

# 激光产生的等离子体实验中热电子通量限制的证据

Gene H. McCall

(美国洛斯·阿拉莫斯国家实验室应用理论物理分部)

已发现为了解释所观察得的部分能量进入快离子、慢离子和X-射线,必须在激光产生的等离子体扩散计算中加上对热电子运输的通量限制。这一限制的影响是保留了存放在靶的光晕圈中的能量,它增加了转为快离子的能量损失、减少了X-射线的发射,也降低了流体力学效率。当对热电子通量所加的限制是经典通量限制的1/30时,虽然波长为 $1\mu\text{m}$ 或更短的激光产生的等离子体计算和实验一致,但我们还将证明这一限制不能解释 $10\mu\text{m}$ 激光得到的结果。Forslund和Brackbill在等离子体模拟中,表面磁场使热电子沿靶表面流动。本文将证明,实验数据及较一般的考虑指出存在通量限制,它的数值可用与产生通量限制机理无关的方法来估计。梯度定标长度和流入靶的热通量计算表明,热通量限制对主要由热电子传输能量的等离子体来说是不重要的。这一计算将在论文全文中给出,在这里将给出实验数据计算热电子通量限制量级的方法。

曾经证明激光产生的等离子体发射的快离子可用自相似绝热膨胀近似描述,后者用热电子声速 $c_s$ 表征。我们可以计算离子通量 $I_i$ :

$$I_i = m_i n_0 c_s^3, \quad (1)$$

接着,假定热电子分都是一维麦克斯韦分布,我们可以计算进入到靶内的电子通量 $I_e$ 。通量由下式给出:

$$I_e = \bar{n}_0 (2KT)^{2/3} / (\pi m_e)^{1/2} \quad (2)$$

如果用一个因子 $f$ 限制进入靶的电子通量,热电子通量为 $fI_0$ ,快离子损耗和电子通量之比可以写为:

$$I_i/I_e = [(2\pi Z m_e)/m_i]^{1/2} \quad (3)$$

对氢等离子体这一比值是0.059。

如果我们计及在激光停止时刻热电子中剩余的能量,则可以把快离子损耗与吸收能量之比以通量限制项 $f$ 来表示,然后可以用测量的快离子百分数 $\varepsilon_i$ 来解通量限制,得到

$$f = 3(1 - \varepsilon_i) / [1 + \varepsilon_i (2m_i/\pi Z m_e)^{1/2}] \quad (4)$$

Kephart和Ehler已测出从 $\text{CO}_2$ 激光产生的等离子体中的快离子损耗,这给出的快离子百分数范围为0.5~0.8,这些值相应于通量限制范围为0.08~0.02。

对这一结果的完整讨论,(这些结果和产生它的机理几乎无关)超出了本摘要的篇幅,我们将在全文中给出,应该指出,如果进入靶的光谱是畸变的,用X-射线韧致辐射测量电子温度可能有很大的误差。