

PROPAGACION DE UNA ONDA PREIONIZANTE EN LA IMPLOSION RADIAL DE LA LAMINA DE PLASMA EN UN DPF

M.Milanese*, R.Moroso**, J.Pouzo*

Instituto de Física Arroyo Seco, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Pinto 399, (7000) Tandil, y Laboratorio de Fluidodinámica y Plasma, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata, Funes 3350, (7600) Mar del Plata.

Se presentan mediciones sobre la dinámica de la lámina de plasma en un Plasma Focus Denso (PFD) durante la etapa de compresión radial. Se obtiene la evolución del radio $r(t)$ para el pistón magnético (PM) (interfase plasma-campo magnético) y para el frente de ionización (FI) interfase plasma-gas neutro) en diferentes valores de presión p de deuterio. Para $p=1.5$ mb (con buena producción de reacciones de fusión D-D), el PM y el FI se mueven en forma similar (espesor de la lámina constante) siguiendo una relación $r(t) \sim t^n$ con $n=0.82$, lo cual corresponde a un *shock* cilíndrico autosimilar con $\gamma=5/3$.

Para $p=1$ mb (caída en bajas presiones de las reacciones D-D), el PM se mueve como en el caso anterior, pero el FI sigue una relación $r \sim t^n$ con $n=0.5$ que no corresponde a una onda de choque fuerte. Esta dinámica del FI se adjudica a una onda de temperatura o radiación preionizante que reduce la efectividad de la compresión y que se debe a un exceso de energía interna del plasma.

I. INTRODUCCION

El número medio de neutrones Y proveniente de reacciones de fusiones D-D en plasma focus densos, escala con la corriente en el pinch, I_p , de acuerdo a la ley $Y \sim I_p^\alpha$, con $4 < \alpha < 5$ [1]. Esta ley de escala está generalmente aceptada, pero en cada experimento se cumple sólo para un rango limitado de presiones p de llenado de deuterio. En efecto, hay dos límites de presiones, uno alto (p_M) y uno bajo (p_m), donde Y desciende drásticamente, aún cuando I_p se mantenga prácticamente invariable. La interpretación del límite de altas presiones en términos de la capacidad de la lámina de corriente (LC) para ionizar el gas neutro durante la etapa de compresión radial, fue mostrada claramente en [2]. En trabajos más recientes [3,4] se muestra que el límite de las bajas presiones puede estar asociado a una brusca aceleración del frente de luz de la LC durante la fase de compresión radial. En el presente trabajo nuestro principal objetivo fue realizar un estudio experimental del límite de bajas presiones, con la finalidad de confirmar esta posible correlación e intentar dar alguna respuesta a por qué la velocidad del FI crece y cómo puede este aumento de velocidad influir sobre la producción de neutrones.

Es necesario notar que lo que llamamos simplemente "lámina de corriente" es una onda de choque ionizante con una compleja estructura [5,6]. En este trabajo observamos la evolución de los frentes delantero y trasero de la imagen luminosa de la LC. Suponemos que el frente delantero es prácticamente coincidente con un frente ionizante muy angosto IF (interfase Plasma-gas neutro), y que la parte trasera corresponde a la interfase plasma campo magnético (superficie del pistón magnético (superficie del pistón magnético MP). Ambas hipótesis resultan compatibles con los resultados presentados en [7], [8] y [9].

II. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Este experimento se realizó con el equipo plasma focus PACO (4 μ F, 47nH, 31kV). Las dimensiones del cañón coaxial son: diámetro externo: 10 cm, diámetro interno: 4 cm, longitud total: 5 cm, longitud del aislante de Pyrex: 1.4 cm. El electrodo interior es hueco y el exterior está compuesto por 12 barras cilíndricas; el material de ambos es latón.

El flujo de neutrones Y emitidos en cada pulso, integrado en el tiempo, se mide con contadores de plata activada. La calibración de los mismos se efectúa con detectores absolutos de CR-39. El valor promedio de Y , tomado a 90° del eje del cañón, es $2 \cdot 10^8$ neutrones a la presión de mayor

* Investigador CONICET

** Profesional de Apoyo CONICET

rendimiento.

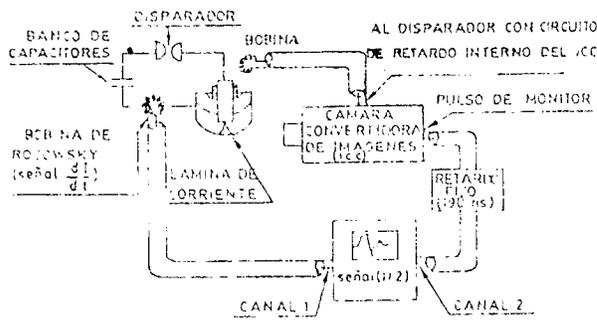


Figura 1: Arreglo experimental.

Usando una cámara convertidora de imágenes ICC Cordin 511B, tomamos series de fotografías de la LC durante la etapa de compresión radial, en vistas lateral y frontal al cañón. En la Fig. 1 mostramos un esquema del dispositivo experimental usado en este trabajo. La cámara convertidora de imágenes se dispara con la señal de una bobina (coincidente con el comienzo de la descarga) con un retardo variable. El pulso monitor del convertidor de imágenes, retrasado 190 ns, se suma a la señal de la bobina Rogowsky registrada en el osciloscopio (Tektronix 7623A) usando cables con retraso compensado. De este modo se puede obtener el tiempo de cada fotografía respecto del mínimo del pico dI/dt (ver Fig.2). Este instante de referencia es una de las características del fenómeno ya que, como se observa en muchas fotografías, corresponde al mínimo diámetro del pinch, justo antes del comienzo de las inestabilidades. El tiempo t se mide con un error menor que 5 ns.

De las fotografías tomadas con el convertidor de imágenes se midieron los radios r_e y r_i , correspondientes al pistón magnético y al frente de ionización (Fig.3). En la vista lateral de la LC medimos el diámetro externo ($2 r_e$) de la columna de plasma. En la fotografía frontal se mide el diámetro interno ($2 r_i$), que corresponde al frente de ionización. Esta medición se efectuó con un error menor que 0.5 mm.

Las mediciones $r_e(t)$ y $r_i(t)$ (obtenidas de alrededor de trescientas descargas), se efectuaron para dos presiones características: $p_c = 1.5$ mb (en el centro del rango de producción de neutrones) y $p_m = 1$ mb (límite de las bajas presiones, debajo del cual la producción cae). Los resultados pueden verse en las Fig. 4 y 5, con puntos que corres-

ponden a la etapa de compresión radial. En ambas figuras el intervalo t se mide respecto del instante de diámetro de *pinch* mínimo, es decir, se trata de etapas previas a este instante característico, y esto se indica con el signo menos.

En la gráfica de la Fig.5a se muestran las curvas promedio de $r_e(t)$ y $r_i(t)$ para $p_c = 1.5$ mb. En esta presión, el pistón magnético y el frente de ionización tienen funciones $r(t)$ similares y, en consecuencia, el espesor permanece prácticamente constante (~ 0.2 cm) durante toda la etapa de compresión radial. La velocidad media de ambos frentes es aproximadamente $v_m = 9.10^6$ cm s^{-1} , y su máximo valor, al final de la compresión, es cercano a $v_M = 1.5 \cdot 10^7$ cm s^{-1} . En la Fig. 6b, se muestran curvas similares para $p_m = 1$ mb. En este límite de bajas presiones LC comienza la implosión radial con un espesor menor (~ 0.1 cm), y permanece prácticamente constante hasta los últimos 40 ns. En este momento el frente de ionización se despegga del pistón magnético acelerándose súbitamente, y el espesor del plasma alcanza rápidamente los 0.5 cm. El pistón magnético es algo más rápido que en el caso p_c : $v_m = 1.1 \cdot 10^7$ cm s^{-1} y $v_M = 2 \cdot 10^7$ cm s^{-1} . A partir del instante del "despegue", el frente de ionización alcanza inmediatamente su velocidad máxima: $7.5 \cdot 10^7$ cm s^{-1} .

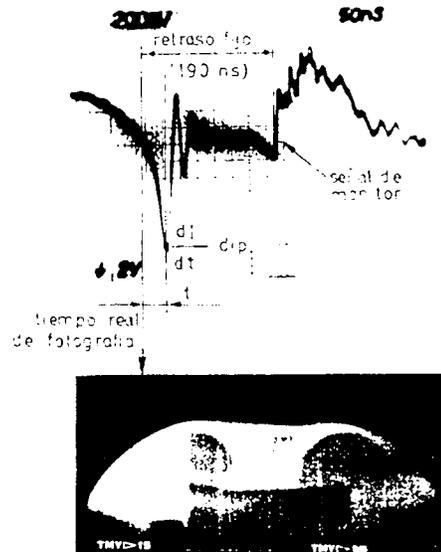


Figura 2: Sincronismo entre la fotografía ultrarápida del plasma y el pico de dI/dt correspondiente al *pinch*.

- a) Oscilograma de la señal de Rogowsky dI/dt sumada a la señal de monitor del convertidor.
- b) Fotografía del plasma tomada con convertidor de imágenes (tiempo de exposición 5 ns)

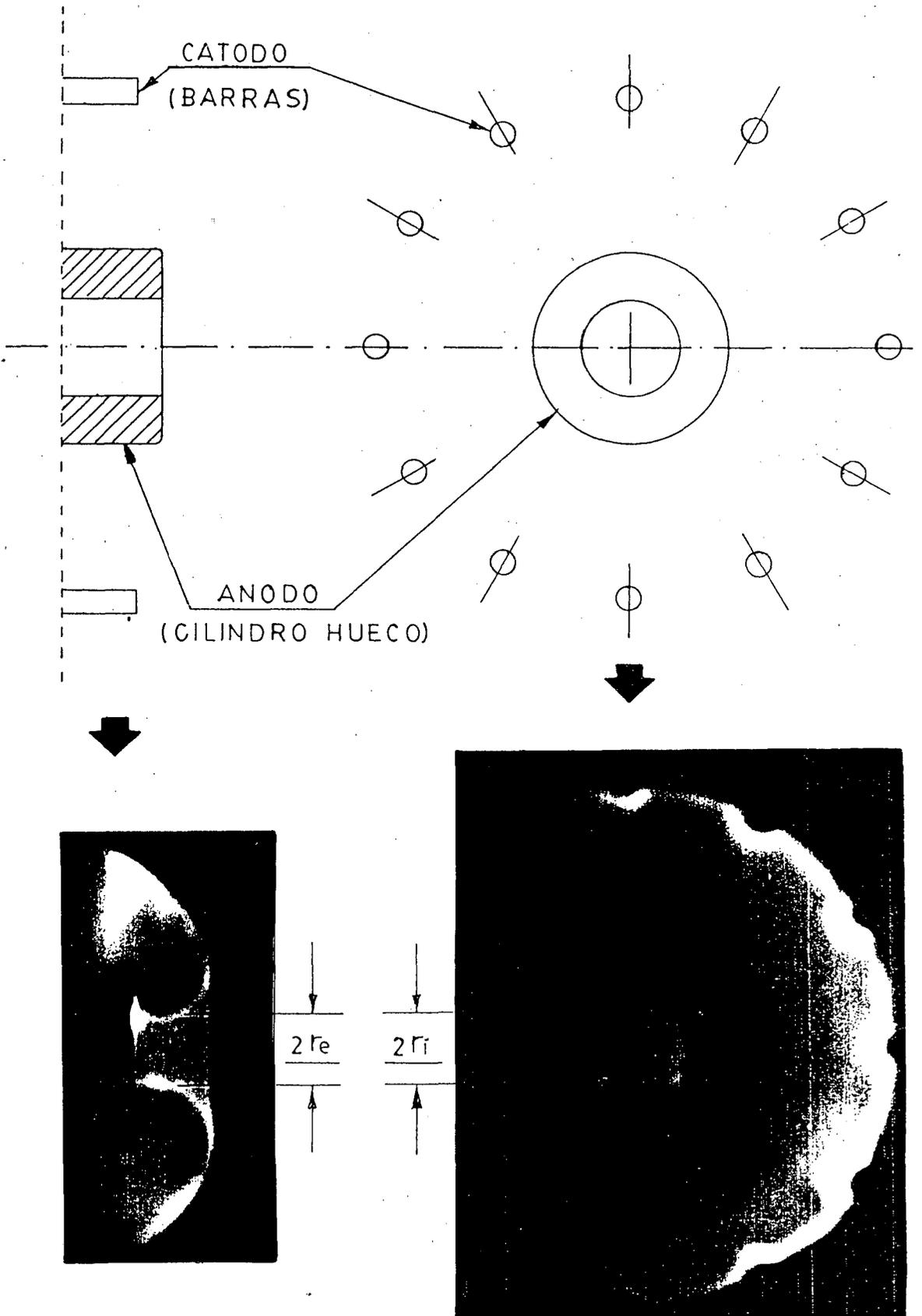


Figura 3: Medición de los radios externos (r_e) e interno (r_i) de la imagen luminosa de la LC.

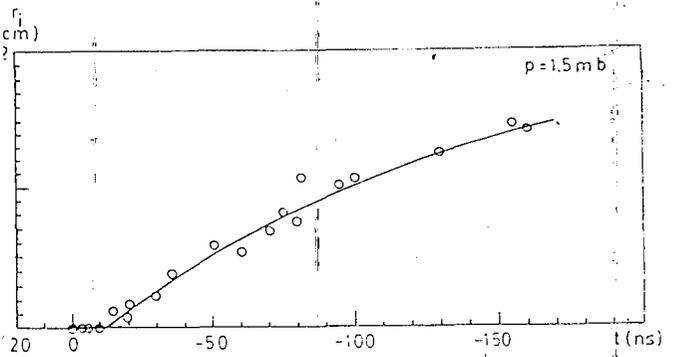
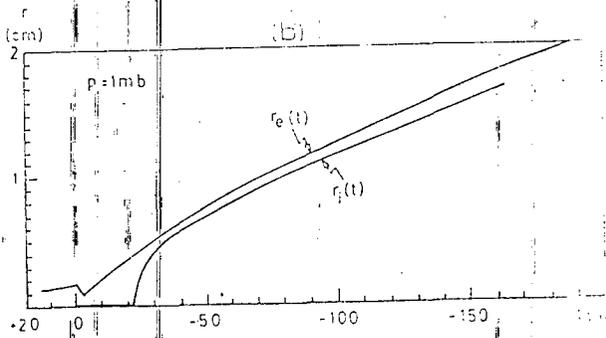
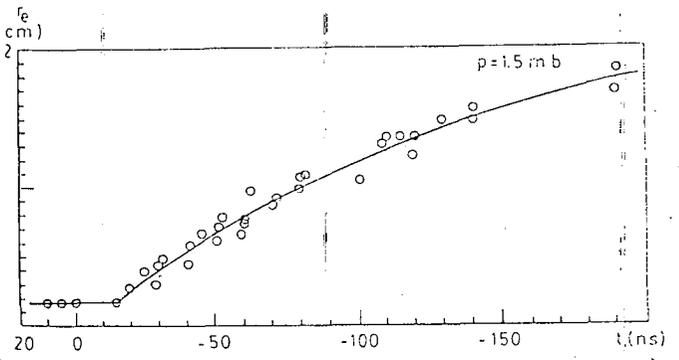
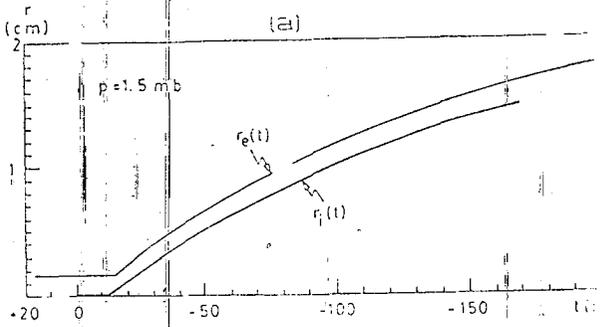


Figura 4: Valores experimentales de $r_c(t)$ y $r_i(t)$ medidos a $p_c = 1.5$ mb

Figura 6: a) Curvas $r_c(t)$ y $r_i(t)$ superpuestas, para $p_c = 1.5$ mb b) Idem $p_m = 1$ mb.

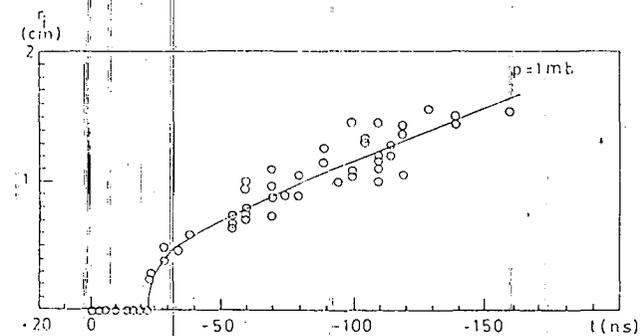
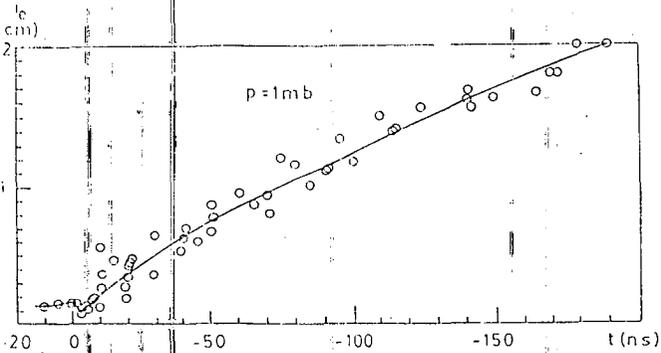


Figura 5: Valores experimentales de $r_c(t)$ y $r_i(t)$ medidos a $p_m = 1$ mb.

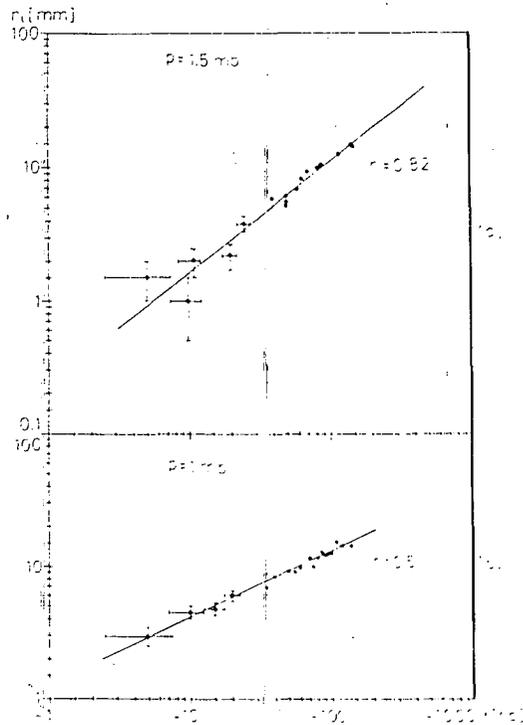


Figura 7: Gráfico logarítmico de $r_i(t)$:
a) Para $p_c = 1.5$ mb. b) Para $p_m = 1$ mb.

III.DISCUSION

Como un primer análisis de los resultados podemos mencionar lo siguiente:

De acuerdo con el problema de Guderley [10], la implosión cilíndrica de una onda de choque fuerte puede describirse por una ecuación del tipo:

$$\frac{r}{(C \cdot t)^n} = 1$$

donde C es un parámetro ajustable. El origen de t se toma como el instante en el que el choque alcanza el centro, es decir, $t < 0$ y $C < 0$.

En nuestro caso, para comprobar la posible dependencia $r_i \sim t^n$, al tiempo medio deben descontarse 10 ns en el caso $p_c = 1.5$ mb (ver Fig.5a) y 20 ns en el caso $p_m = 1$ mb (ver Fig 5b). Contando de esa forma el tiempo, se han representado en la Fig.7 las variables r_i y t en escala logarítmica para las dos presiones: 1 y 1.5 mb. En ambos casos se observa una buena alineación de los puntos. En el caso $p = 1.5$ mb, en el que el pistón magnético se mueve como el frente de ionización, la pendiente de la recta promedio es $n = 0.82 \pm 0.05$. De acuerdo con la ref.[11], este valor correspondería a una onda de choque cilíndrica con $\gamma = 5/3$. En el caso $p_m = 1$ mb, resulta un valor medio $n = 0.5$ y, considerando las barras de error, debe ser $n < 0.6$. Para esos valores de n no existe un valor correspondiente de γ en la teoría de ondas de choque cilíndricas. En otras palabras, en este caso la posición $r(t)$ del frente de ionización responde a una ley de potencia, lo que sugiere una solución autosimilar, pero no se trata de una onda de choque.

El fenómeno observado podría ser, por ejemplo, una onda de temperatura o de radiación pre-ionizante, originada en el exceso de energía de LC, más rápida que en el caso anterior y que reduciría la efectividad de la compresión. De este modo podría explicarse la caída de Y en las bajas presiones.

REFERENCIAS

1. Milanese M. and Pouzo J., Small Plasma Physics Experiments, World Scientific, London (1987), p.66.
2. Milanese M. and Pouzo J., Nuclear Fusion, 25(1985), p.840.
3. Pouzo J., Cortazar D., Milanese M., Moroso R., Small Plasma Physics Experiments, World Scientific, London (1987), p. 80.
4. Cortazar D., Milanes M., Moroso R., Pouzo J., Proc. of III Latin American Workshop in Plasma Physics, edited by Univ. Católica de Chile, Santiago de Chile, (1988), p.19.
5. Deutsch R., Kies W., Decker G., Plasma Phys. and Contr. Fusion, 28, N° 12A (1986), p.1823.
6. Deutsch R., Kies W., Plasma Phys, and Contr.Fusion, 30, N°8 (1988), p.921.
7. Bilbao L., Bruzzone H.A., Kelly H.J., Plasma Phys. and Contr. Fusion 26, (1984), p.1535.
8. Bilbao L., Bruzzone H.A., Kelly H.J., Plasma Phys. and Contr. Fusion, 27, (1985), p.1207.
9. Bilbao L., Bruzzone H.A., Kelly H.J., Plasma Phys. and Contr. Fusion, 29, (1986), p. 4182.
10. Whitham G.B., "Linear and non-linear waves", Wiley and Sons (1974) p. 143.
11. Lazarus R., Siam J., Numer.Anal., Vol. 18, N°2 (1981), P.316.

