



西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

航天器控制原理



冯冬竹

电话: 13389281325

邮箱: dzhfeng@xidian.edu.cn

空间科学与技术学院 导航控制系



西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

目录

CONTENTS

01

绪论

02

航天器的轨道与轨道力学

03

航天器的姿态运动学和动力学

04

航天器姿态控制系统的组成与分类

05

航天器的被动姿态控制系统

06

航天器主动姿态稳定系统



航天器的轨道与轨道力学

01

航天器轨道的基本定律

02

二体轨道力学和运动方程

03

航天器轨道的几何特性

04

航天器的轨道描述

05

航天器的轨道摄动

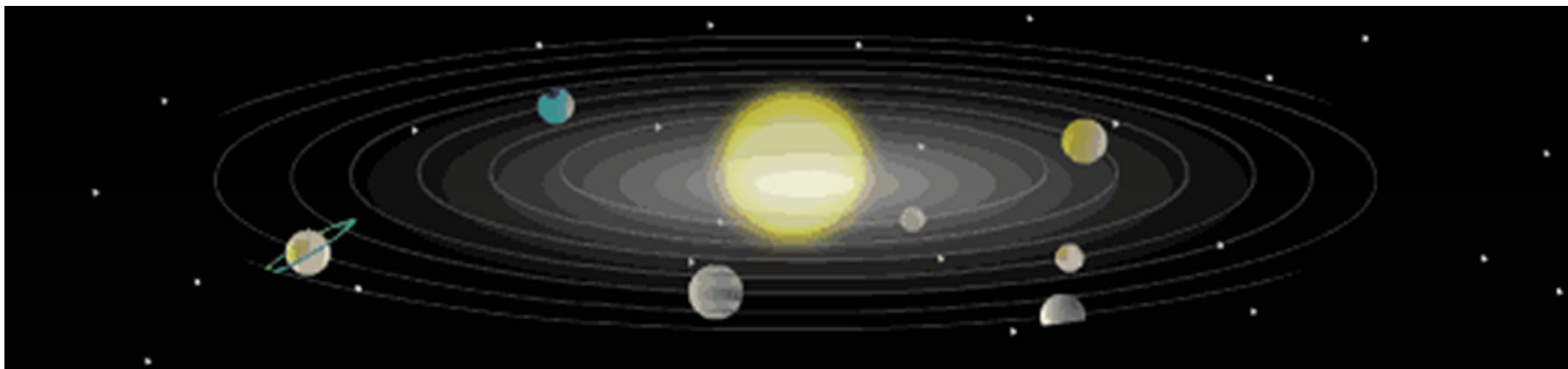


第一讲 · 航天器轨道的基本定律

- 01 开普勒定律
- 02 牛顿定律



天体的运动规律是什么？





- 第谷布拉赫，1546年12月14日出生在丹麦一个贵族家庭。
- 1559年入哥本哈根大学读书，对天文学产生兴趣。1566年在德国攻读天文学，开始了毕生的天文研究工作。
- 1600年邀请开普勒做助手，次年逝世。开普勒接替工作，第谷布拉赫大量的精确观测数据为开普勒的工作创造了条件。



第谷布拉赫



- ▶ 德国天文学家约翰开普勒是第谷布拉赫的学生和继承人。
- ▶ 开普勒根据第谷布拉赫毕生观测留下的宝贵资料，对行星运动进行了深入研究，提出了行星运动三大规律。
- ▶ 他的行星运动规律改变了整个天文学，为牛顿发现万有引力定律奠定了基础。

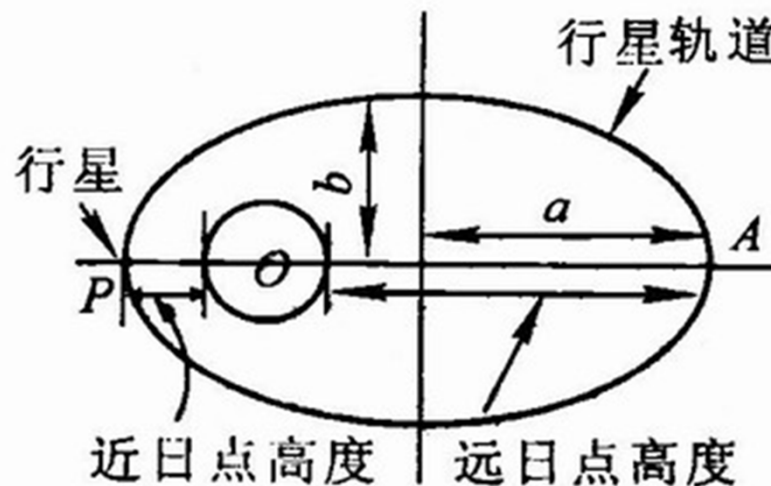


约翰开普勒



第一定律——椭圆律

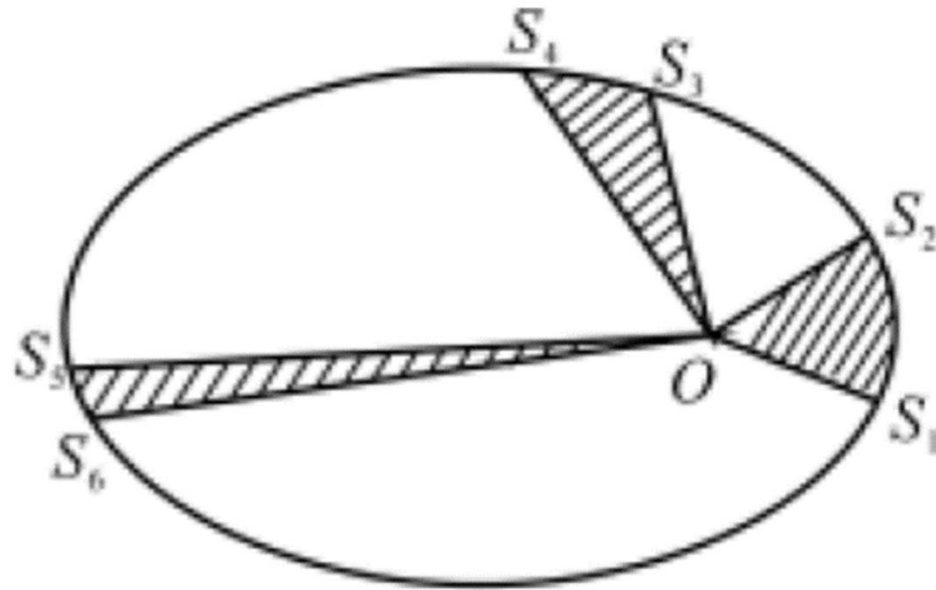
- 每个行星沿椭圆轨道绕太阳运行，太阳位于椭圆的一个焦点上。
- 行星在运行过程中，离太阳的距离是变化的，离太阳最近的一点为近日点，离太阳最远的一点为远日点。

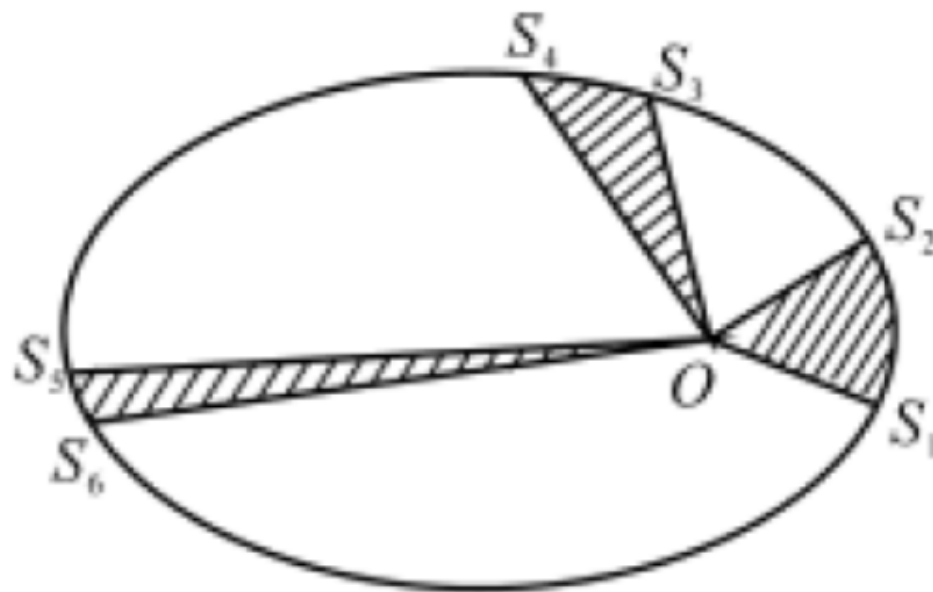




第二定律——面积律

- 由太阳到行星的矢径在相等的时间间隔内扫过相等的面积。





$$\frac{dA}{dt} = \text{常量}$$

- 单位时间内矢径扫过的面积，叫做面积速度。
- 为了保持面积速度相等，行星在近日点附近运行的路程S1S2较长，速度相应地要快些；在远日点附近运行的路程S5S6较短，因而速度相应地要慢些。这种变化规律，叫做**面积速度守恒**。

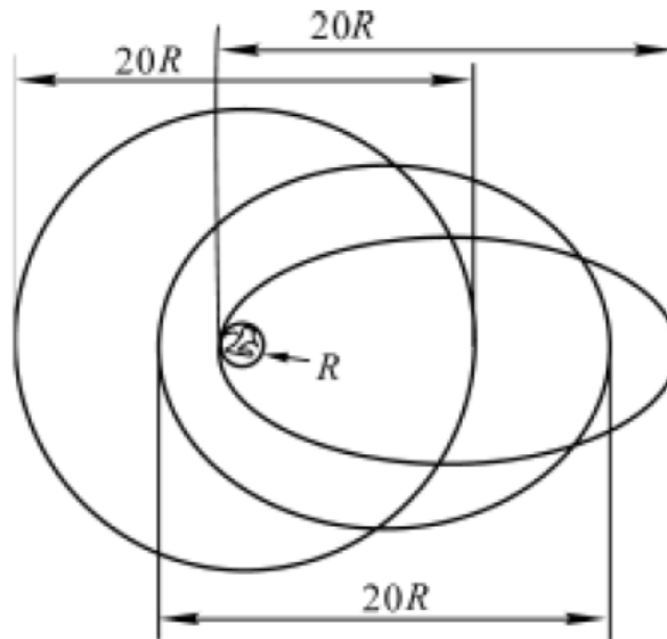


第三定律——周期律

- ▶ 行星绕太阳公转的周期 T 的平方与椭圆轨道的长半径 a 的立方成正比。即

$$\frac{a^3}{T^2} = K$$

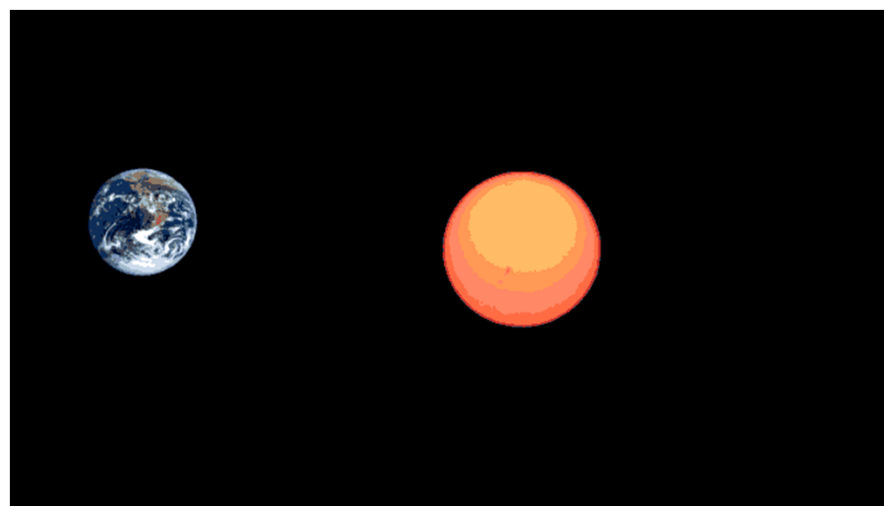
- ▶ 行星椭圆轨道的长半径越大，周期就越长，而且周期仅取决于长半径。



- 三种不同椭圆度的轨道，它们的长半径都相等，周期也就相同。



- 开普勒第一定律（椭圆律）揭示了行星围绕太阳旋转时轨道的形状；
- 开普勒第二定律（面积律）揭示了行星围绕太阳旋转时的速度变化；
- 开普勒第三定律（周期律）揭示了行星绕太阳旋转一周所用的时间。



周期365天



- ▶ 开普勒三大定律揭示了天体的运动规律，描述了行星轨道“是什么”。——但是，却不能回答行星轨道“为什么”是这样。
- ▶ 开普勒从数据中总结出的规律，只是行星运动的一种描述，还不是解释。
- ▶ 牛顿说：如果我看得远，那是因为我站在巨人的肩膀上。第谷布拉赫和约翰开普勒就是托起牛顿的巨人。



- 1645年，布里阿德假设，从太阳发出的力，和与太阳之间的距离的平方成反比；
- 1666年，意大利的玻列利提出引力是距离的幂的某种函数；
- 1680年，胡克提出引力反比于距离的平方；
- 1684年，哈雷带着“从平方反比关系得出椭圆轨道结果”的问题求助牛顿；
- 牛顿在《论天体运动》演讲稿中，证明了椭圆轨道运动的引力与距离平方反比定律；
- 1687年，出版《自然哲学的数学原理》，公布了引力问题的研究成果。



第一运动定律

- 任一物体将保持其静止或是匀速直线运动的状态，除非有作用在物体上的力强迫其改变这种状态。



第二运动定律

➤ 动量变化速率与作用力成正比，且与作用力的方向相同。

$$\Sigma \vec{F} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}) = \dot{m}\vec{v} + m\ddot{\vec{r}}$$

$\Sigma \vec{F}$ 为所有作用在质量 m 上的力的矢量和； $\vec{r}, \vec{v}, \ddot{\vec{r}}$ 分别为相对于惯性坐标系的该质量的位置、速度和加速度矢量； \dot{m} 为质量随时间的变化率。



第三运动定律

- 对每一个作用，总存在一个大小相等的反作用。



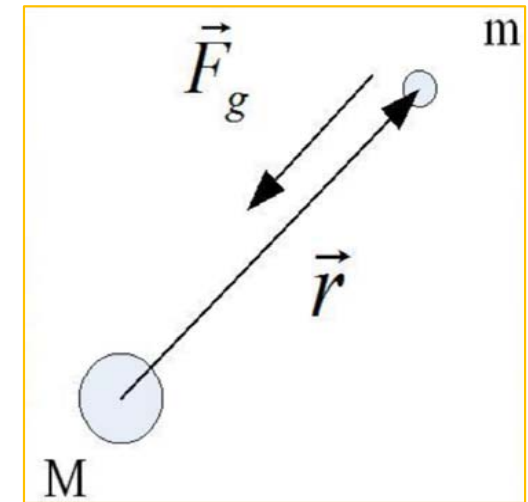
万有引力定律

- 任何两个物体间均有一个相互吸引的力，这个力与它们的质量乘积成正比，与两物体间距离的平方成反比。

$$\vec{F}_g = - \frac{GMm}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

力的方向

力的大小

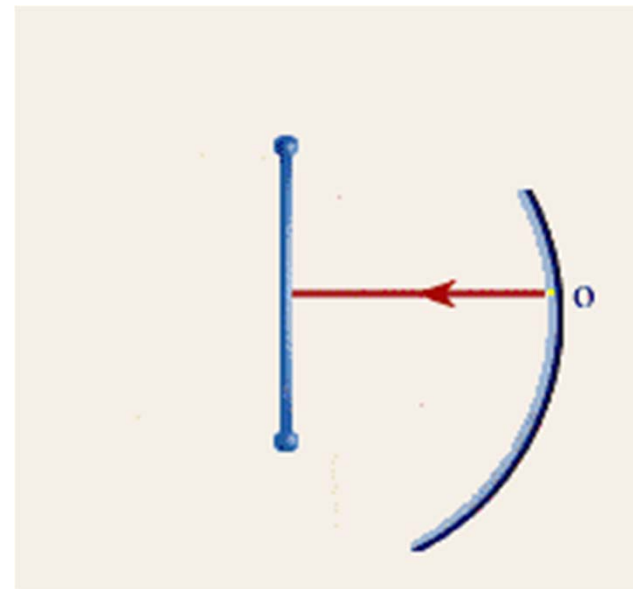


\vec{F}_g 为由于质量 M 引起的作用在质量 m 上的力矢量；
 \vec{r} 为从 M 到 m 的距离矢量。



□ 万有引力常数 G :

- 卡文迪许扭矩试验：万有引力到底有多大，18世纪末，英国科学家卡文迪许决定要找出这个引力





□ 万有引力常数 G :

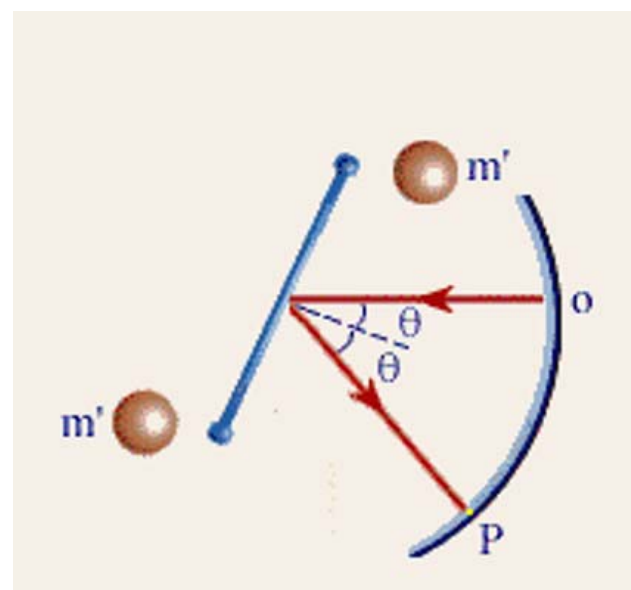
➤ 卡文迪许扭矩试验

卡文迪许的扭秤实验



- 测量结果惊人准确，测出万有引力常数：

$$G = 6.670 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$$





- 由牛顿定律能够完全证明出开普勒各定律。所以如果说开普勒描述了行星运动“是什么”，那么牛顿则回答了行星的运动“为什么是这样”的问题，他们共同阐述了天体运行的自然规律。



西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY



THANKS



13389281325



dzhfeng@xidian.edu.cn

