



航天器控制原理

# 第四讲 轨道力学的基本定律

主讲：周 军

西北工业大学 精确制导与控制研究所





## 第四讲 轨道力学的基本定律

1、开普勒基本定律

2、万有引力定律



航天器控制原理M00C

# 1、开普勒基本定律

天体运动的规律是什么？  
人们一直在不断地探索。





第谷·布拉赫 (Tycho Brahe) 1510年12月  
14日生于丹麦一个贵族家庭。

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  
天文研究工作。



1600年第谷邀请开普勒做助手。次年第  
谷逝世，开普勒接替工作，第谷大量精确  
观测资料为开普勒的工作创造了条件。

德国天文学家约翰·开普勒(Johannes Kepler)是第谷的学生和继承人。

开普勒根据第谷毕生观测留下的宝贵资料，对行星运动进行深入研究，提出了行星运动三定律。

他的行星运动定律“改变了整个天文学”，为牛顿发现万有引力定律奠定基础。

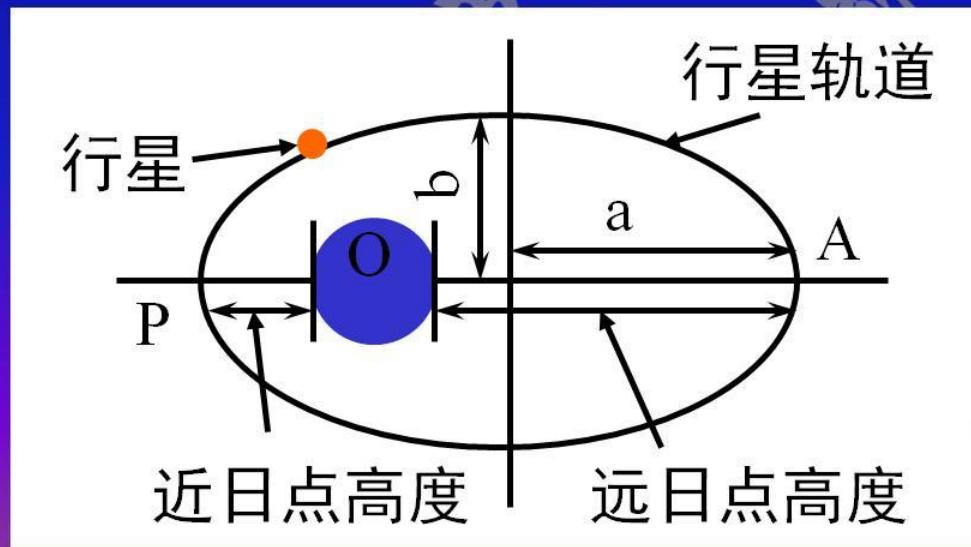




## 1) 第一定律——椭圆律

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。



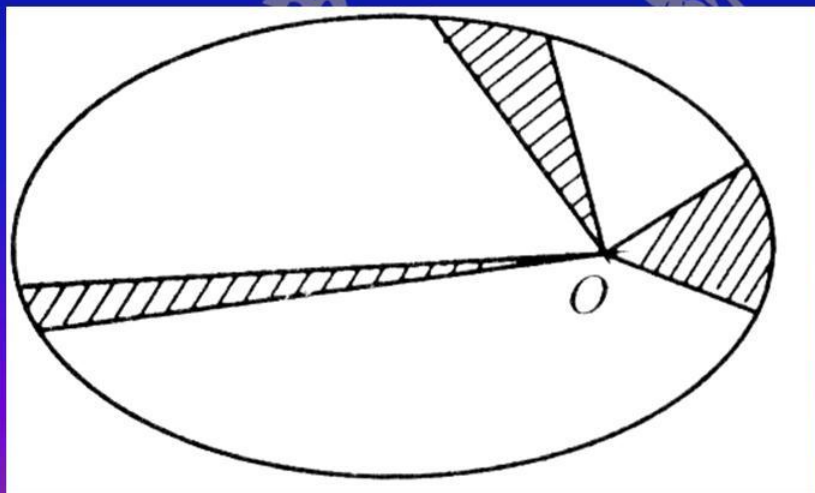
开普勒第一定律

## 2) 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，面积速度守恒。

可表示为：

$$dA/dt = \text{常量}$$



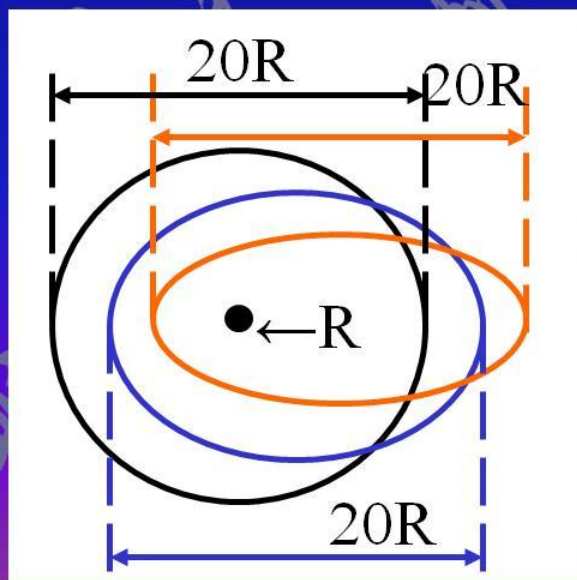
开普勒第二定律

### 3) 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

$$a^3/T^2=K$$

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。



开普勒第三定律





开普勒三大定律：

椭圆律，面积律，周期律

揭示天体运动规律，描述行星  
轨道“是什么”。

却不能回答：行星轨道“为什么”是这样？

牛顿：“如果说我看得远，  
那是因为我站在巨人的肩上”

第谷·布拉赫、约翰·开普勒  
就是托起牛顿的巨人之一。





## 2、万有引力定律

- 1645年，布里阿德假设，从太阳发出的力，和离太阳距离的平方成反比。
- 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，胡克提出了引力反比于距离的平方的假设。

.....

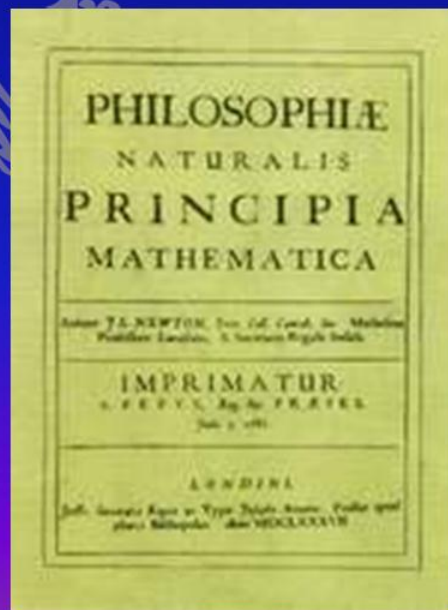




1684年5月，哈雷带着“从平方反比关系得出椭圆轨道结果”的问题专程求助牛顿。

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。



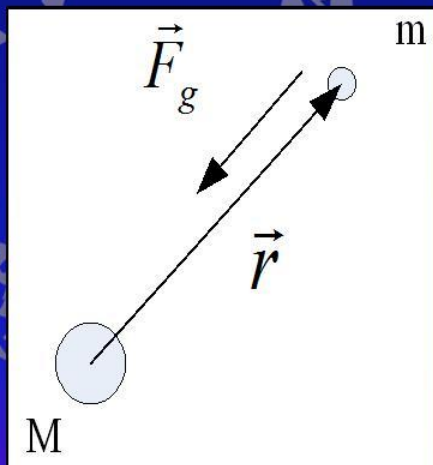


## 万有引力定律定义：

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。

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


力的大小      力的方向



假设：物体为球对称且质量分布均匀，  
把物体看作质量集中在其中心。



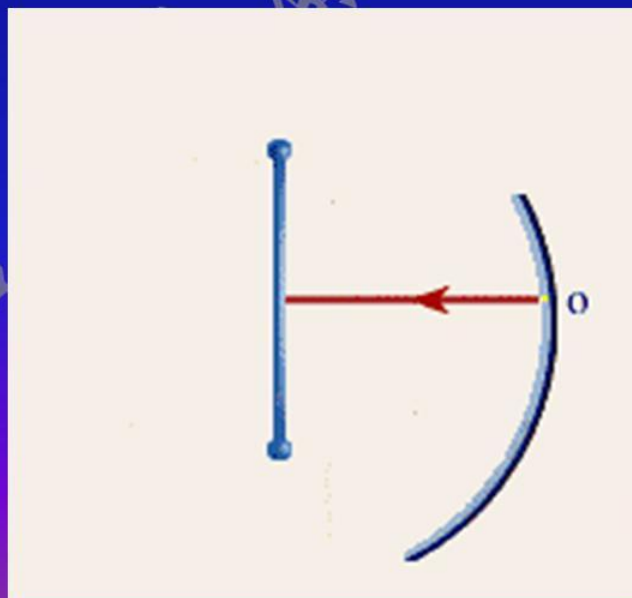
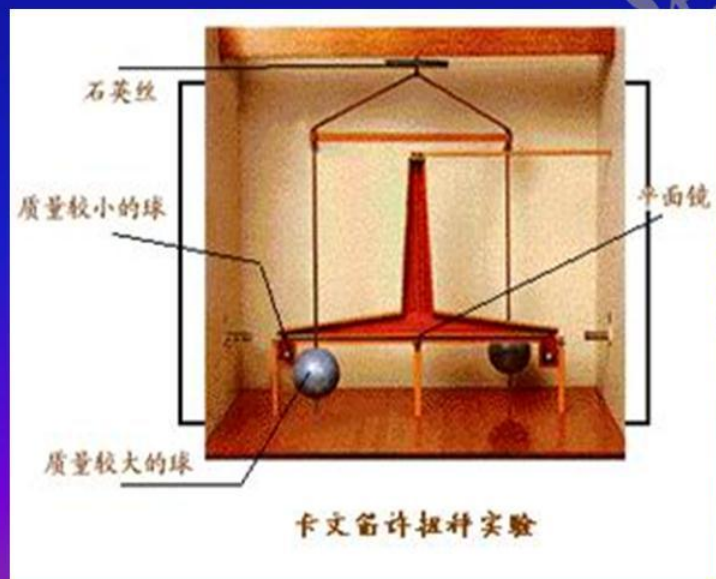
## 牛顿的主要贡献

- 建立微积分：开辟了数学上的一个新纪元。
  - 光学的三大贡献：白光是由各种不同颜色的光组成的；第一架反射望远镜样机；提出了光的“微粒说”，与“波动说”构成了光的两大基本理论。
  - 构筑力学大厦：总结了伽利略、开普勒和惠更斯等人的工作，得到了著名的万有引力定律和牛顿运动三定律。
- 



## 万有引力的相关参数

卡文迪许扭矩实验：万有引力到底多大？18世纪末，英国科学家亨利·卡文迪许决定要找出这个引力。







## 万有引力的相关参数

卡文迪许扭矩实验：万有引力到底多大？18世纪末，英国科学家亨利·卡文迪许决定要找出这个引力。

测量结果惊人准确，测出万有引力参数

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

在此基础上计算地球的质量。

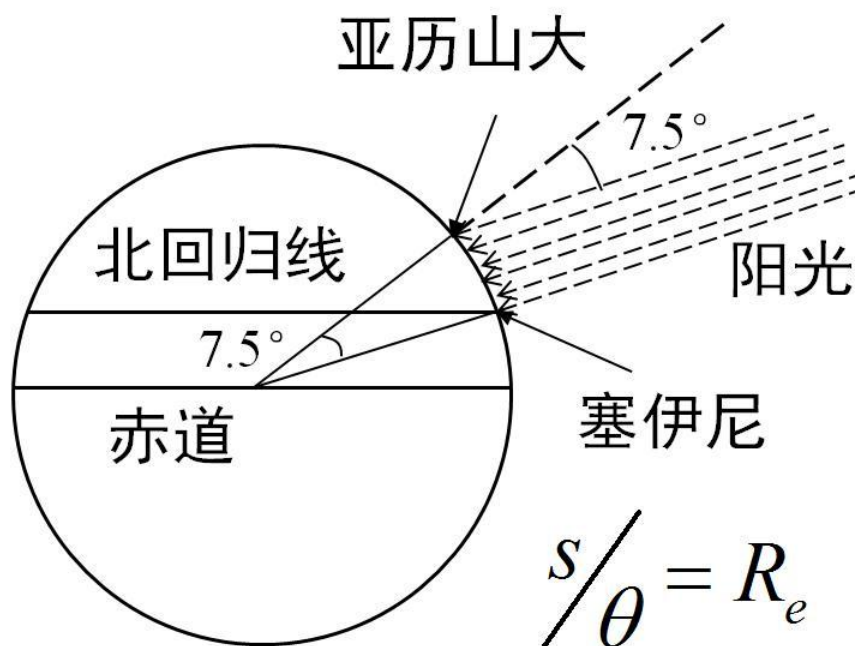
$$F_g = \frac{GMm}{r^2} = ma$$


# 地球圆周长测量

公元前三世纪，古希腊埃拉托色尼测量地球圆周长。



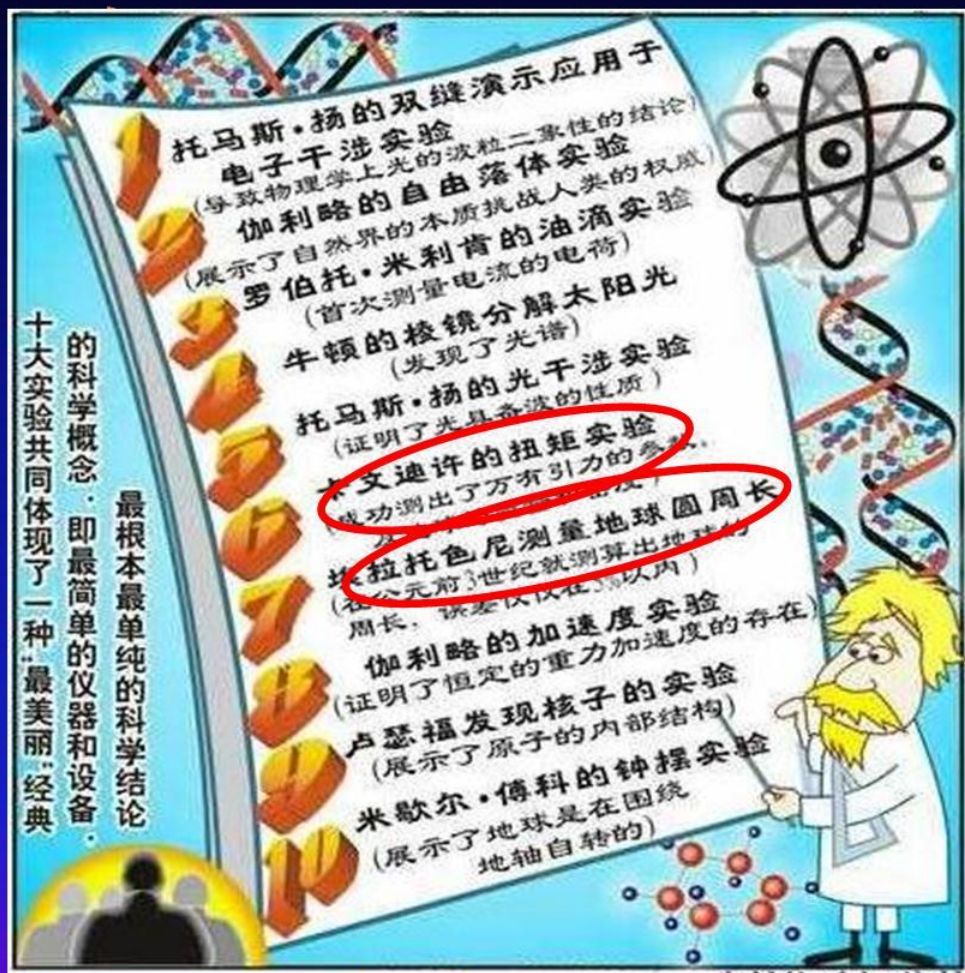
埃拉托色尼



今天，我们知道埃拉托色尼的测量误差仅仅在5%以内。



# “最美丽”的十大物理实验



最简单的仪器和设备，发现了最根本、最单纯的科学概念。