

# 2023 航天动力学大作业

大作业题目为：深空探测轨道设计优化——采样返回

## 一、概述：

航天器从地球出发，对小行星 Psyche 进行采样，并返回地球，航天器采用脉冲推进方式，往返都可以采用火星借力，用圆锥曲线拼接的方法，设计地球-Psyche-地球的日心段转移轨道。

## 二、评比指标

在满足基本要求和精度约束的前提下，递交的文档和程序以及答辩表现充分合理，以采样质量最大为评比指标。

## 三、要求：

1. 不考虑地球影响球内的运动，航天器从地球出发或回到地球时，位置与地球相同，双曲剩余速度要求小于等于  $4 \text{ km/s}$ （大于的话需要额外施加脉冲降至  $4 \text{ km/s}$ ），转移过程中仅考虑太阳的中心引力。  
(太阳引力系数  $1.32712440018 \times 10^{11} \text{ km}^3/\text{s}^2$ )
2. 借力时采用脉冲等效模型，不考虑火星的影响球，要求航天器位置与火星相同，借力瞬间获得一个速度增量，该速度增量需要满足引力辅助要求以及最小借力高度的要求。  
(火星的最小借力高度为  $300 \text{ km}$ ，火星引力系数  $42828.375214 \text{ km}^3/\text{s}^2$ ，火星半径  $3389.92 \text{ km}$ )
3. 航天器与小行星 Psyche 交会（位置速度完全相同）后，在小行星上进行采样，采样可以瞬间完成且不限采样质量上限，采样完成后，启程返回地球。
4. 忽略小行星的引力。
5. 出发时间窗口为 1825 天内，出发之后的采样返回整个任务耗时不得超过 5475 天。
6. 附件中给出了初始时刻大行星和小行星的轨道根数，坐标系统为 J2000 日心黄道坐标系，认为大行星和小行星均沿日心二体轨道运行，可以通过求解开普勒方程获得任意时刻的状态。（需注意各个轨道根数的单位）
7. 航天器比冲为  $3000 \text{ s}$ （采用电推进比冲，重力加速度为  $9.80665 \text{ m/s}^2$ ），初始质量为  $1000 \text{ kg}$ （其中干重  $500 \text{ kg}$ ，燃料  $500 \text{ kg}$ ），故燃料消耗不得大于  $500 \text{ kg}$ ，返程时航天器总质量和干重质量需要加上采样质量。

燃料消耗公式：
$$\Delta m = m_0 \left( 1 - e^{\frac{\Delta v}{I_{sp} g}} \right) \quad (m_0 \text{ 为施加脉冲前的总质量})$$

- 8. 行星与小行星的轨道都是异面椭圆，不能当作黄道面上的圆轨道。
- 9. 精度约束要求：与二体问题解析解相比，每个事件点的位置误差不能大于 1 km，速度误差不能大于 1 m/s，质量误差不能大于 1 g。

四、需要提交的材料

- 1. 设计方法文档
- 2. 程序
- 3. 要求给出各个关键节点的信息，数据格式如下表所示：

Event	Time (day)	x (km)	y (km)	z (km/s)	v <sub>x</sub> (km/s)	v <sub>y</sub> (km/s)	v <sub>z</sub> (km/s)	Δv <sub>x</sub> (km/s)	Δv <sub>y</sub> (km/s)	Δv <sub>z</sub> (km/s)	m <sub>f</sub> (kg)
int	float	float	float	float	float	float	float	float	float	float	float
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

第 1 列：飞行轨道事件节点，1 表示从地球出发，2 表示到达小行星，3 表示在小行星上进行采样，4 表示从小行星返航，5 表示回到地球，6 表示火星引力辅助，7 表示施加瞬时速度脉冲。

第 2 列：事件节点时刻，距离初始时刻的天数；

第 3-5 列：位置矢量分量；

第 6-8 列：速度矢量分量，若当前时刻获得速度脉冲，则记为获得速度脉冲后的速度矢量分量；

第 9-11 列：速度脉冲矢量分量，引力辅助需给出等效速度脉冲，若当前时刻未施加脉冲，则记为 0；

第 12 列：航天器剩余质量；

补充说明：

- a. 如果某时刻同时借力或施加瞬时脉冲，应该给出两行数据，前、后瞬时各 1 行。
- b. 除第一列数据外，其他数据的有效位数取 6 位。

4. 画出各天体（地球、火星、目标小行星）和航天器飞行轨道的轨道图

5. 在 2024 年 1 月 28 日前提交所有文件并答辩（讲 8 分钟，提问 7 分钟）

6. 可以提前提交结果数据文件，以便验证精度是否符合要求，验证通过的指标与提交者姓名会在排行榜中公布，在答辩之前可以多次提交对结果进行改进。