

小型电子云磁约束装置

郁庆长 邱宏 景毓辉 舒传玉

李继纲 黄佳昌 徐建铭

(中国科学院高能物理研究所, 北京 100039)

摘 要

本文介绍一台小型电子云磁约束装置, 它用于研究由 Penning 放电维持的磁约束电子云。

磁约束电子云是一种典型的非中性等离子体。它具有与中性等离子体类似的集体运动特性, 但其内部存在着强电场^[1,2]。

最近我们建造了一台小型电子云磁约束装置, 主要用于研究由冷阴极 Penning 放电维持的磁约束电子云^[3]。这台装置由约束管、磁场线圈、电源、真空系统与测量系统组成(图1)。

约束管是这一装置的核心部件, 它位于由线圈产生的轴向磁场中, 管内保持 10^{-4} — 10^{-2} Pa 的真空。电子云被约束在管内。约束管由铝电极与瓷环粘接而成。根据不同的实验要求选用不同的约束管。图2是我们使用过的两根约束管。

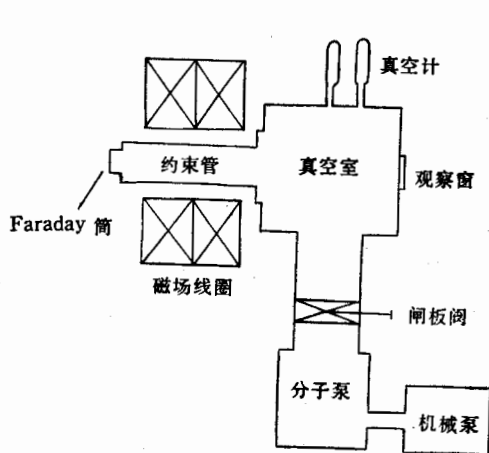


图1 小型电子云磁约束装置
电子线路未画出

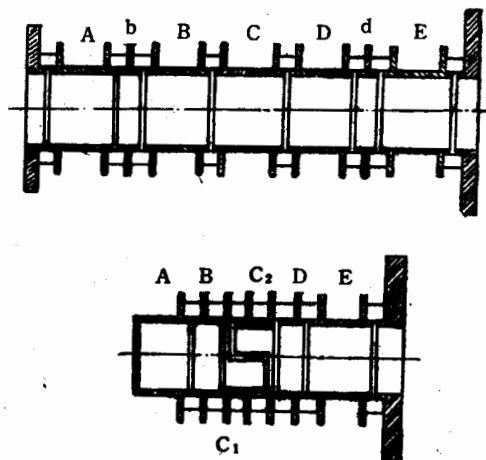


图2 约束管 I(上)和约束管 II(下)。

约束管 I 有七个电极,通常电极 A,E 接负电位(-0.5 至 -3kV), B,D 接地。在实验开始时把 C 的电位升高到 0.5kV 以上,约束管中即发生冷阴极 Penning 放电。为了获得稳定的电子云,在放电发生后 C 的电位应降到 100—200V。电极 b,d 作为高频探头用。由放电所电离出来的电子在径向为磁场所约束,在轴向为电场所约束,于是在电极 B, C, D 内形成了电子云。而离子则向电极 A, E 运动并在那里复合为原子。由于电子和气体原子的碰撞,电子将逐渐向外扩散,最终损失在管壁上,损失的电子由放电补充。

如果将电极 C 与 A,E 一样接负电位,约束管中也会发生 Penning 放电,不同的是将形成两个电子云,它们分别位于电极 B 与 D 内。

约束管 II 由六个电极组成,电极 A,E 接负电位, B,D 接地,正中的电极纵向剖成两半 C_1 与 C_2 作为高频探头用。

约束电子的磁场由两个线圈产生,最大磁场为 0.055T。将来拟换上水冷线圈产生 0.1T 左右的磁场。供给电极与磁场线圈的电源为通用的稳压电源。

约束管一端与真空室相连。利用一台机械泵与一台分子泵维持真空,分子泵与真空室间的闸板阀可用以调节真空室中的真空度。真空室壁上的石英玻璃窗可用于观察约束管中的放电。热偶计与电离计用于测量真空室中的气压。约束管中气压高于真空室,为了确定约束管中的气压,先将另一电离真空计插入约束管,在不同气压下测出两电离计读数作出校正曲线。此后在实验中根据真空室气压即可由校正曲线求出约束管中气压。

下面介绍电子云的探测方法——高频法与电荷收集法。

1. 高频法

对于无振荡的电子云,将扫频信号从约束管某一高频探头输入。某些频率的信号将在电子云中激励起一定类型的波。从另一高频探头可接收波信号,由此可确定波的频率、频带宽度等参量。对于有振荡的电子云可用频谱分析仪确定各种波的参量。约束管 I 的探头 b,d 用于探测纵向波,约束管 II 的探头 C_1, C_2 用于探测角向波。用这种方法一方面可以研究电子云中波的特性,另一方面可以由波的参量确定电子云的参量如电子密度、漂移角频率等。

2. 电荷收集法

利用带屏蔽电极的 Faraday 筒可以测定电子云的电荷量,筒安装在约束管 I 左端。屏蔽电极直接接地,筒通过高电阻及分布电容接地。断开约束管电极 A 的负压使其接地,此时电子云的电子流入筒,由电阻上的电压脉冲可确定电子云的电荷量。

这个 Faraday 筒也可作为一个电阻止场分析器来粗略地测定放电中产生的离子的能谱。此时筒经电流表接负压,屏蔽电极电压可调。

为了测定电子云中央截面上的电位分布,设计了一个特殊的 Faraday 筒,筒内安装有一系列同心的收集环(图 3)。筒体接地,各个环通过电阻接一可调电压 U_c 。当断开约束管电极 A 的负压使其接地时,电子云的电子将沿磁力线流到收集环上。随着 U_c 的降低,环上收集的电子流将减少。当 U_c 取某值时,某个收集环上电子流降到 0,由此 U_c 值即可确定相应的磁力线上电子的最高能量及电子云中央截面上相应点的电位。

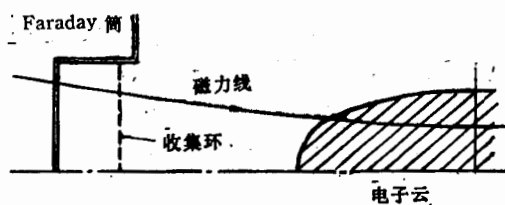


图 3 电子云中央截面上电位分布的测定

这一磁约束装置是高能物理研究所工厂加工的。目前我们正利用它进行电子云的实验工作。在建造过程中得到了周清一教授的关心和陈镡璞、梁笏鸣等同志的帮助,特此志谢。

参 考 文 献

- [1] T. M. O'Neil, in *Nonneutral Plasma Physics*, edited by C. W. Roberson and C. F. Driscoll, American Institute of Physics, New York, 1988, p. 1.
- [2] J. H. Malmberg et al., *ibid.*, p. 28.
- [3] 郁庆长,高能物理与核物理,14(1990),973;14(1990),1067.

A Small Magnetic Confinement Device for Electron Clouds

YU QINGCHANG QIU HONG JING YUHUI SHU CHUANYU

LI JIGANG HUANG JIACHANG XU JIANMING

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica, Beijing 100039)

ABSTRACT

A small magnetic confinement device is reported. It is used to study the magnetically confined electron clouds supported by the Penning discharges.