmons in an electron gas and detection by polarized neutrons", M. del Castillo-Mussot y J. S. Helman, *Notas de Física*, CBPF-NF-017/94 (preprint del Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas).