TPC中错层大孔小rim的THGEM的Monte Carlo模拟研究

吴梦之 刘倩

摘要

略

关键词: 大孔小rim THGEM，电子透过率，阳离子回流

1. 引言

时间投影室(简称TPC)是高能物理和核物理大型实验中常用的一种气体探测器，可以精确测量末态带电粒子的三维径迹信息。对撞机实验中常常使用外磁场使带电粒子偏转，从而TPC还可以测量该粒子的三维动量。而在中心能量在GeV量级的对撞机实验中还可以给出该粒子的dE/dx信息，来做、K、质子等粒子的鉴别(PID)。目前常见的大型实验中的TPC有核物理对撞机实验ALICE、中微子实验NEXT、暗物质实验PANDAX，以及正在筹划的粒子物理对撞机实验CEPC。以CEPC-TPC为例，现代粒子对撞机实验中的TPC一般使用各种微结构气体探测器(简称MPGD)作为其读出方式，面临的技术性指标包括增益、电子透过率、阳离子回流(简称IBF)、计数率等问题，它们影响着探测器的空间分辨率、动量分辨率、能量分辨率等物理指标。

电子透过率是指原初电离的电子能够穿过MPGD并雪崩放大的比例，它会影响TPC探测效率、有效增益和能量分辨率等性能指标，我们希望它越大越好，最好可达100%。文献[???]模拟并实验测试了MicroMegas的电子透过率，在Ar-CO2(70/30)中达到了？？？

阳离子回流(IBF)一般包括原初IBF和MPGD的IBF。MPGD的IBF会产生空间电荷效应，在TPC内导致漂移电场畸变，使漂移电子的速率和方向收到影响，导致TPC的空间分辨率变差。因此在设计TPC时，我们希望尽可能压低IBF。早期的TPC的设计方案是加一个gating来吸收阳离子，但是随着对撞机的bunch时间间隔越来越短，gating这一方案显得越来越乏力，因此近年来的TPC在设计MPGD时一般会使其天然地具有压低IBF的功能。例如MicroMegas的mesh本身可以吸收大量的阳离子，因此对IBF天然地具有较好的抑制作用，文献[???]研究了双层mesh结构的IBF，它们对IBF的抑制作用可达？？？。对于THGEM结构的MPGD，可以在其下表面蚀刻一个新的电极，称为THCOBRA[???]，或者在THGEM中间增加一个新的电极[???]，也都可以对IBF有很好的抑制作用。

本文将对多层THGEM/THCOBRA结构的电子透过率和IBF进行Monte Carlo模拟。第一层采用大孔小rim的THGEM，以提升电子透过率。下面几层采用错层排列方式，这样每层THGEM/THCOBRA的下表面都可以对IBF有很好的吸收作用。

本文的主要内容安排如下：第二节模拟TPC工作气体中电子的漂移速率和扩散系数，以优化工作气体各组分的比例以及TPC的漂移区电场。第三节模拟单层THGEM的电子透过率，包括不同孔径THGEM、不同漂移区电场、不同transfer区电场、不同工作气体等条件下的电子透过率。第四节模拟错层排布THGEM/THCOBRA对IBF的抑制作用。

1. 气体模拟

TPC作为一种气体探测器，选择合适的工作气体是非常重要的，常用的气体有Ar-CH4, Ar-CF4, Ar-CO2, Ar-iC4H10等二元混合气以及各种三元混合气。不同气体中电子和阳离子的漂移速率、扩散系数、猝灭、倍增是不同的。电子在TPC中漂移速率越快，探测器的死时间就相对越短，进而可承受的计数率可以提升一些；另一方面由于空间电荷效应会导致漂移区电场畸变，电子的漂移速率有小的扰动，并且可能存在横向漂移，这会分别导致z方向和xy方向的空间分辨率变差，因此我们应当要求电子漂移速率随电场畸变的扰动比较小。电子扩散系数用于刻画电子的纵向和横向扩散，分别导致z方向和xy方向的空间分辨率变差，因此希望扩散系数尽可能小。

所以本节将使用Garfield++来模拟各种气体中电子的漂移速率和扩散系数。以Ar-CH4为例，模拟不同组分比例下电子的漂移速率和扩散系数如图(1)所示

我们希望工作气体中电子漂移速率尽量快，并且受电场扰动的影响尽量小，而纵向和横向扩散系数也尽量小，因此选取95/5的比例，漂移区电场范围是200-400V/cm。

类似地，我们对Ar-CO2、Ar-CF4、Ar-iC4H10等气体做相同的模拟，可以优选出较为合适的气体配比和相应的最优电场，这些条件下的电子漂移速率和扩散系数总结为图(2)

1. 大孔小rim THGEM的电子透过率
2. 错层THGEM对阳离子回流的抑制