

湖南大学

HUNAN UNIVERSITY

本科生毕业论文（设计）

论文题目：激光驱动的磁场重联的

数值模拟研究

学生姓名：孙陶庵

学生学号：202011010101

专业班级：物理 2001

学院名称：物理与微电子科学学院

指导老师：肖成卓

2024 年 5 月 21 日

# 湖南大学

## 学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的论文是本人在导师的指导下独立进行研究所取得的研究成果。除了文中特别加以标注引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写的成果作品。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律后果由本人承担。

作者签名：                    签字日期：            年    月    日

## 学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权湖南大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

本学位论文属于

1、保密☐，在\_\_\_\_\_年解密后适用于本授权书

2、不保密☐。

(请在以上相应方框内打“√”)

作者签名：                    签字日期：            年    月    日  
导师签名：                    签字日期：            年    月    日

## 摘 要

等离子体磁场重联是天体物理中重要的研究领域，是一种磁场拓扑变化后将能量转移为等离子体能量的基本过程。可以解释天体物理中的许多问题，例如：太阳表面区域发生的爆发性能量释放形成太阳耀斑、 $\gamma$  射线暴等都可能由磁重联提供的能量产生。在实验室天体物理中研究人工触发磁重联也一直是重要的研究方向。本文中尝试使用 3D-PIC 模拟来通过架设等离子体薄靶和激光后触发超快的相对论性磁重联，并研究重联中的发生原因和磁能转移过程。激光在薄靶的两侧激发电子束，当电子束接近等离子体密度变化区域时会出现磁重联并出现能量耗散的现象。本文探讨了 Hall 电流、重联能量变化、无碰撞重联等基本问题，以便深入理解空间和实验室等离子体中局部重联层的基本过程。之后也将探讨不同偏振方向激光对重联的影响。本文的发现包括以下几个部分：

1. 使用激光入射等离子体激发磁场重联现象。并且主要发现了磁场重联时的 Hall 重联现象以及粒子射流，并且分析了其发生时的物理过程。同时，透过针对性的分析重联发生区域的粒子能谱变化以及其能量的转化，验证了磁场重联过程中会有粒子能量转移是粒子射流的主要发生原因。

2. 不同于第一部分使用的激光是线偏振激光，这一部分我们接着使用圆偏振激光入射相同的等离子体，以观察磁场重联现象是否仍然会发生，并且希望可以观察到不同的现象并分析。此外，也需要分析等离子体物理中常见的参量如  $\beta$  量，以及针对两种不同的激光入射得到的结果做比较分析，透过  $dN/d\gamma \propto 1/\gamma^p$  的幂律谱分析结果可以比对两种激光激发粒子的射流的效率。

**关键词：** 等离子体; 磁场重联; 无碰撞重联; Hall 重联

## Abstract

The magnetic reconnection (MR) is an important field in astrophysics and plasma physics, which is a process that the magnetic energy transfer to plasma energy by the topology changing in the magnetic line. The MR can explain lots of problem in astrophysics, for instance, Explosive energy releases in the solar surface area to form solar flares, gamma ray bursts, etc. may all be generated by the energy provided by MR. Studying artificially triggered magnetic reconnection has always been an important research direction in laboratory astrophysics. This thesis attempts to use 3D-PIC simulation to trigger ultrafast relativistic magnetic reconnection by setting up a plasma thin target and laser, and study the causes of reconnection and the magnetic energy transfer process. The fundamental issues of Hall currents, reconnection energy changes, and collisionless reconnection are discussed to comprehend the basic processes of localized reconnection layers in space and laboratory plasmas. Later, the impact of laser light with different polarization directions on reconnection will also be explored. This thesis includes the following parts:

1. Using laser irradiation on plasma, we have excited magnetic reconnection phenomena. The main findings include the observation of Hall reconnection and particle jets during magnetic reconnection. We analyzed the physical processes occurring during these events. Furthermore, by specifically analyzing the changes in the particle energy spectrum and energy conversion in the reconnection regions, we verified that particle energy transfer during magnetic reconnection is the primary cause of particle jet formation.

2. Unlike the first part, which utilized linearly polarized laser, this part employs circularly polarized laser to irradiate the same plasma. The aim is to observe whether magnetic reconnection still occurs and to identify any different phenomena. Additionally, we need to analyze common plasma parameters, such as the plasma  $\beta$ , and compare the results obtained with the two different types of laser irradiation. By employing the power-law spectrum analysis of  $dN/d\gamma \propto 1/\gamma^p$ , we can compare the efficiency of particle jet formation excited by the two types of lasers.

**Key Words:** Plasma; Magnetic Reconnection; Collisionless Reconnection; Hall reconnection

## 目 录

学位论文原创性声明和学位论文授权使用授权书 .....	I
摘 要 .....	II
Abstract .....	III
目 录 .....	IV
第 1 章 标题 .....	1
1.1 标题 .....	1
1.2 标题 .....	1
1.3 标题 .....	1
第 2 章 标题 .....	2
2.1 标题 .....	2
2.1.1 标题 .....	2
第 3 章 标题 .....	3
3.1 标题 .....	3
第 4 章 标题 .....	4
4.1 标题 .....	4
结 论 .....	5
参考文献 .....	6
致 谢 .....	7

## 插图索引

2.1 Hall 重联截面示意图 .....	2
------------------------	---

## 附表索引

## 第 1 章 标题

### 1.1 标题

### 1.2 标题

### 1.3 标题



## 第 2 章 标题

### 2.1 标题

#### 2.1.1 标题

可以学学用 tikz 画图，更加美观，推荐 <https://www.mathcha.io/editor> 画图后导出 tikz 代码像下面这样引入注：[htbp] 表示图片在该位置附近可以浮动，让计算机自动寻找最佳位置；如果不习惯可以改用 [H] 来强制固定图片或者表格的位置

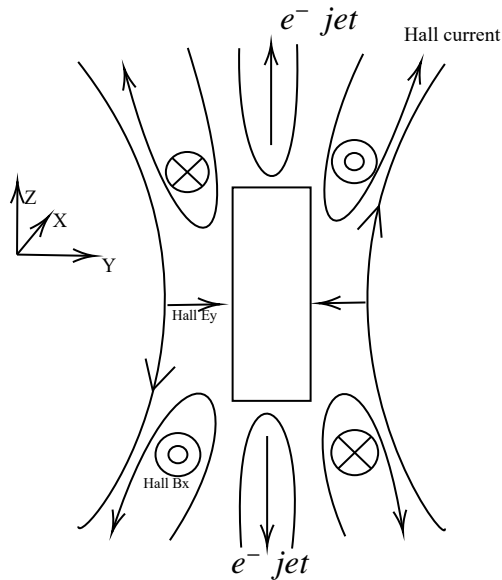


图 2.1 Hall 重联截面示意图

#### 2.1.1.1 标题

## 第 3 章 标题

### 3.1 标题

## 第 4 章 标题

### 4.1 标题

## 结 论

## 参考文献

## 致 谢

致谢大概六百字左右可以填满一页 A4 纸。