

空间物理实习报告 PB20000018 徐小航 2022.7.14-2022.7.18

一、实习情况与报告概述

今年的《空间物理实习》/《空间探测基础实习》课程于 2022.7.14—2022.7.18 在科大教学行政楼授课。在授课过程中，大二、大三的同学打散被分为 8 组，一组有 4-5 人，小组合作完成老师布置下的任务；其中授课内容如下：

第一天：

太阳观测讲解（王雯思老师授课）

空间科学研究中的指数（任德馨老师授课）

第二天：

瑞利雷达（方欣老师授课）

流星雷达（易稳老师授课）

第三天：

电离层测高仪讲解（刘立波老师授课）

KSPEX 参观与电离层空洞模拟实验（刘宇、余鹏程老师授课）

第四天：

电离层 GNSS 讲解（雷久侯老师授课）

第五天：

磁场探测实验（李毅人老师授课）

第六天，也就是最后一天的内容是实习汇报。这六天的实习为我带来的收获无疑是不可磨灭的：

1. 作为大二学生，之前我并未接触过 Matlab、IDL 等科学计算软件，仅仅少量接触过 Python。在这门课的要求之下，我学习了许多 Matlab、IDL 的软件基本用法与基础语法，并使用了 FFMPEG、SAOexplorer 等实用软件。我相信这对我日后进行空间物理科研工作会有极其重要的帮助。

2. 根据空间物理专业的培养方案，我目前只学习了数理基础课与两门导论课程，还没有学习《空间物理学导论》、《空间等离子体探测技术》、《遥感技术》等专业课程，对空间物理学科有哪些领域以及它们的研究方式了解不深。这门课内容全面，涉及了太阳物理、磁层物理、光学遥感、电离层物理、实验空间物理、空间探测仪器等空间物理的诸多研究领域，让我们了解了这些学科的基本背景和基础研究方法。这极大地有利于同学们进一步了解空间物理专业。

3. 在空物实习中，我锻炼了科研所需要的资料查询能力与试错素养。在本次实习的许多任务中，程序需要自己编写，并未给相关提示，因此我锻炼了动手查询资料的能力。同时，我在进行任务时经常会出大的差错，并且学会了通过查询资料与询问老师来寻找错误原因并改正，这不仅培养了我的勇气，也增加了我的抗挫能力和试错素养。这些能力不论在哪个学科的科研中都是极其重要的。

4. 空物实习锻炼了我的小组分工合作能力。在本次空物实习中，我担任第七组组长，任务的分工、合作、日程安排都是由我负责的，这对于我是较为新颖的体验，极大地培养了我进行小组合作的能力。于此同时，我积极融洽小组内部的交流氛围，并与同在一个会议室工作的第八组联谊，促进跨年级的同学相互往来。由于我是大一结束由少院转入的，过去对地空本部学生没有机会熟悉，小组活动的形式让我与其它少院同学结交了许多新朋友，也开阔

了自己的眼界。

同时，在本次空物实习中我的表现仍有需要改进的地方。由于我对各种科学计算软件并不熟悉，导致第一天耗费大量时间用于安装 IDL、SSW 等软件，且在实习过程中花费了大量时间来确定某种数据/程序应该用什么软件运行，以及查询各种代码的使用方法；澄清这些内容对我而言是相当有意义的。因此，在本报告中，作为整理记录与复习，我希望提供一个简易版的实验指导书，澄清各个任务的背景、初始数据、运行软件、任务流程、结果示例等内容，供以后上这门课的同学参考与复习使用。由于时间有限，在本报告中我暂只整理了太阳观测、空间科学中的指数、激光雷达、流星雷达、电离层空洞模拟实验五个模块的任务。

二、正文部分——简易版实验指导书

0. 课前准备

在开始本课程前，电脑需要准备以下软件：

1. Matlab R2021a

—————于[科大正版软件](#)可下载

2. Anaconda + sunpy 等 Python 编译器

—————Anaconda 可[官网](#)免费下载，编译器可于 Anaconda 下载

3. IDL + SSW

—————由老师提供

4. FFMPEG 或其它可帧合成的视频软件

—————自行安装下载

1. 任务一：太阳观测讲解——绘制 CME 爆发图像

1.1 背景介绍

日冕物质抛射（Coronal Mass Ejection, CME）是一种常见的太阳爆发现象，表现为在几分钟至几小时内从太阳向外抛射一团日冕物质（速度一般从每秒几十公里到超过每秒 1000 公里），使很大范围的日冕受到扰动，从而剧烈地改变了白光日冕的宏观形态和磁场位形。日冕物质被抛射入太阳系空间后，会引发行星际物理、磁层物理、电离层物理、空间天气学等领域的诸多现象，因此 CME 是太阳物理乃至整个空间物理中的重要课题。

利用卫星对 CME 进行光学观测是目前 CME 探测的重要手段。在本次实验中，我们会利用这些太阳观测卫星之一——太阳动力学天文台（Solar Dynamics Observatory, SDO）采集的数据，将一次 CME 爆发活动以视频的形式展现出来。

1.2 任务内容

任务要求：

根据 2022/01/31 23:20 – 2022/02/01 00:20 UT 时间段内 SDO 卫星观测的 7 个波段的数据：

1. 利用 IDL, 绘制 7 个单波段的 CME 爆发视频与 7 波段合并而成的 CME 爆发视频。
2. (选做) 利用 Python, 分别绘制 7 个单波段的 CME 爆发视频。

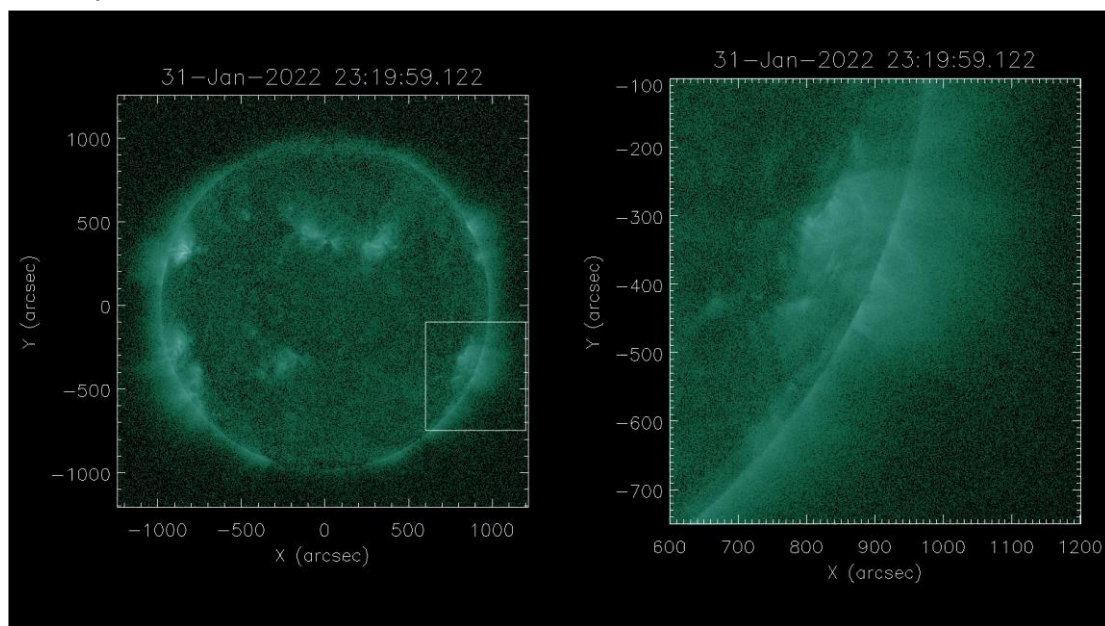
已给材料:

- ① .fits 文件, 共 7 个, 分别代表观测时间段内 SDO 卫星于 7 个波段上观测得到的原始数据。
- ② aia_data_sample.pro。该文件是 IDL 程序文件, 用于将 .fits 原始数据转换为描述 CME 的 .png 图片文件。每两帧图片间代表 5 min 的间距。
- ③ AIAMapPlot.ipynb。该文件是交互式 Python 程序文件, 需要用 Jupyter Notebook 打开。用于将 .fits 原始数据转换为描述 CME 的 .png 图片文件。

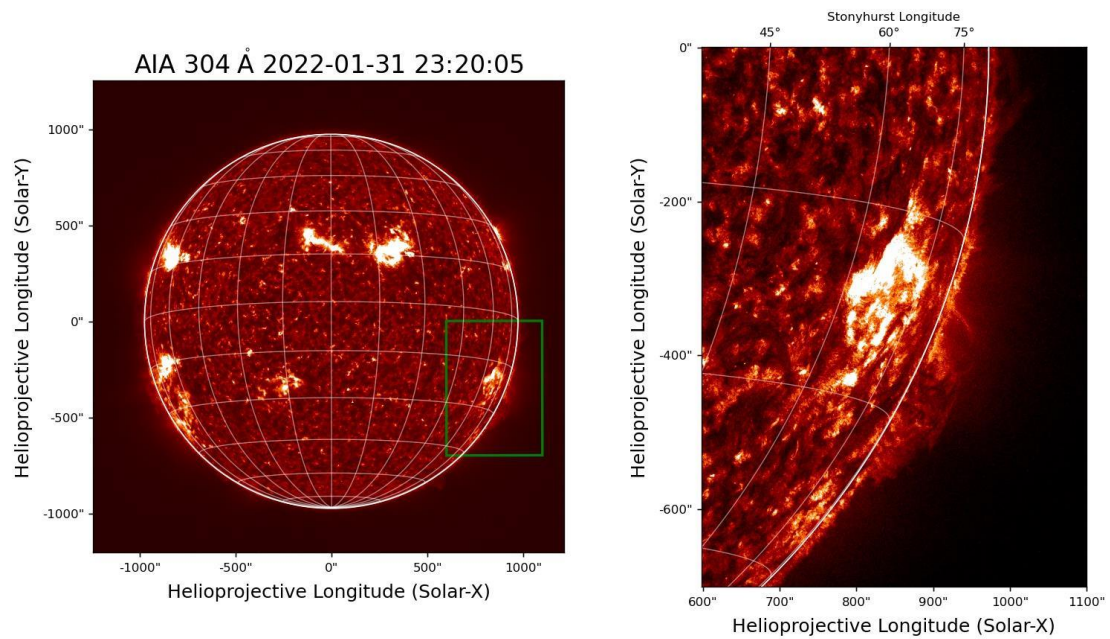
所需软件:

- ① IDL
- ② Anaconda + Jupyter Notebook
- ③ FFMPEG 或其它视频编辑软件

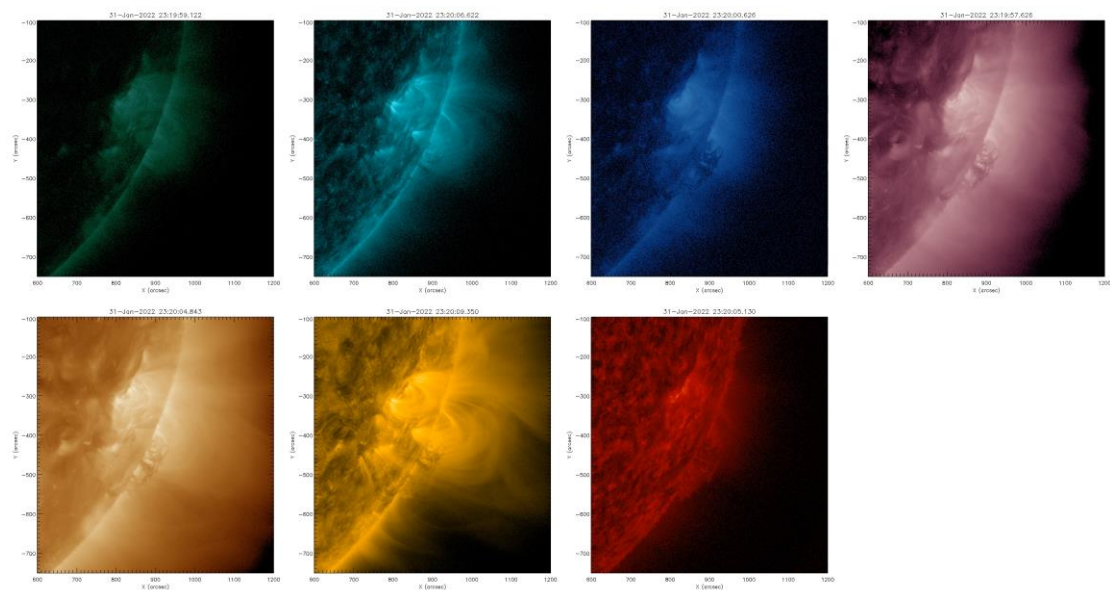
结果示例:



1. 以上为由 IDL 绘制的 7 个单波段与 7 波段汇总的 CME 爆发视频, 双击即可打开。选自 2022 空物实习第七组的工作。



2. 以上为由 Python 绘制的, 304Å 波段 23:20:05 时刻的 CME 图像。选自王雯思老师的课程 PPT。



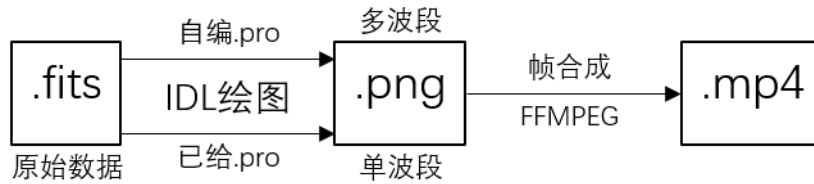
3. 以上为由 Fortran 绘制的 7 波段汇总的 CME 爆发视频, 双击即可打开。选自 2022 空物实习第七组的工作。Fortran 绘制不做要求。

1.3 任务流程

题目 1:

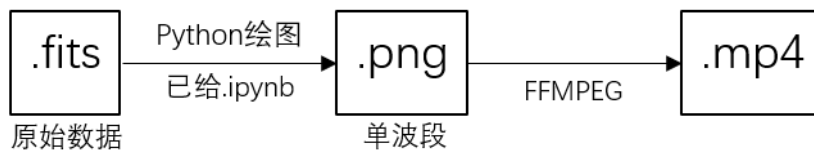
1. 使用 IDL 软件打开 aia_data_sample.pro 程序, 修改程序中的 .fits 数据输入、.png 结果输出路径, 并运行得到 1 组 12 个 .png 文件。实现 .fits 原始数据文件向 .png 图片文件的转化。
2. 重复步骤 1, 分别得到 7 个波段数据对应的 .png 文件组。
3. 自行编写 .pro 程序, 使其可以读取 .fits 文件, 且输出的 .png 图片文件中同时包含 7 个波段的子图。运行。

4. 使用 FFMPEG 或其它视频剪辑软件，将先前得到的.png 图片文件帧合成为视频文件。如示例 1。



题目 2:

1. 使用 Jupyter Notebook 打开 AlAmapPlot.ipynb 程序，修改程序中的.fits 数据输入、.png 结果输出路径，并运行得到 1 组 12 个.png 文件。实现.fits 原始数据文件向.png 图片文件的转化。如示例 2。
2. 重复步骤 1，分别得到 7 个波段数据对应的.png 文件组。
3. 使用 FFMPEG 或其它视频剪辑软件，将先前得到的.png 图片文件帧合成为视频文件。



2. 任务二：空间科学中的指数——磁暴强度的量化

2.1 背景介绍

太阳活动剧烈时，日冕抛射大量物质，其中的带电粒子（质子、电子）形成的电流冲击地球磁场，所引发的地磁扰动现象称为磁暴。磁暴是近地空间中常见的空间天气事件，它常常伴随着极光、环电流、地磁扰动等现象，因此空间科学中根据磁暴时地球磁层的种种现象，设计了极光电急流指数 (AU、AL、AE)、中纬地磁扰动指数 (ap、Kp)、环电流指数 (Dst、SYM-H) 等指数描述地球空间环境变化与磁暴强度。同时，根据太阳紫外辐射强度，设计了 $F_{10.7}$ 指数以描述太阳活动强度。接下来，我们将简要地介绍 Kp、SYM-H/Dst 指数的近似算法。

1. Kp 指数

Kp 指数是一种地磁扰动指数，其计算单纯依赖观测站的磁场扰动状况。

- ① 选取观测站得到的一段连续时间内地磁场 H 分量。（地磁场分为 H、D、Z 分量）
- ② 将数据内每 3h 割为一区间，计算每个区间中 H 的极差，即这 3h 内 H 最大值与最小值之差。
- ③ 通过下表，将 H 极差换算为 Kp 指数。

K	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
K-limit ^a [nT]	0	5	10	20	40	70	120	200	330	500

可以观察到，根据算法，Kp 指数是以 3h 为单位变化的。

2. SYM-H/Dst 指数

SYM-H 指数、Dst 指数均为环电流指数，其大小依赖于环电流强度。然而由于环电流强度计

算较为麻烦，本实验中我们采用一种单纯依赖地磁扰动的算法近似 SYM-H/Dst 指数。

- ① 选取观测站得到的一段连续时间内地磁场 H 分量。
- ② 选取地磁活动平静期(即 H 分量变化较小的一段时期), 计算平静期内 H 分量的平均值。
- ③ H 分量减去平静期 H 平均值即为近似的 SYM-H 指数; 将其光滑化即为 Dst 指数。

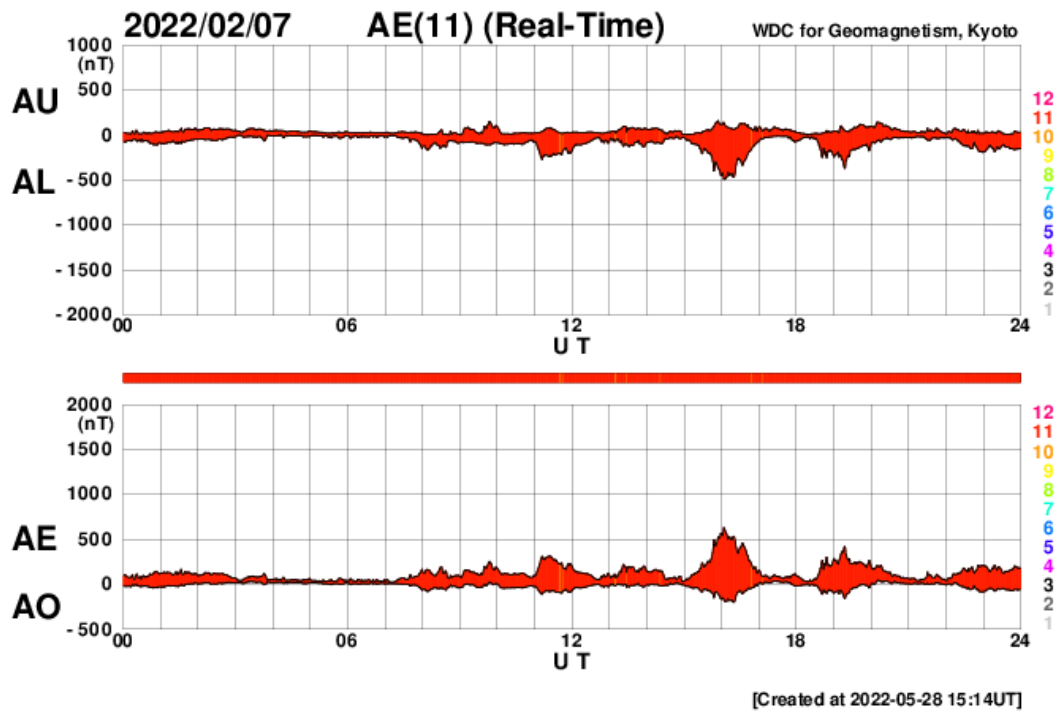
2.2 任务内容

任务要求:

1. 下载绘制 2022 年 2 月 1-7 日多种指数, 并进行分析。
2. 读取乐东、北京和漠河地磁场数据, 并进行分析。

已给材料:

- ① .txt 原始数据文件, 自 https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/omni_min_def.html 下载。包含全时段的 Kp、Dst、ap、F_{10.7} 指数数据, 并要求抽取/下载其中 2022/02/01 00:00 – 2022/02/08 00:00 UT 时段的数据。学生需要自行编写读取绘制.txt 原始数据的程序。
- ② .png 原始数据文件, 自 https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/ae_realtime/index.html 下载图片文件。包含全时段的 AU、AL、AE、AO 指数数据, 并要求抽取/下载其中 2022/02/01 00:00 – 2022/02/08 00:00 UT 时段的数据。每张图片包括 1 日的数据, 如下图:

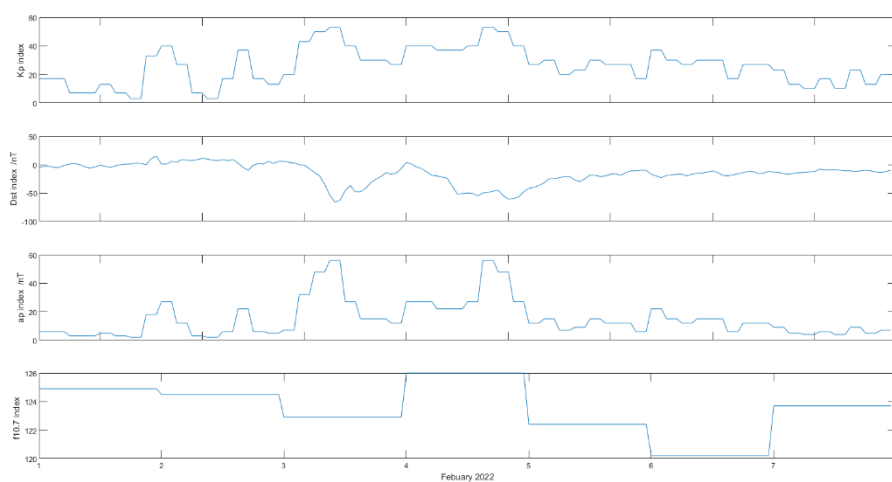


- ③ “Ae_read_case.m”程序文件, 使用 Matlab 打开, 用于将.png 原始数据读取转化为.mat 数据文件。
- ④ .BIN 原始数据文件。包括北京、乐东、漠河三个观测站所测得的地磁场 D、H、Z 分量数据, 使用 IDL 或 Matlab 读取。由老师提供。
- ⑤ “LEMI 018 数据格式.txt”文件, 标注了.BIN 原始数据的记录格式。学生需要根据此文件自行编写读取绘制.BIN 原始数据的程序。

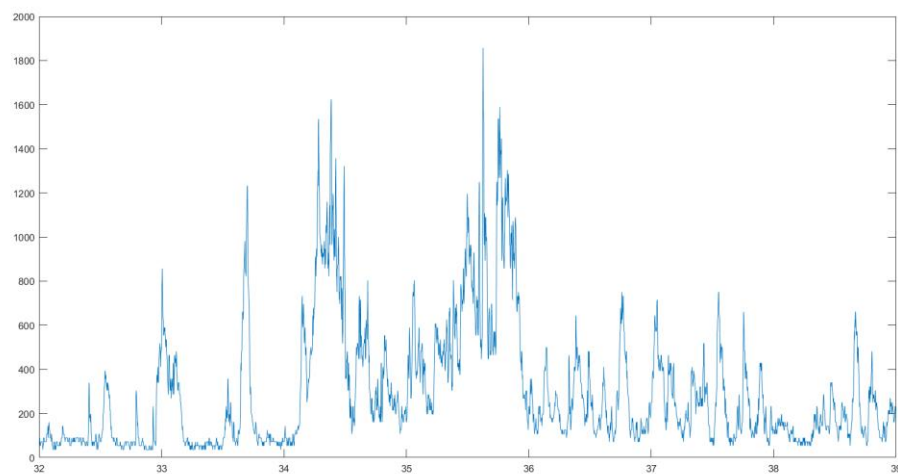
所需软件:

① Matlab R2021a

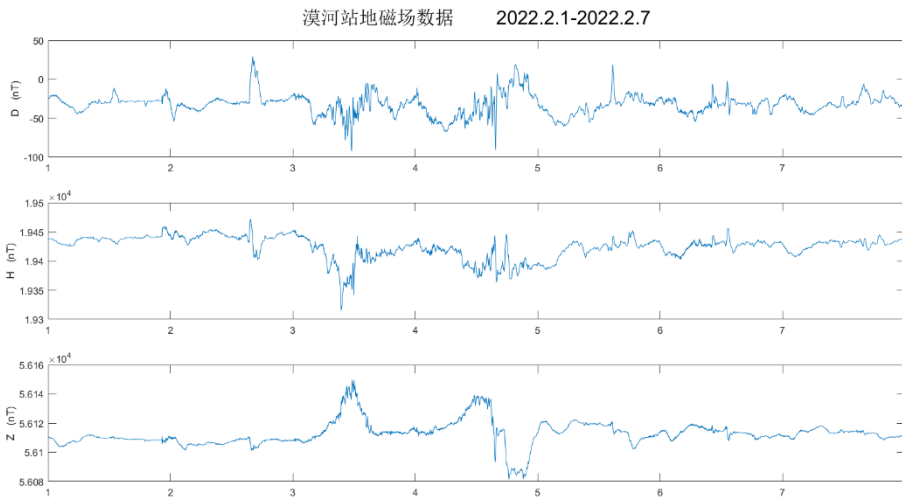
结果示例:



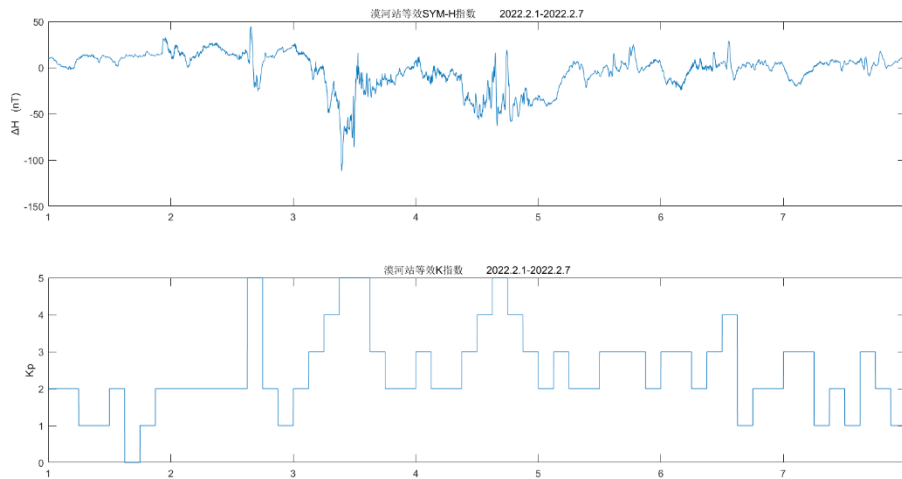
1. 上图描述了 2022/02/01 00:00 – 2022/02/08 00:00 UT 时段内，OMNI 得到的 Kp、Dst、ap、F_{10.7} 指数数据随时间的变化。该图使用 Matlab 绘制，选自 2022 空物实习第七组的工作。



2. 上图描述了 2022/02/01 00:00 – 2022/02/08 00:00 UT 时段内，AE 指数随时间的变化。其中纵坐标为 AE 指数，横坐标为 Day of year，即一年中的第几天。该图使用 Matlab 绘制，选自 2022 空物实习第七组的工作。



3. 上图描述了 2022/02/01 00:00 – 2022/02/08 00:00 UT 时段内，漠河站观测得到的地磁场 D、H、Z 分量随时间的变化。该图使用 Matlab 绘制，选自 2022 空物实习第七组的工作。



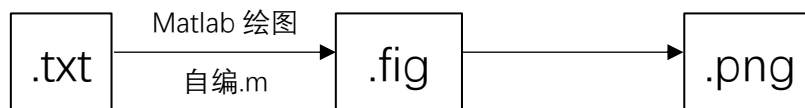
4. 上图描述了 2022/02/01 00:00 – 2022/02/08 00:00 UT 时段内，根据背景介绍中提及的近似算法算得的 SYM-H 指数、K 指数的时间剖面。该图使用 Matlab 绘制，选自 2022 空物实习第七组的工作。

2.3 任务流程

题目 1 (.txt):

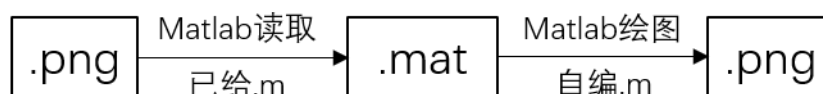
① 自 https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/omni_min_def.html 下载.txt 原始数据文件。下载时，“Select activity”选择“Create file”、“Select Resolution”选择“1-min averaged”、“Enter start and stop times”填写“20220201”——“20220207”、“Select Variables”选择“IMF Magnitude Avg,nT”。随后，点击“Submit”键，下载其中.lst 格式数据，更改后缀名即可得到.txt 原始数据文件。

② 用 Matlab 自行编写.m 程序文件，使其可以读取.txt 原始数据，并绘制 Kp、Dst、ap、F_{10.7} 指数数据随时间的变化图.fig 文件，并导出为.png 文件，如示例 1。



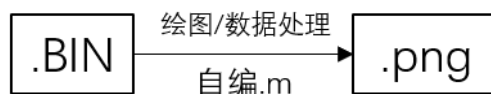
题目 1 (.png):

- ① 自 https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/ae_realttime/index.html 下载.png 原始文件。进入网址后，分别选择 2022.02.01——2022.02.07 这 7 天对应的.png 图片格式数据并下载。
- ② 用 Matlab 打开已给的“Ae_read_case.m”程序文件，修改输入输出路径，将 7 天的.png 数据读取转化为统一的.mat 数据格式文件，其中包括 AE 指数与时间 (doy) 的映射。
- ③ 用 Matlab 自行编写.m 程序文件，用于读取.mat 数据并绘制 AE 指数随时间的剖面图.fig 文件，并导出为.png 文件，如示例 2。
- ④ 综合比较.txt、.png 文件读取的 Kp、Dst、ap、F_{10.7}、AE 指数在 2022.02.01——2022.02.07 这 7 天内随时间的变化，自由分析。



题目 2:

- ① 根据“LEMI 018 数据格式.txt”，用 Matlab 自行编写.m 程序，可以读取.txt 原始数据文件并分别绘制漠河、北京、乐东站测得的地磁场 D、H、Z 分量随时间变化剖面图。如示例 3。
- ② 根据背景介绍提及的近似算法，用 Matlab 自行编写.m 程序，可以由地磁场计算各站的 SYM-H (\approx Dst)、Kp 指数，并分别绘制三站的 SYM-H、Kp 指数随时间变化的剖面图。如示例 4。



3. 任务三：瑞利激光雷达

3.1 背景介绍

当光子打在大气粒子上，有一定概率被反弹向各个方向，这就是大气散射。大气激光遥感的基本原理就是向大气中打入一束激光脉冲，并接受散射回来的回波信号，依据回波信号反演出激光路径上大气的许多信息。例如大气浓度越高，散射越强，因此可以用回波信号反演大气密度；大气粒子的热运动与定向流动（风）会引发多普勒效应，导致散射光频率比起激光频率有所拓频/平移，因此可以用回波信号反演大气的温度、风速等信息。

瑞利激光雷达是利用大气分子的散射光（分子散射、瑞利散射、Rayleigh）反演大气参数的一种大气激光遥感。在本次任务中，我们将采用 USTC 中高层大气物理与激光遥感实验室 532nm 瑞利雷达的数据，学习绘制大气参数随高度的剖面图。

3.2 任务内容

任务要求:

根据已有数据，用 IDL 绘制回波信号、中性大气密度、中性大气温度随海拔每隔 15min 的剖面图。

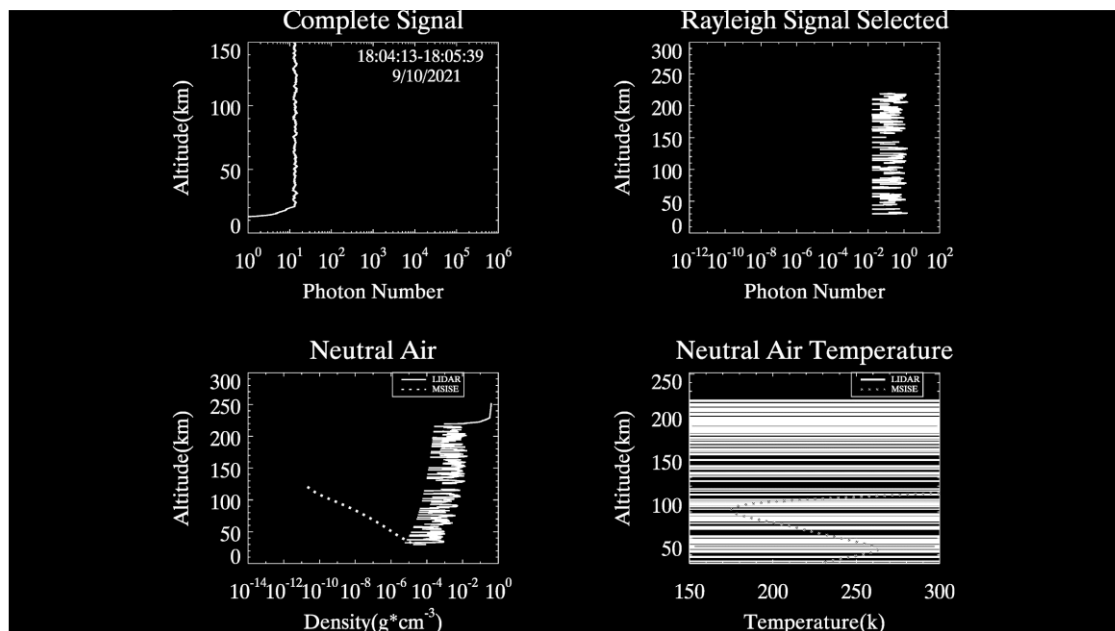
已给材料:

- ① .txt 原始数据文件, 共 162 个, 为 2021.9.10 18:04:03—2021.9.10 23:59:14 的数据。由老师直接提供。
- ② "ustc_rayleigh_temp_density_532_single1_plot.pro"、"colorbar.pro"、"errplot_x.pro"、"errplot_y.pro"、"legend.pro", 均为 IDL 程序文件。其中第一个用于读取数据与绘图, 后四个用于补充绘图参数。

需要程序:

- ① IDL

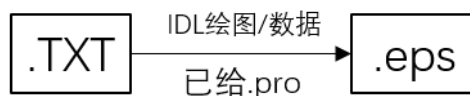
结果示例:



1. 上图中, 左上、右上、左下、右下分别是雷达接收总信号强度、雷达接收瑞利散射信号强度、中性大气密度、中兴大气温度随高度的剖面图; 每 15min 的数据拟合为一帧, 并拼合为视频, 双击即可打开。上视频的第一张图中, 由于探测时有云层遮挡, 所以数据出错。选自 2022 空物实习第七组的工作。

3.3 任务流程

- ① 使用 IDL 打开程序文件"ustc_rayleigh_temp_density_532_single1_plot.pro", 并代入工程文件"colorbar.pro"、"errplot_x.pro"、"errplot_y.pro"、"legend.pro", 将.TXT 数据转化为.eps 格式图片文件。
- ② 利用 GSview 或其它矢量图读取软件, 将.eps 文件导出为.pdf 文件, 并转换为.png 图片。如示例 1。



4. 任务四：流星雷达

4.1 背景介绍

地球中高层大气每天受到数以亿计流星体冲击，流星体与地球上层大气作用，高温将流星表面迅速烧蚀并电离，形成细长的高密度等离子体柱，即为流星尾迹。流星尾迹对无线电波具有散射作用，因此我们可以利用天线向天空发射无线电信号，并接收流星尾迹散射的回波信号，据此反演流星通量、流星速度、大气风场、扩散等参量。

与激光大气遥感不同，流星雷达的探测是全天空、全天候的，探测范围广、不受天气影响。在本任务中，我们将利用蒙城、北京、武汉三站的流星雷达数据，对大气风场进行研究。

4.2 任务内容

任务要求：

利用蒙城、北京、武汉、漠河四站流星雷达 2022 年 2 月 1-7 日的数据：

- ① 熟悉二进制数据读取，学习读取蒙城站 MET 和 VEL 格式数据。
- ② 实现绘制北京和武汉流星数高度分布图和方位角分布图。
- ③ 绘制风场各个分量随时间、海拔的变化图，实现北京和武汉大气潮汐分量特征：分解和重构。

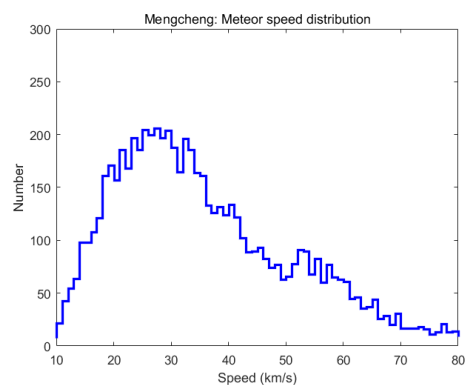
已给材料：

- ① 北京、蒙城、漠河、武汉四站的.met、.vel 原始数据文件。
- ② 参考程序文件"ReadMetData.m"、"ReadVelData.m"，用于演示.met、.vel 数据的读取方式；"MET_Read_Training.m"，用于演示.met 数据的读取与流星速度分布图、海拔分布图、速度-海拔分布图、流星方位角分布图、双击扩散系数图的绘图方式。
- ③ 参考程序文件"Metor_Radar_training.m"，用于演示 3 道题中所需要的各种计算算法。
- ④ 参考程序文件"fitharmo.m"、"lomb_scharge.m"，用于演示在风场测量数据缺失时，拟合补齐数据的算法。

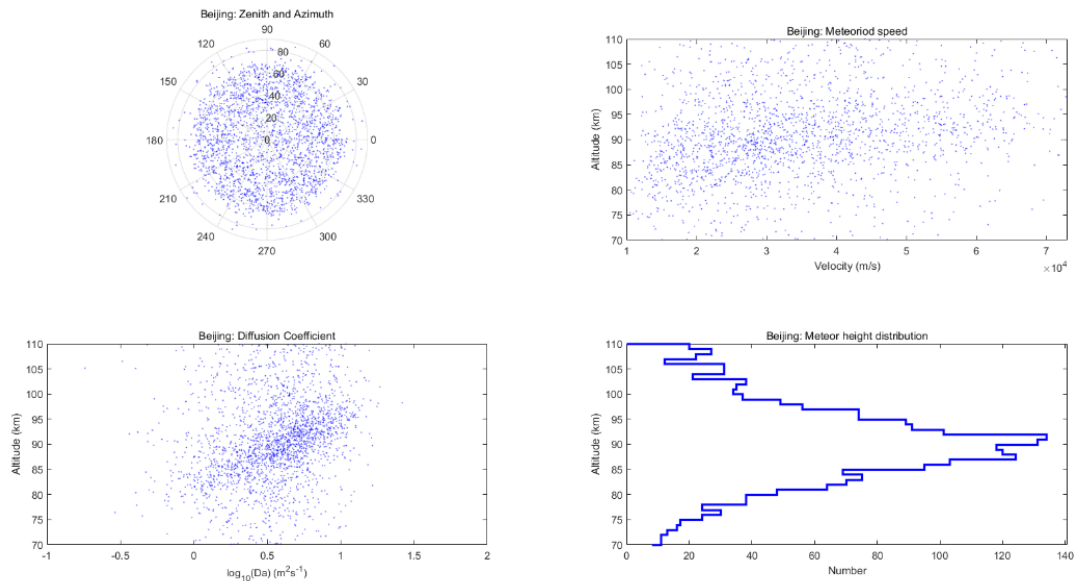
需要程序：

- ① Matlab R2021a

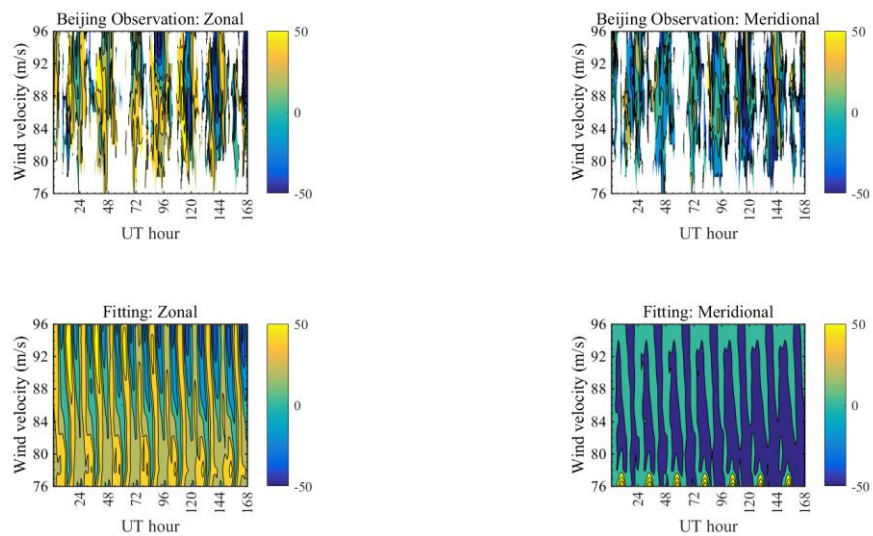
结果示例：



1. 上图为蒙城站 2022 年 2 月 1-7 日内流星的速度分布图。选自 2022 空间物理实习第七组的工作。



2. 上图中，左上、右上、左下、右下分别为北京站 2022 年 2 月 1-7 日内流星的方位角分布图、速度——海拔分布图、双击扩散系数图、海拔分布图。选自 2022 空间物理实习第七组的工作。



3. 上图中，左上、右上、左下、右下分别为北京站 2022 年 2 月 1-7 日内测得的原始风场径向分量、原始风场纬向分量、拟合后风场径向分量、拟合后风场纬向分量大小随海拔、时间的分布图。选自 2022 空间物理实习第七组的工作。

4.3 任务流程

题目 1:

① 参考“ReadMetData.m”、“ReadVelData.m”、“MET_Read_Training.m”，自行编写程序，使其可以读取蒙城站的.met、.vet 原始数据文件。可以尝试将其转化为.mat 数据文件，或绘制流星的高度分布图，如示例 1。

*关键函数：

```
[A,B,C,...] = ReadVelData(filename);  
[Datamet] = ReadMetData(filename);  
met.A = [met.A Datamet.A];
```

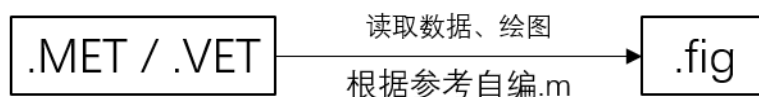
题目 2：

① 参考“MET_Read_Training.m”、“Metor_Radar_training.m”，自行编写程序，使其可以读取北京和武汉流星数高度分布图和方位角分布图。如示例 2。

题目 3：

① 参考“Metor_Radar_training.m”、“fitharmo.m”、“lomb_scharge.m”，自行编写程序，使其可以根据.met/.vet 原始数据计算风场经纬向分量且拟合，并绘制原始风场经向分量、原始风场纬向分量、拟合后风场径向分量、拟合后风场纬向分量大小随海拔、时间的分布图。如示例 3。

② 根据拟合后风场经纬向分量随海拔、时间的分布图，自由分析潮汐对大气风场的影响。



5. 任务五：实验空间物理——电离层空洞模拟实验

5.1 背景介绍

六氟化硫 (SF_6) 是火箭助推剂与喷气的常见成分，它具有高绝缘性，能够强烈吸收等离子体中的自由电子。因此，当使用 SF_6 的火箭穿越电离层时，会引起附近电离层电子密度快速下降，形成一个电离层空洞，严重影响依赖电离层的无线电通讯。因此，模拟 SF_6 产生电离层空洞是一个重要的课题。

在本任务中，我们将使用实验空间物理的手段，使用 USTC 电离层物理实验室的 KSPEX 空间等离子体模拟装置，测量 SF_6 通入等离子体前后对等离子体电子密度的影响，研究 SF_6 与电离层空洞的关系。

5.2 任务内容

任务要求：

1. 利用空间等离子体模拟装置，在未通入 SF_6 气体与通入 SF_6 气体后的情况下，对真空腔内朗缪尔探针施加交流电，分别测量实验腔内等离子体的电流电压；并据此反演通入 SF_6 前后等离子体的电子密度变化。
2. 自由探究探针采集过程中可能具有的误差来源，与 SF_6 释放前后对电离层等离子体参数的影响。

已给材料:

- ① 实验装置参数, 包括朗缪尔探针截面积、探针长度、交流电偏压、本底气压、本底气体(氩气)浓度、通入 SF₆ 浓度、采样电阻等数据。
- ② 自行由实验测得通入交流电后朗缪尔探针的电流电压数据, 以.csv 格式保存。

需要准备:

- ① Matlab R2021a
- ② 实验时应自带 U 盘, 拷取数据。

结果示例:

通入 SF ₆ 前 (m ⁻³)	通入 SF ₆ 后 (m ⁻³)
1.6298×10 ¹⁵	4.8023×10 ¹⁴
1.1532×10 ¹⁵	6.5101×10 ¹⁴
1.2118×10 ¹⁵	1.5396×10 ¹⁴

1. 上表记载了通入 SF₆ 前后各 3 次测量电流电压数据反演而得的电子密度数据。可以发现通入 SF₆ 后, 空间等离子体电子密度有数量级上的降低。选自 2022 空间物理实习第七组的工作。

5.3 实验及任务流程

① 记录实验装置参数, 包括朗缪尔探针截面积、探针长度、交流电偏压、本底气压、本底气体(氩气)浓度、通入 SF₆ 浓度、采样电阻等。

② 对朗缪尔探针通入交流电, 使用示波器测量电流电压数据并用 U 盘拷出 3 次, 得到 3 份.csv 数据。

③ 向实验腔通入 3sccm 的 SF₆, 再使用示波器测量电流电压数据并用 U 盘拷出 3 次, 得到 3 份.csv 数据。至此收集到 6 份数据。

④ 根据朗缪尔探针理论, 自行编写程序, 使其可读取.csv 数据文件计算单次测量时的等离子体电子密度。算法如下:

I. 从.csv 文件中读取数据对(U,I)的时序排列, 绘制伏安特性曲线, 其中纵坐标是朗缪尔探针通入电流, 横坐标为朗缪尔探针测得电压(电压应除去采样电阻 500Ω)。数据对(U,I)应依照横坐标顺序重新排序, 使得曲线是单值的。

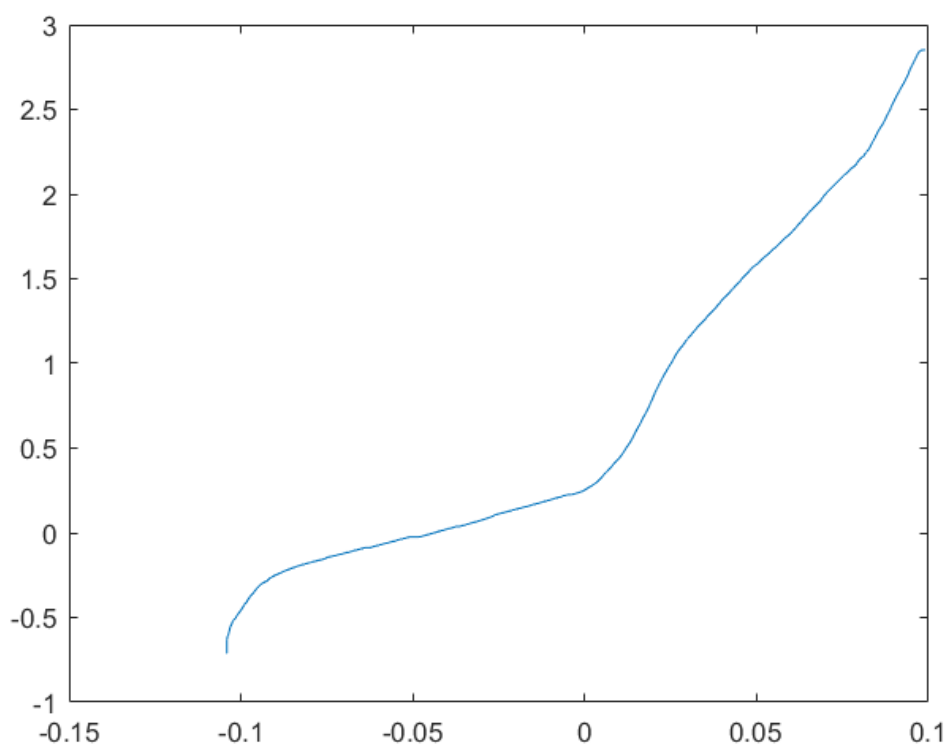
II. 使用 smooth()函数, 将伏安特性曲线光滑化。

III. 设计算法寻找伏安特性曲线的拐点及其对应的电流 I_{e0}, 在这里拐点指一阶导数最大的点。

IV. 根据朗缪尔探针公式, 用 I_{e0} 反演电子密度 n_e:

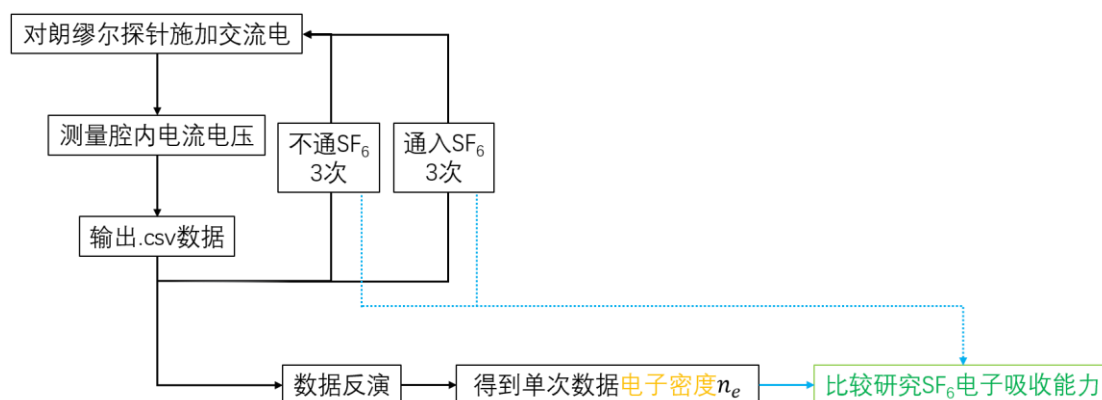
$$I_{e0} = \frac{1}{4} e A_p \sqrt{\frac{8kT_e}{\pi m_e}} n_e$$

其中 e 为单位电荷, A_p 为朗缪尔探针截面积, kT_e 为电子温度 (取 3 eV), m_e 为电子质量。这样, 我们就能根据单个.csv 数据求得该时间步长对应的 n_e 。



图为光滑后的伏安特性曲线, 易见拐点在 $x=0.02$ 左右。选自 2022 空物实习第七组的工作。

⑤ 利用编写的电子密度计算程序, 计算 6 个.csv 数据文件对应的 n_e , 并整理成表格, 如示例 1, 并对其自由分析。



三、致谢

本次空间物理实习让我收益颇丰, 这离不开许多人在实习中对我的教导、关心与合作。首先我需要感谢参与空间物理实习教学的各位老师。空物实习的老师在疫情仓促之下, 仍然克服重重困难, 为同学们安排了内容完备、授课用心的实习教学, 并妥善安排了场所、午餐等后

勤工作，积极回答同学们的疑问，致力于让同学们在空间物理实习中学到东西、开拓眼界；同时也关心同学们的生活，让我感受到了地空大家庭的温暖。

同时，我需要感谢这六天与我一起合作的第七组组员们。组员们工作勤奋、不畏钻研，克服了重重困难合作完成了本次空物实习的所有任务。在全体组员的共同努力下，我们才能在第六天的实习汇报中取得第一名的好成绩。组员们也是热情而友善的，毫无保留地解答其它组员的问题，他们也帮助我理清了许多我并不明白的问题。我希望这六天来我与第七组组员们的友谊关系能持续下去。

*本次空物实习期间第七组的其它工作可见于附件中的汇报 PPT。