

PRODUZIONE DI ELETTRONI SOPRATERMICI NELL'INTERAZIONE
RADIAZIONE LASER-PLASMA.

D. Giulietti, D. Batani, V. Biancalana, A. Giulietti*, L. Gizzi

Dipartimento di Fisica, Università di Pisa

*Istituto di Fisica Atomica e Molecolare del C.N.R., Pisa

Presso l'IFAM vengono condotti da alcuni anni esperimenti sulla fisica dell'interazione radiazione laser-plasma, nell'ambito delle tematiche proprie del programma ICF (Inertial Confinement Fusion). Focalizzando un laser Neodimio ($\approx 3\text{J}$ in 3 nsec FWHM) su un sottile film di formvar (spessore $0.2\text{-}1\mu\text{m}$) si produce un plasma di densità sottocritica, già prima che l'impulso laser raggiunga il suo massimo. Lo studio dello spettro della radiazione X emessa durante l'interazione ha mostrato una coda, verso gli X più duri, più intensa di quanto era da attendersi per una temperatura media del plasma di alcune centinaia di eV. Questo effetto è comparso solo quando l'intensità del laser superava il valore di $6 \times 10^{12} \text{ W/cm}^2$, che è risultato essere anche la soglia misurata per il decadimento a due plasmoni, da noi precedentemente evidenziato e studiato mediante l'analisi spettrale dell'armonica $3/2$ della radiazione laser.

L'anomalia dello spettro X è stata quindi attribuita alla presenza di una coda sovratermica nella distribuzione delle velocità elettroniche, prodotta dal ben noto meccanismo di accelerazione degli elettroni da parte di onde di Langmuir^(1,2). La frazione di elettroni suscettibili di essere portati ad energie sovratermiche risulta pari a :

$$\alpha = \pi^{-1/2} \int_{x_1}^{x_2} \exp(-x^2) dx \quad (1)$$

Nella (1) $x=v/v_T$ e $x_{1,2} = (v_{\phi \text{ min}} \pm v_{tr})/v_T$. v rappresenta la componente della velocità dell'elettrone lungo la direzione di propagazione dell'onda di Langmuir; $v_T = (2KT/m)^{1/2}$; $v_{\phi \text{ min}}$ la minima velocità di fase nello spettro delle onde di Langmuir eccitate nel plasma; $v_{tr} = (2v_E v_{\phi})^{1/2}$ è la velocità di intrappolamento, essendo v_E la velocità di "quiver" dell'elettrone nel campo dell'onda di Langmuir. La massima energia che

l'elettrone può acquistare in un tale processo di intrappolamento e' (3,4) :

$$\Delta\varepsilon_{\max} = 2mv_{\phi}^2 (v_E/v_{\phi})^{1/2} [1 + (v_E/v_{\phi})^{1/2}]. \quad (2)$$

Il rapporto (v_E/v_{ϕ}) risulta essenzialmente uguale a quello fra l'ampiezza dell'onda di Langmuir (n^*) e la densità imperturbata del plasma (n):

$$v_E/v_{\phi} = 4\pi n^* e^2 / m\omega^2 = n^*/n \omega_p^2 / \omega^2 \approx n^*/n \quad (3)$$

dove ω e ω_p sono rispettivamente la pulsazione dell'onda di Langmuir e quella di plasma. Come si può constatare dalla (2), lo spettro di energia degli elettroni sovratermici dipende essenzialmente dal range di velocità di fase consentito alle onde di Langmuir presenti nel plasma. Tuttavia è chiaro che soltanto quelle onde che viaggiano a velocità dell'ordine di $v_{\phi\min}$ riescono ad accelerare una frazione apprezzabile di elettroni, essendo le sole ad avere una velocità non troppo superiore alla loro velocità termica.

Nel nostro esperimento la massima velocità è determinata dal minimo valore consentito al vettore d'onda di Langmuir nel decadimento a due plasmoni ($k_{\min} \approx k_0/2$), mentre la minima velocità è determinata dal Landau damping ($k_{\max} \approx 0.3/\lambda_D$). Si ha:

$$v_{\phi} = v_T [3 + 1/(k\lambda_D)^2]^{1/2} = (3.6 - 34) v_T \quad (4)$$

k_0 e λ_D sono rispettivamente il vettore d'onda della radiazione laser e la lunghezza di Debye. Quindi per una temperatura del plasma di ≈ 300 eV si ha una frazione di elettroni sovratermici $\alpha \approx 1\%$, la cui temperatura è di ≈ 15 KeV. L'ampiezza delle onde di Langmuir responsabile di tale accelerazione risulta $n^*/n \approx 10\%$. Lo spettro sperimentale della radiazione X e' ben interpretabile sulla base di questo modello.

- (1) F. F. Chen, "Introduction to Plasma Physics", Plenum Press, (1977).
- (2) T. P. Hughes, in "Laser-Plasma Interactions", St. Andrews, (1979).
- (3) G. Bonnand, "Thesis", Universite' Paris XI, (1982).
- (4) F. Amiranoff, "Thesis", Universite' de Paris-Sud, Centre d'Orsay, (1984).