

CN9000982

CNIC-00305

SIP-0034

中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

HL-1托卡马克装置激光汤姆逊散射实验

EXPERIMENT OF LASER THOMSON
SCATTERING AT HL-1 TOKAMAK DEVICE

(In Chinese)



原子能出版社

中国核情报中心

China Nuclear Information Centre

CNIC-00305

SIP-0034

HL-1托卡马克装置激光汤姆逊散射实验

**EXPERIMENT OF LASER THOMSON
SCATTERING AT HL-1 TOKAMAK DEVICE**

(In Chinese)

**左鹤年 陈家富 晏德荣
刘爱平 施佩兰 王伟 刘晓梅**

(西南物理研究所, 四川)

**中国核情报中心
原子能出版社**

北京·1989.5

摘 要

叙述了HL-1托卡马克装置激光汤姆逊散射仪的结构和特性,介绍了多道散射信号的获取和校准方法,给出了电子温度测量的例子及其实验误差。

关键词 激光汤姆逊散射 HL-1托卡马克装置 等离子体

EXPERIMENT OF LASER THOMSON SCATTERING AT HL-1 TOKAMAK DEVICE

Zuo Henian Chen Jiafu Yan Derong Liu Aiping
Shi Peilan Wang Wei Liu Xisomei

(Southwest Institute of Physics, Sichuan)

ABSTRACT

The structure and performance of the Ruby Laser Thomson Scattering apparatus for HL-1 Tokamak device is described. The method of acquisition and calibration of multichannel scattered signals are presented. Examples of measurements electron temperature T_e with experimental error are given.

一、引言

激光汤姆逊散射实验是测量等离子体参数的最直接方法之一,它的突出优点是时、空分辨率好,能在给定时刻观测等离子体内部某些空间位置上等离子体的 T_e 和 n_e ,且不扰动等离子体。这种测量方法精度高,常被用于标定其他方法的测量结果。90°激光汤姆逊散射已成为测量 T_e 的标准方法之一^[1]。1987年,我们利用中意合作共同研制的激光散射系统,首次在HL-1托卡马克装置上测得了等离子体的电子温度。

二、实验布局

散射实验的总体布局示于图1。这个布局是由HL-1的具体结构决定的。整个散射系统,除了聚焦-转向直角棱镜单独放在一个小平台上之外,激光器、准直透镜、三光栅谱仪和光电倍增管等都放置在上下两层具有垂直和水平调节的一个支架上,形成一个整体,这既增加了各部分位置的相对稳定性,又便于作空间扫描测量。一次放电可测Z方向上五个空间点,测量范围20cm,五个空间点位置可调;在r方向上可进行连续扫描测量。可测电子温度范围从100eV~3keV;可测电子密度下限估计可低于 10^{12}cm^{-3} 量级。采用微机控制的CAMAC数据采集系统,实现了测量和数据处理自动化。

散射系统各部分的性能指标也是结合HL-1装置的具体实际选定的,现简述如下:

激光器:采用英国JK公司生产的具有一级振荡、两级放大的激光器,通过小孔选模和空间滤波,KD*P晶体调Q,运行在TEM₀₀模,输出能量10J,发散角 $\leq 0.5\text{mrad}$ 。

三光栅谱仪:它与FT装置所用的三光栅谱仪相类似^[2]。光栅有效面积为 $102\times 102\text{mm}^2$,刻线600条/mm,线色散倒数为 3.3nm/mm 。闪耀波长656.3nm适用于红宝石激光散射测量。三光栅谱仪的最大特点是高反差,在弱散射信号的测量中,能有效地抑制杂散光,提高信噪比。这样可简化光路设计,并降低光路调整精度,同时也有利于降低可测密度的下限。

光导和光电倍增管阵列:十道两种规格的矩形截面塑料光导,靠近散射谱中心的五道截面为 $2.4\times 18\text{mm}^2$ 另外五道为 $4.8\times 18\text{mm}^2$,长度约1m。光导的一端设置在光谱仪的出射焦平面上,将各光谱道的光传输到相应的日产HAMAMATSU R2257光电倍增管。此管在激光波段有较高的量子效率,且门电路简单,开关比高。

全部光电倍增管都安放在一个大屏蔽箱内,三层屏蔽箱分别用 μ 金属、软铁和铜板三种材料做成,用以屏蔽电磁干扰。而朝向装置一侧,用叠成3.6cm厚的铅板来屏蔽硬X射线。

CAMAC数据采集系统:CAMAC数据获取系统示于框图2。由微机控制实现散射信号测量和数据处理自动化。在每次放电形成等离子体之前约10s,由HL-1中控系统给出指令启动激光器充电;约10ms之前启动数字延迟器,调节延迟时间,(可调范围 $100\mu\text{s}\sim 100\text{s}$),可对选定时刻进行测量。

三、光路调整与数据校准

光路调整包括入、出射光路和接收光路两方面调整,首先在红宝石激光器的后面安装一

支He-Ne管,使He-Ne激光与红宝石激光束准确同轴。这样就可以方便地用连续的He-Ne激光束调整光路,最后用红宝石激光在入、出射窗口处分别打光斑,检验入射、出射光路是否完全调好。

为了调整接收光路,通过一个活动密封的调整靶,将带有漫反射镜片的靶头调到待测的等离子体位置上,这时靶镜将对He-Ne激光产生漫反射,调节准直物镜,使接收到的漫反射光成像在三光谱仪的入射狭缝上,最终聚焦在谱仪的出射焦平面上,以此焦点为基准,推算出各光谱道的中心位置,并布设光导。

在多道测量中,因各道所用的光电倍增管增益、工作电压、量子效率,以及各道光导的截面、透过率等都不相同,所以必须对各道测得的信号进行归一化处理,即必须测出各道的校准系数。由于光电倍增管的量子效率与波长有关,校准系数的测量必须用标定过的光谱灯做光源。我们用钨带灯作光源,这种方法的优点是精度高,但较麻烦、费时间,不易实现自动化;另一种简单易行能够实现自动化的方法是用发光二极管进行校准,但其精度低。我们将这两种方法结合起来使用,在每天实验开始前,用钨带灯校准,而后每次测量用发光二极管进行监测,这样既可提高测量精度又可实现测量自动化。

四、数据采集和实验结果

1. 用示波器观测

首先用示波器观测散射信号,这时,由于不经过AD变换,就避开了AD门的同步问题。同时使用示波器观测,可直观地了解散射信号的大小,等离子体的发光情况以及电磁干扰和杂散光的影响等。观测结果表明,当激光能量为6J, $n_e \sim 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 量级条件下,能获得几十mV的散射信号,信噪比达到几十。除了在门脉冲前后沿处出现了1~2mV的门坎外,在门内已观测不到电磁干扰。在没有等离子体条件下,单独测量激光的杂散光,除靠近激光波长的第一、二道有很小的杂散光外,其余各道都观测不到杂散光。这表明我们的光路设计合理,调试符合要求;同时也表明光电倍增管的屏蔽和光路的集光本领都较理想。

2. CAMAC系统采集散射信号

每次测量,AD变换门,光电倍增管的门都要打开三次,顺次测量校准信号,散射加本底信号和本底信号。为此,CAMAC数据采集系统必须实行严格的同步调整,使AD门,光电倍增管的门和激光脉冲完全同步。

由于激光和AD变换门的脉冲都是ns量级,这样电子学线路的不稳定或触发导通时间稍有漂移,都容易使已经同步的系统变为不同步。在调试和采集数据过程中,我们发现系统有时会出现大的漂移而采集不到散射信号,为此,我们将一个双门发生器插件专门用来作延迟同步调节,虽使AD门,光电倍增管的门和激光脉冲三者同步得到改善,但要彻底解决同步漂移问题,有待于进一步工作。

3. 数据分析和处理

从散射加本底信号中减去本底信号,便得到散射信号,再乘以校准系数,就得到归一化的散射信号。通过最小二乘法与理论公式进行拟合,如果不考虑相对论效应,其散射谱应为高斯型,散射强度为:

$$I_s = K \frac{n_e}{\sqrt{T_e}} \exp\left[-\frac{2.65 \times 10^{-3} \Delta\lambda^2}{T_e}\right]$$

式中: $\Delta\lambda = \lambda_0 - \lambda_s$, λ_0 ——激光波长; λ_s ——散射光波长。取对数:

$$\ln I_s = \ln K \frac{n_e}{\sqrt{T_e}} - (2.65 \times 10^{-3} / T_e) \cdot \Delta\lambda^2$$

当 n_e 、 T_e 一定时, $\ln I_s$ 与 $\Delta\lambda^2$ 呈直线关系, 其斜率就表示为电子温度 T_e 。

HL-1 物理实验期间, 在不同放电条件下, 进行了激光散射测量, 已取得了大量实验数据。在装置低参数放电时, 电子温度一般为几百电子伏, 在高参数放电时, 在装置最好的运行条件下, 我们曾测得最高电子温度达 1.8keV。

下面列举实验中的两个典型的例子。

图3在 NO. 3585 次放电激光散射测量数据, 这是低参数放电的情况。是用上述最小二乘法算出的电子温度。从图中看出, 测量点与理论高斯分布拟合得很好。

图4是 NO. 4069 次高参数放电时的测量结果。从图中可看出, 测量点的分散性比较大。其主要原因是: (1) 是由于电子温度高, 每道接收的散射光子数变少, 因而统计涨落的相对影响变大; (2) 是高参数放电时, 电子的分布函数发生畸变, 不再遵从麦克斯韦分布, 其散射谱也就偏离了高斯分布。这一测量结果与文献[2][3]的结果相类似。

CAMAC 数据采集系统由微机控制, 实现了测量与数据处理自动化。在每次放电后, 能及时打印出测量结果并给出测量误差。

激光散射装置首次在 HL-1 装置上进行电子温度测量, 测出了不同放电条件下等离子体的电子温度, 为 HL-1 装置提供了新的物理实验数据, 也为今后的多点测量和空间扫描测量创造了条件和积累了经验。

郑永真和冯兴亚同志曾先后参加散射仪的研制工作。

本实验在安装调试过程中, 得到本所一、二、三室和真空组许多同志的帮助与支持, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] John Sheffield, 1975, UKAEA, London, «Plasma Scattering of Electromagnetic Radiation»
- [2] A. De Angelis et al, The FT Devic Report, 79-29, 1979.
- [3] U. Ascoli-Bartoli et al, IL NUOVO CIMENTO, Vol. 33B, NO1, 11, November, 1975.

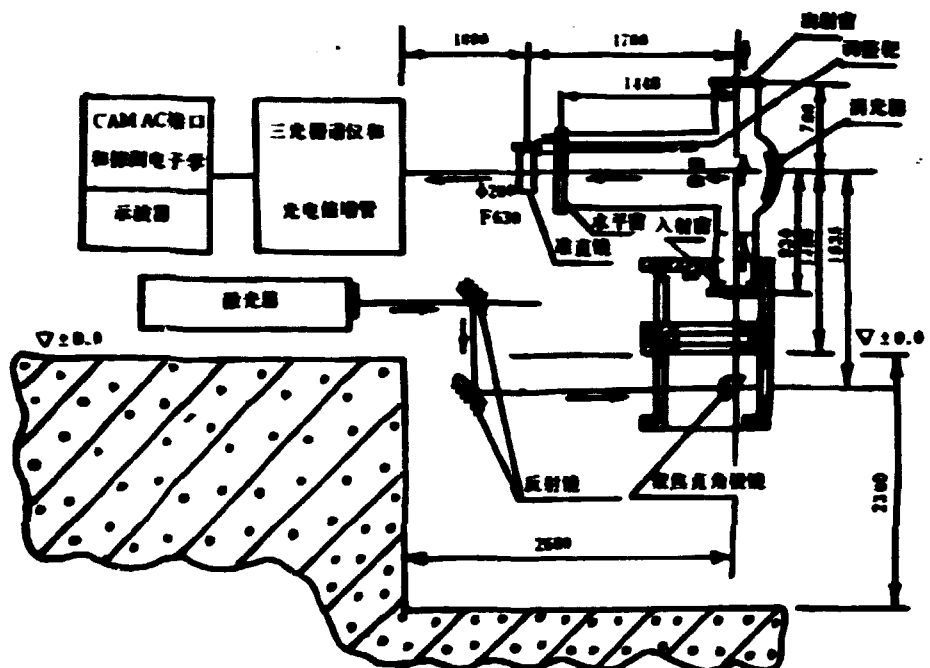


图1 HL-1汤姆逊散射系统示意图

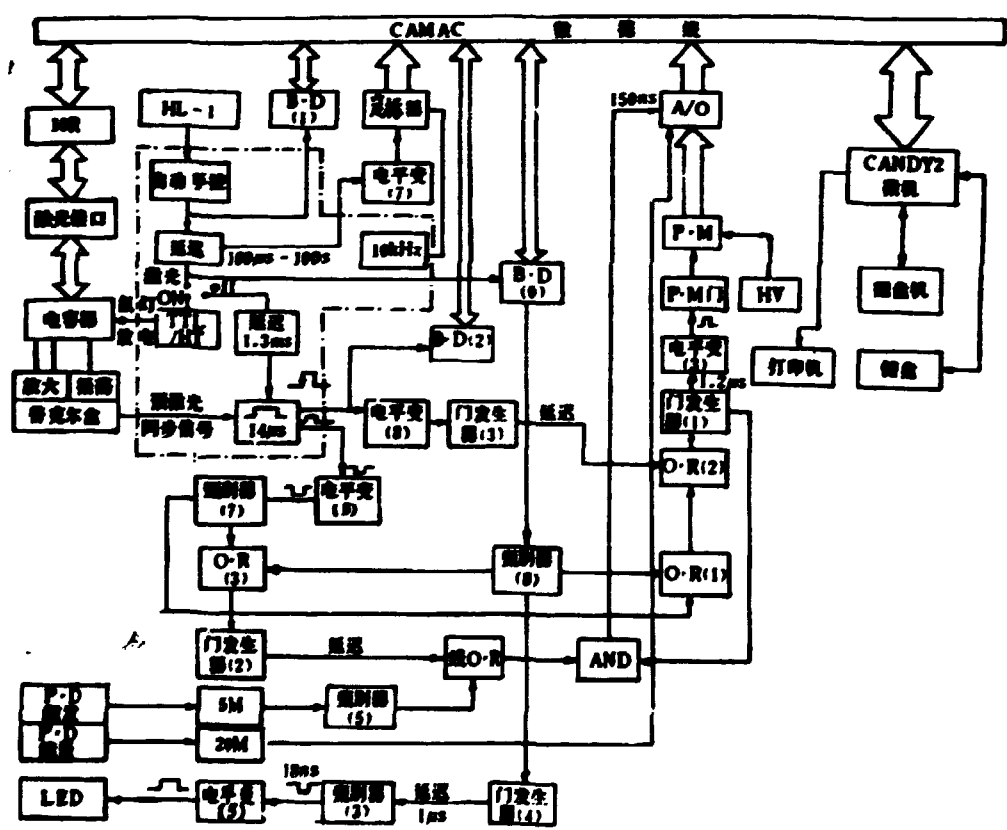


图2 CAMAC接口和探测电子学示意图

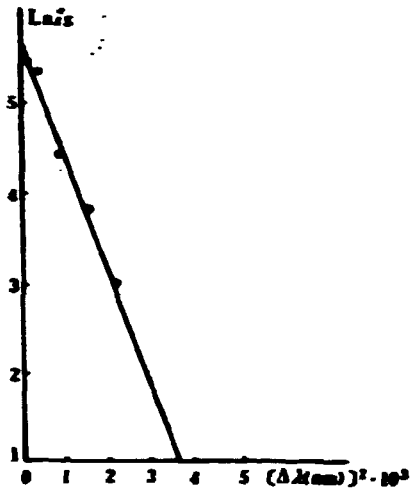


图3 麦氏分布等离子体散射谱

No. 3585 $T_e = 348 \pm 24 \text{ eV}$ $p_{H_2} = 8 \times 10^{-4} \text{ Torr}$ $I_p = 85 \text{ kA}$ $T = 510 \text{ ms}$ 观测时间 100ms

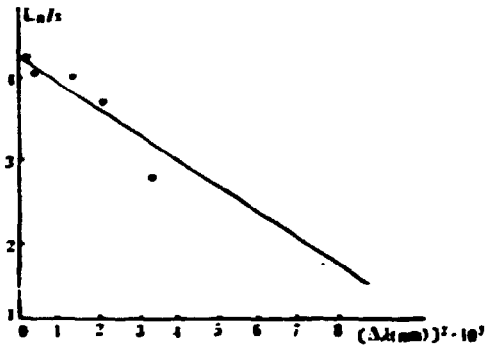


图4 非麦氏分布散射谱

No. 4000 $T_e = 1223 \pm 28 \text{ eV}$ $p_{H_2} = 8 \times 10^{-4} \text{ Torr}$ $I_p = 210 \text{ kA}$ $T = 240 \text{ ms}$ 测量时间 50ms

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT



书号: 15175-00305

P.O.Box 2103

Beijing, China

China Nuclear Information Centre