

一套用于激光多步共振电离截面测量的 多定标数据获取系统

钱东斌^{1,2} 马新文¹ 赵之正¹ 王彦瑜¹ 郭玉辉^{1,2} 祖凯玲¹ 张大成^{1,2}

1 (中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

2 (中国科学院研究生院 北京 100049)

摘要 本文主要介绍了一套应用于激光多步共振电离截面测量的 CAMAC 多定标数据获取系统。它可以实现严格同步采集多个实验参数,并能灵活适应实验条件的宽范围变化。CAMAC 前端的定标器数目可通过更改数据读出表文件来任意增减;获取方式分为自动重复获取和手动单次获取;获取时间单位可在 1ms—800s 范围内调节。经过测试得到,本数据获取系统的获取时间单位选择 100s 时长时间工作的稳定性 ($\Delta t/t$) 好于 $\pm 0.01\%$,充分证实了该套数据获取系统长时间在线采集实验数据的可靠性。最后利用这套系统同步测量了三台热电偶激光功率探头的功率-响应时间曲线。

关键词 CAMAC, 数据获取, 机箱控制器-GTBC, 多路定标, 精密脉宽时钟发生器

中图分类号 TL67

实验的基本目的是获取有用的实验数据,以便离线进行反演分析,所以灵活可靠的数据获取系统是实验成功的有力保证。数据获取系统的前端总线标准经历了 CAMAC、FastBus、VME 等发展过程,然而问世近 40 年的 CAMAC 仍以它独特的魅力在多参数数据采集领域扮演着重要角色。目前我们实验的目的是测量某些稀土元素的激光多步共振电离截面,为得到精密实验结果,必须实现严格同步获取共振产生的离子个数和三束激光功率,以便离线分析数据时做归一化处理。实验中用热电偶功率计探头测量三束准连续激光(铜蒸气激光器泵浦的染料激光)的功率,探头输出是与激光功率成线性的直流模拟电压量;用增益线性较好的探测器探测离子,探测器输出是与离子个数(单价离子通过相同电场引出)成正比的脉冲模拟电压量。两类探测元件输出的模拟量都是与各自代表的物理量成线性关系,我们选择用 V-F 变换器将两种形式模拟量变换成统一的计数脉冲串。由此看来,数据获取的任务就变成了同步采集这些代表各自物理量的计数脉冲串,单位时间内脉冲串的积累就代表了单位时间内的激光能量和离子个数。为此我们搭建了一套可实现同步采集多个实验参数的 CAMAC 获取设备,具有结构简易、应用灵活的突出特点。为了适应待测实验参数数目的改变,该获取系统设计成通过更改

数据读出表文件任意增减定标器数目。不同实验条件下各待测实验参数的计数率差别很大,为了保证每个实验点都能够在有效的时间内采集到足够的统计计数,获取时间单位设计成可在 1ms—800s 内任意选择。为了适应不同实验目的(如测量单个实验点或者连续重复测量一个实验点的稳定性)的数据获取,获取方式上设计成自动重复获取和手动单次获取方式。用模拟方法详细测量了本数据获取系统连续反复采集实验数据时门控时钟发生器控制计数时间单位的稳定性。最后使用该获取装置测量了热电偶激光功率探头的功率-响应时间曲线。

1 获取系统结构

本数据获取系统在硬件上是基于近代物理研究所自行研制的智能型 CAMAC 机箱控制器和能够提供门控信号的精密脉宽时钟发生器,以及美国 LeCroy 公司生产的 CAMAC 2551 多路定标器。在软件上采用了与硬件控制器配套的 TCP/IP 通讯协议。实验获取系统总流程框图如图 1 所示,以下对其主要组成部分分别给予简要叙述。

1.1 CAMAC 机箱控制器

为了适应不同场合的应用,我们使用了新一代 CAMAC 机箱控制器-GTBC^[1,2]。其内部电路设计能

第一作者:钱东斌,男,1979 年出生,2002 年于曲阜师范大学获学士学位,目前在中国科学院近代物理研究所攻读博士学位,研究方向为粒子物理核物理

收稿日期:2006-02-23,修回日期:2006-07-20

够提供三种灵活的数据接口方式(即:以太网, PCI 和 VSB), 可选用其中任一接口方式把 CAMAC 系统与后台实现数据存储和处理的计算机连接起来。通过以太网连接可以灵活实现远程数据的获取与控制; 通过 PCI 和 VSB 连接可以组成多机箱高速数据采集与控制系统。控制器内部采用了嵌入式微机 SC-12^[3], 它是一个实时的操作系统, 可以快速响应 CAMAC 插件的 LAM 请求, 对实验数据进行快速

存取, 为用户进行网络服务器编程和修改硬件提供了很大的方便。目前我们采用以太网连接, 通过网页运行(HTTP 服务) CGI 来执行 CAMAC NAF 码, 实现了以 10Mb/s 的速度对远程目标进行采集。在需要高速数据采集系统的场合, 可以通过 VSB 接口来连接该机箱控制器, 也可以通过 GPCI 接口卡把该机箱控制器与普通微机的 PCI 总线相连来组成高达 25Mb/s 的数据采集系统。

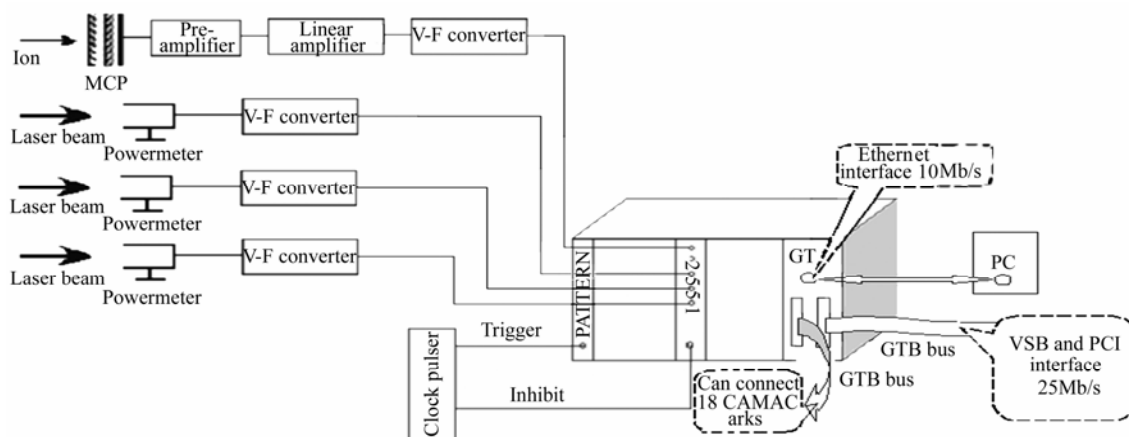


图 1 获取设备示意图

Fig.1 Schematic view of the data acquisition system

1.2 多路定标器

选用了美国 LeCroy 公司生产的 CAMAC 插件 2551 计数器^[4]。它包含了 12 道等价的计数单元, 每个计数单元具有累计存储 $2^{24}-1$ 个计数的功能; 它可以识别任何宽度大于 5ns 的 NIM 脉冲信号, 对窄脉冲信号的识别率可达 100MHz; 它还具有对 12 道计数单元同时抑止的功能, 如果计数单元的输入信号与抑止信号交迭, 这些与抑止信号交迭的计数脉冲将不被记录。

1.3 门控时钟发生器

对应不同激光功率, 待采集实验参数(数字化

了的离子计数和激光功率)的计数率会有很大的差异。要想保证在每个激光功率点都能获取到足够的统计计数, 获取时间单位必须随着激光功率改变进行适当调整; 为了降低随机性带来的测量误差, 在每个激光功率点下必须测量多组数据点, 然后对这些数据点进行平均。由获取的具体过程(见第三节)可知, 获取时间单位是由门控时钟信号的脉冲宽度决定。为了得到精确、稳定而且具有较大调整范围的计数时间单位和实现每个激光功率点下多组数据点的测量, 我们自行研制了一台精密脉宽时钟发生器, 其原理框图如图 2 所示。

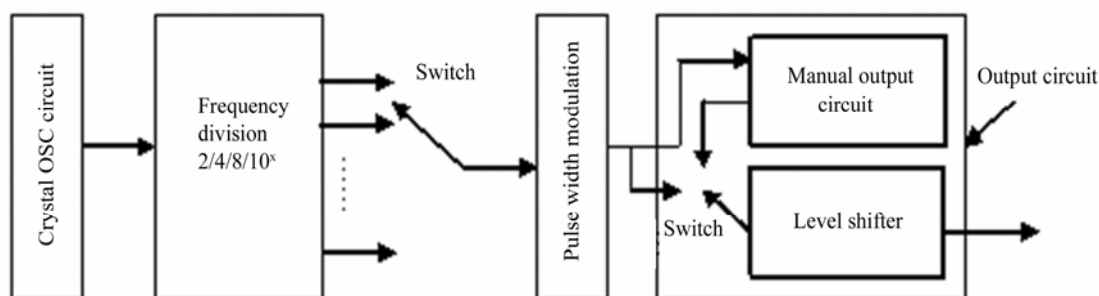


图 2 精密脉宽时钟发生器的原理框图

Fig.2 Block diagram of the clock generator

采用能够产生频率精确度高、稳定性好的基准

脉冲的晶振电路。对基准脉冲进行多次分频, 产生

周期在 1ms—800s 内的大周期、超大周期的时钟信号。分频后的信号再进行 1/10T—9/10T 九档的占空比调节电路，大大细化了脉冲宽度的调节范围。根据对获取方式（自动重复获取和手动单次获取）的要求，设计了单个输出控制电路和输出驱动电路来实现时钟信号的连续输出和手动单次输出。经测试，时钟信号的上升和下降时间均小于 4ns；前沿和后沿的抖动均小于 10ns。

1.4 获取软件

获取软件是通过 CAMAC 机箱控制器-GTBC 的硬件来支持的。对于整个数据获取系统，采用 TCP/IP 通讯协议^[5,6]，利用成熟的客户-服务器模式进行数据信息的交流。为了实现高速实时获取前端事件信息，在网络通讯中以数据包的形式，大容量少次数地进行数据的传送，尽量减少客户与服务器之间的网络连接次数。机箱控制器的前端为一小型微机 sc-12，它上面运行 dos 实时操作系统。对于客户传送的 CAMAC 命令，可以根据物理人员的要求按一定的规格编辑成数据表文件，打包发送到 GTBC 中并存储起来，以便软件运行时，能够在本地机上（sc-12）按序高速解析执行命令列表，从而灵活实现在线实验中增减 CAMAC 前端中的定标器个数。所获得数据在 GTBC 中先打包，而后将数据包通过 intranet 发送给客户 PC 机进行存储和简单分析。

2 获取的实现及其稳定性的测试

2.1 获取的实现

我们应用高频信号源的输出信号模拟计数脉冲对该数据获取系统进行了测试。高频脉冲信号（频率为 3000Hz）通过扇入扇出分成五路，模拟五组要同步获取的实验参数。五路模拟信号分别输入给 2551 多道定标器的计数单元。将一路门控时钟信号（负宽 NIM 电平）通过前沿甄别得到的负尖 NIM 脉冲

作为触发 CAMAC 模式字单元最低有效位 LSB（PATTERN UNIT（0））的 trigger 信号；另一路时钟信号经过等幅倒向（正宽 NIM 电平）后直接输入给 2551 作为抑制所有计数单元的 Inhibit 信号。获取过程如下：

五路高频计数脉冲不停地输入给 2551。当 Inhibit 信号处于高电平（即与计数脉冲交迭）时，2551 的所有计数单元被同步抑止，该时间段内计数脉冲将不被 2551 累计；当 Inhibit 信号处于低电平后，所有计数单元被同步打开，开始累计各自输入的脉冲个数一直持续到下一个 Inhibit 信号的高电平到来。PATTERN 单元由“1”和“0”两种状态，其中“1”状态作为软件的开门信号，“0”状态作为软件的关门信号。trigger 信号将 PATTERN 单元置为“1”时，获取软件开始运行，发布事先设置好的 CAMAC 命令。比如我们要想实现自动重复获取一定计数时间单元内五个计数单元的计数，门控时钟发生器设置为自动连续输出方式，CAMAC 命令的设置：首先把 PATTERN 单元的状态置“0”，然后将 2551 定标器的五个计数单元内的计数做先读后清处理，并把读出的数据暂存到 CAMAC 机箱控制器-GTBC 的内嵌微机的内存中。由图 3 的信号时间关系可知，软件的开门信号与 Inhibit 的高电平同一时刻到来，所以在软件运行的过程中，所有计数单元正处于被抑止状态，这样就给软件运行留有了足够的时间来逐一执行 CAMAC 命令，进而消除了软件运行时间带来的每个计数之间获取时间单位的不同步。一个循环运行完毕，就会等着下一个 trigger 信号到来将下一组数据从计数单元中读出并暂存。当暂存的计数所占空间达到软件中事先设定的大小后，软件把所采集的数据在 GTBC 中先打包，然后以数据包形式传送到计算机并按一定格式存储到生成的文件里。

由上面的描述看到，Inhibit 信号实现了每个计数单元同步触发（同步抑止或同步计数），其低电平

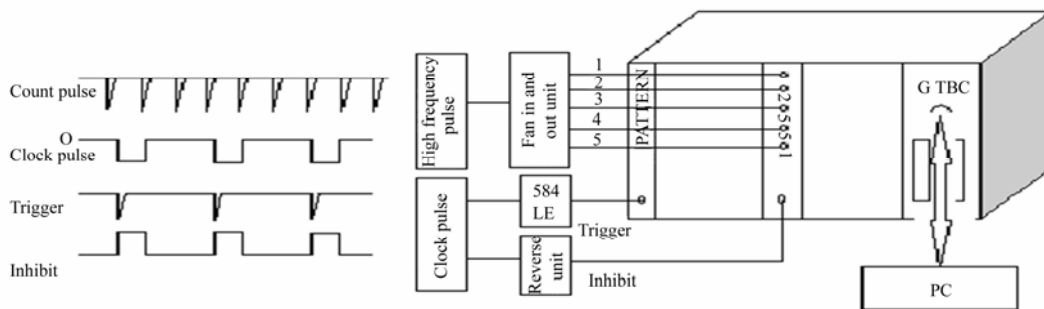


图 3 模拟测试数据获取系统示意图
Fig.3 The test diagram of data acquisition system

时间宽度即为计数时间单位。要想改变计数时间单位,只需改变时钟信号的频率或者脉宽占空比即可;要想实现手动单次获取,只需将门控时钟发生器的设置从自动连续输出变换到手动单次输出。

2.2 获取系统工作稳定性的测试

计数时间单位长时间的稳定性是该数据获取系统的主要性能参数之一,它直接影响光电截面测量的精度。由本数据获取系统的工作原理可知,计数时间单位是由时钟信号的宽度决定。为了得到该数据获取系统的性能参数,将高频脉冲信号源的输出频率(3000Hz)锁定,门控时钟信号设置为周期 200s,占空比 5/10T(理论计数时间单位为 100s),采用自动重复获取方式长时间测量(约 160min) 100s 内的计数脉冲个数。为了降低高频脉冲信号源的频率随时间的微小漂移带来的测量误差,我们用一标准定标器(ORTEC-872)同步重复测量 100s 内高频脉冲信号源输出的脉冲个数。用多定标获取系统测量的结果与标准定标器测量结果作比较(比较值 $\times 100$ 作为纵坐标)得到如图 4 所示的获取时间单位随工作时间的变化曲线。从图中看出,门控时钟发生器将获取时间单位控制在 100s 时的工作稳定性($\Delta t/t$)好于 $\pm 0.01\%$ 。

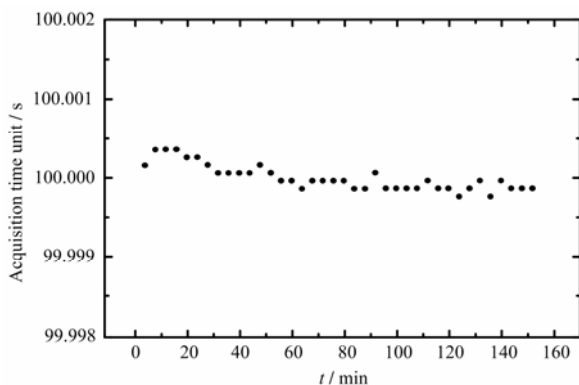


图 4 获取时间单位随测量时间变化曲线

Fig.4 Dependence of the acquisition time unit on measuring time

3 功率探头时间响应曲线的测量

光电截面测量实验中,是通过改变激光功率得到一系列实验点的。为了保证激光功率探头达到热平衡后再对每个实验点进行测量,我们必须知道功率探头的激光功率-响应时间曲线。按照如图 1 的方案,三束一定功率的激光分别被三个热电偶功率探头探测,运用 V-F 变换将激光功率数字化后由本套数据获取系统记录。门控时钟信号设置为周期 0.2s,占空比 8/10T(即:计数时间单位是 0.16s),获取

方式选用自动重复获取。用快门同时挡住三路激光功率, V-F 变换器输出脉冲串的频率变化过程正好反映出功率探头的降温过程。数据获取记录下的这个过程如图 5 所示(其中一个探头对应一个激光功率点的降温过程),探头降温过程所需要的时间就是对应激光功率的响应时间。用此方法测量了 5 个激光功率点,并对其作一阶指数衰减拟合,得到了如图 6 的激光功率探头的功率-响应时间曲线。

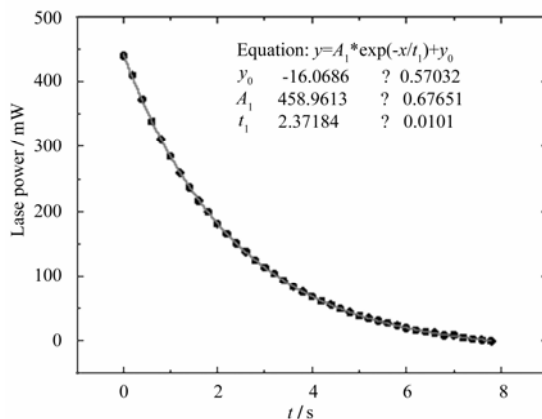


图 5 功率探头的降温过程

Fig.5 The temperature falling process of the power-meter

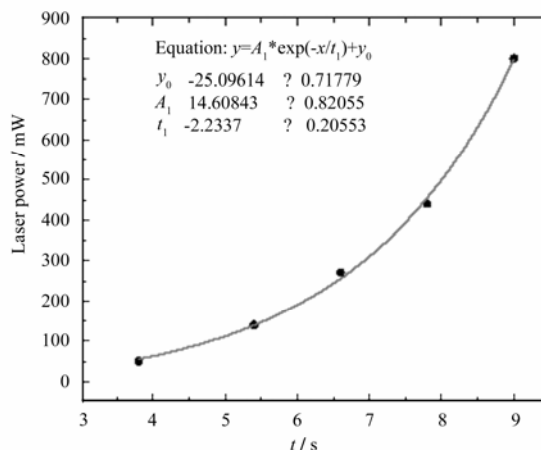


图 6 功率探头的功率响应时间曲线

Fig.6 Dependence of response time on laser power

4 结果与讨论

用户在使用本套数据获取系统的时候,可通过更改数据读出表文件来增减 CAMAC 前端中的定标器个数。获取实验参数超过一个多路定标器(2551)的计数单元个数(12个)时,可以在 CAMAC 机箱内插入多个 2551 单元。门控时钟信号是由外部硬件提供,这为扩展计数时间单位范围提供了方便。软件运行客户传送的 CAMAC 命令是要花费时间的,我们设定当软件逐一解析执行命令时让所有计数单元处于抑制状态,这样就避免了软件运行时间带来

的计数单元之间的计数时间差，从而保证了所有计数单元工作的同步性。由于仪器的特性（比如半导体激光功率探头的响应时间为秒量级且与激光功率的改变量有关）决定了改变实验点后各元件达到良好平衡状态需要的时间并不固定，甚至差别很大。从这方面考虑，将手动获取方式加入也是必要的。长时间测试的稳定性结果以及对三个热偶功率计探头的响应时间曲线的成功测试表明，该套装置可以应用于激光多步共振电离截面的精确测量。

参考文献

- 1 王彦瑜. 核电子学与探测技术, 2004, **24**(3): 265—267
WANG Yanyu. Nucl Electron & Detect Technol, 2004, **24**(3): 265—267
- 2 李小强, 王彦瑜. 核电子学与探测器技术, 2005, **25**(5): 574—576
LI Xiaoqiang, WANG Yanyu. Nucl Electron & Detect Technol, 2005, **25**(5): 574—576
- 3 Beck IPC GmbH “SC12 Hardware Manual”, Germany, 1999
- 4 Technical information manual for Model 2551 Scaler 1989
- 5 郭玉辉, 王彦瑜. 核电子学与探测技术, 2005, **25**(5): 501—503
GUO Yuhui, WANG Yanyu. Nucl Electron & Detect Technol, 2005, **25**(5): 501—503
- 6 ROOT User's Guide v3.10. 2004. 1

A data acquisition system for measuring ionization cross section in laser multi-step resonant ionization experiment

QIAN Dongbin^{1,2} MA Xinwen¹ ZHAO Zhizheng¹ WANG Yanyu¹ GUO Yuhui^{1,2}
ZU Kailing¹ ZHANG Dacheng^{1,2}

1 (Institute of Modern Physics, the Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

2 (Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract A CAMAC data acquisition system for measuring ionization cross section in laser multi-step resonant ionization experiment is described. The number of scalers in the front-end CAMAC can be adjusted by changing the data read-out table files. Both continuous and manual acquisition models are available, and there is a wide adjustable range from 1ms to 800 s with the acquisition time unit. The long-term stability, $\Delta t/t$, for the data acquisition system with an acquisition time unit of 100 s was measured to be better than $\pm 0.01\%$, thus validating its reliability in long-term online experimental data acquisition. The time response curves for three electrothermal power-meters were also measured by this DAQ system.

Key words CAMAC, Data acquisition (DAQ), Microprocessor-GTBC, Multiple scales, Clock generator

CLC TL67