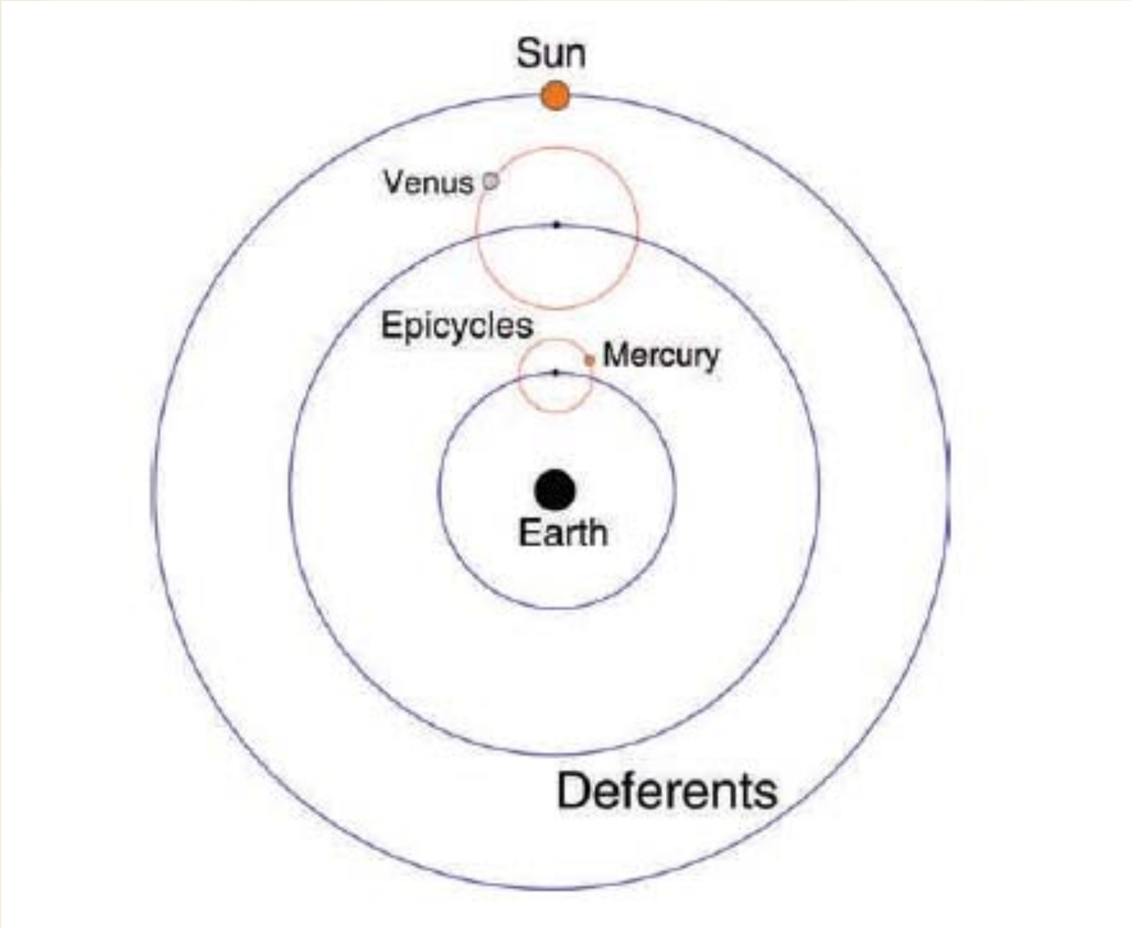
第一章:天文学—观测科学

- 本章内容：
  - 天文学特点：既古老又年轻、（几乎）只能观测
  - 天文学优点：极端状态
    例如：强引力 ← Einstein的广义相对论
  - 16世纪两个主要的观测成就
    - 日心说（← 地心说）
      -- 穿插介绍星座、星等、天球坐标系、时间的概念
    - 行星的运动规律
      -- 开普勒三大定律
      -- 牛顿力学理论 → Einstein的广义相对论

托勒密的地心说

- 本轮（epicycle）
- 均轮（deferent）
- 太阳与行星绕地球的角速度一样
- 可以解释行星的退行（retrograde motion）
- 可以解释金星与水星随太阳的运动



地心说中，水星比金星离地球近？

星等

- 星表：Hipparchos（依巴谷）, 130-160 BC;
  《甘石星经》更早约200年，121个星；
  Ptolomy（托勒密）：150 AD, 1028个星
- Hipparchos将裸眼可见的星按亮度分为1-6等
  - 1等星亮，6等星暗
  - 差1等星：约2.5倍；差5等星：约100倍
- Norman Pogson （Oxford）给出定义：1854

$$R^5 = 100$$

$$\log_{10} R = 2/5 = 0.4$$

$$R = 10^{0.4} = 2.512$$

参考星（0等）：Polaris（北极星，变星）→ Vega（织女星）

- 视星等:
  - -仿视星等
  - -色星等

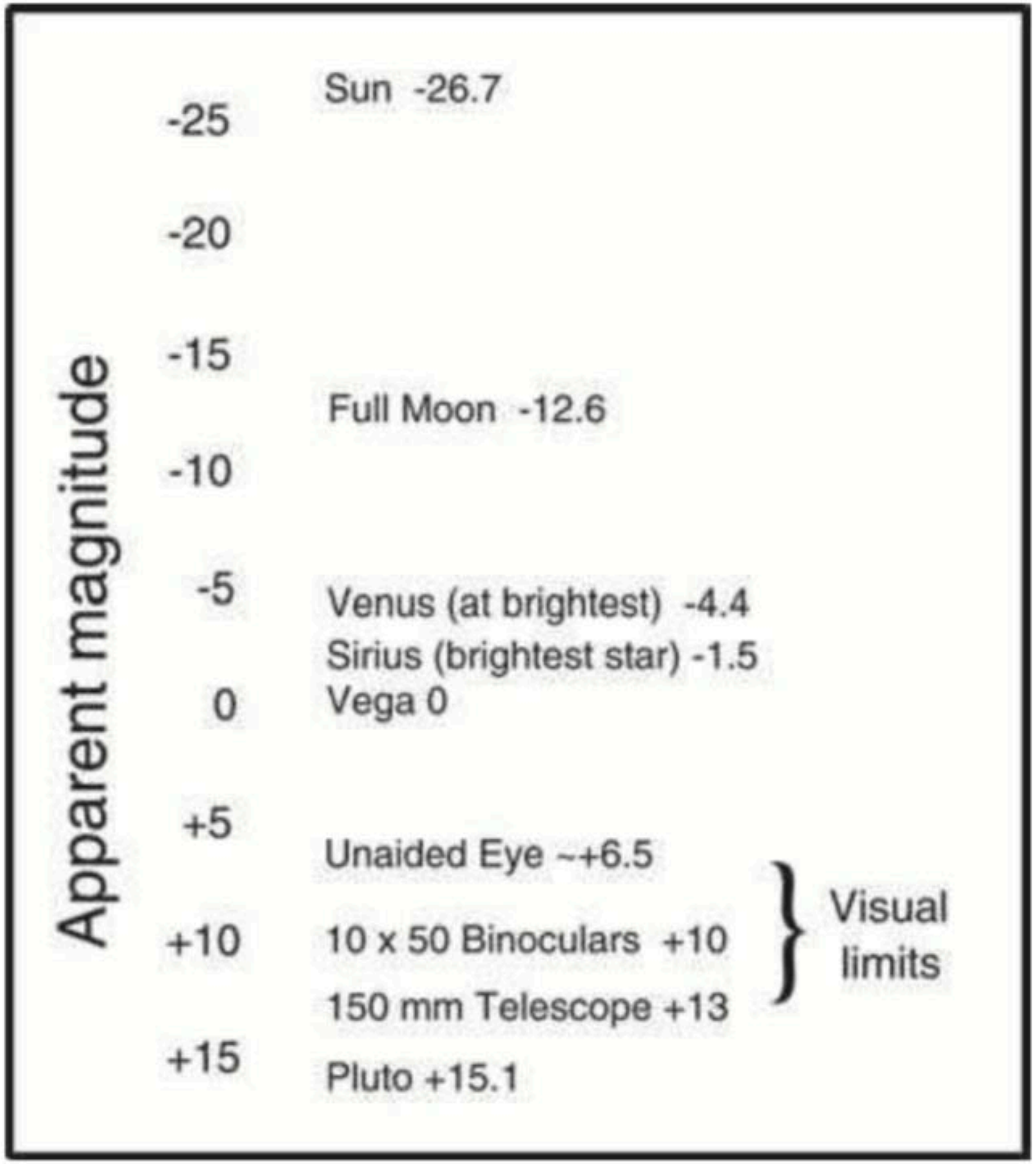


Figure 1.5 Some examples of apparent magnitudes.

❖ 星等的计算

$$R = 2.512^{\Delta m}$$

$$\mathrm{Log}_{10} R = \mathrm{Log}_{10}(2.512) \times \Delta m$$
$$\mathrm{Log}_{10} R = 0.4 \times \Delta m$$
$$\Delta m = \mathrm{Log}_{10} R / 0.4$$
$$\Delta m = 2.5 \times \log_{10} R$$

月亮与太阳亮度差：

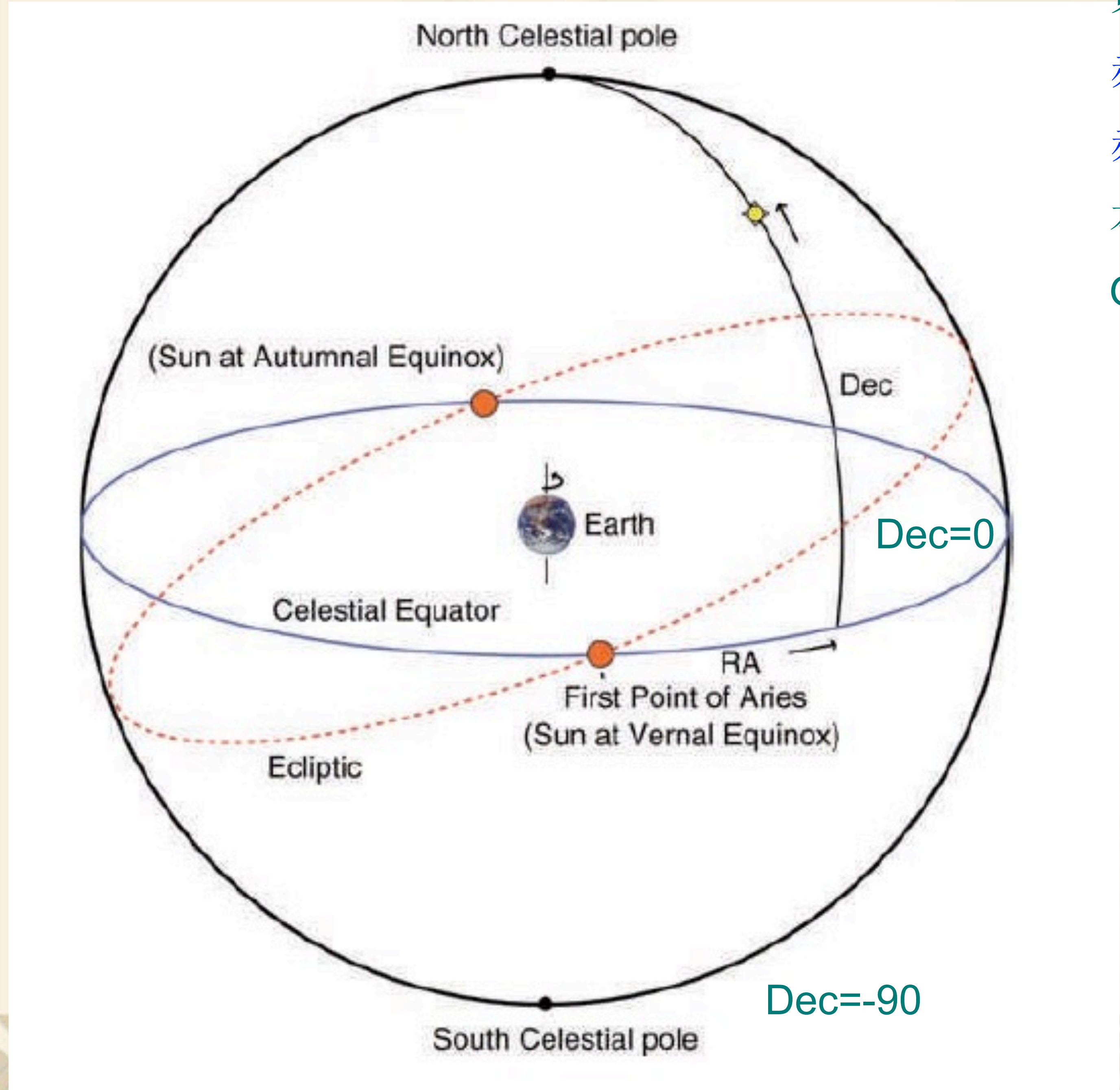
$$R = 2.512^{14.1} = 436\,800$$

两天体亮度差10000倍：

$$\Delta m = 2.5 \times \log_{10}(10\,000) = 2.5 \times 4 = 10$$

天球坐标系

Dec=90



黄赤交角：23.5度

赤纬(DEC):Declination

赤经(RA): Right Ascension

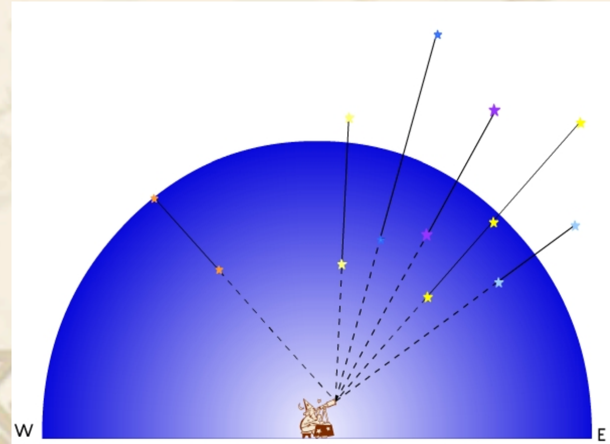
本初子午线(Prime Meridian):

Greenwich 天文台

RA以春分点为原点（恒星时为0）往东进行计量，常以时间(**恒星时**)为单位

24h=360度

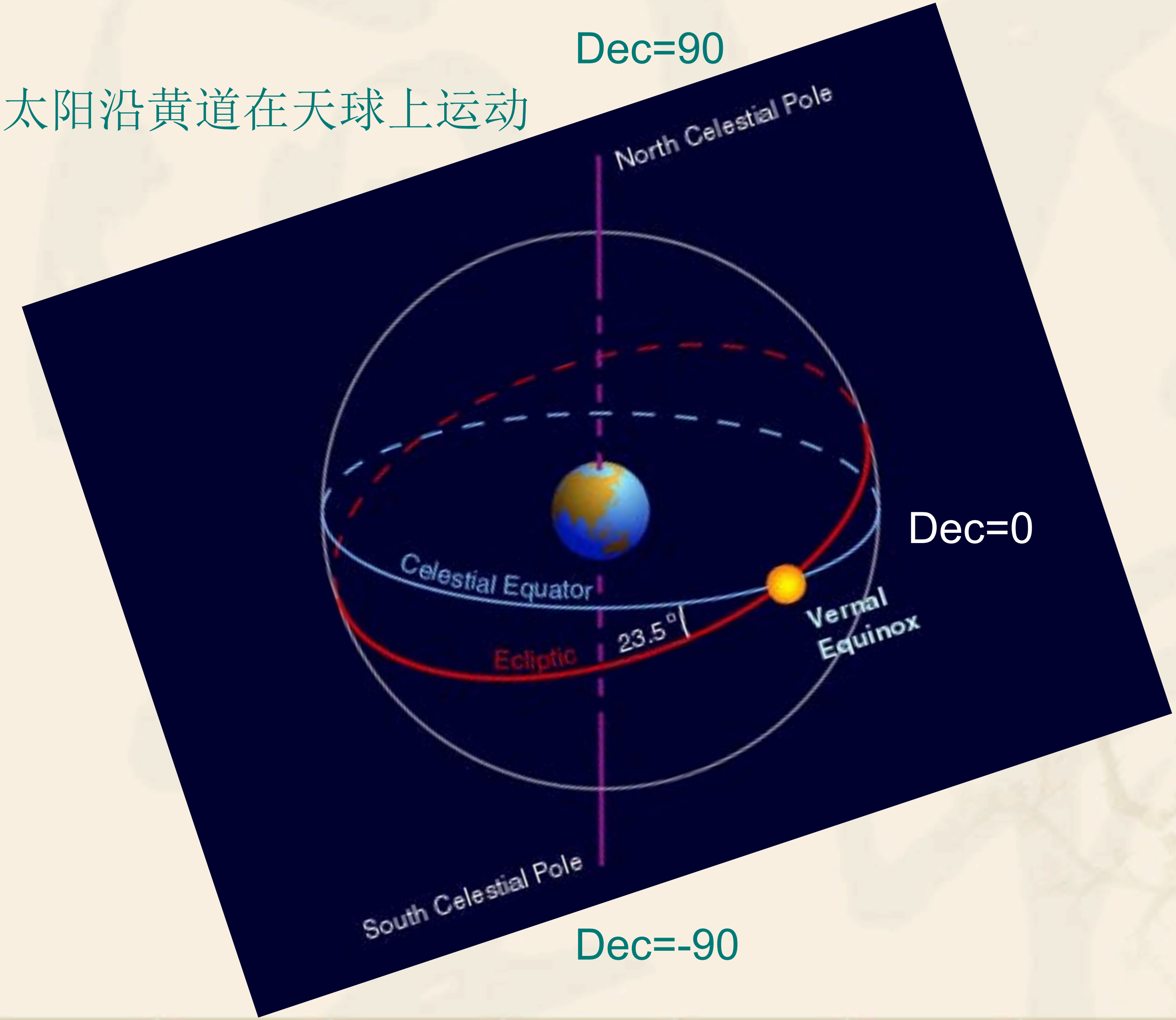
1度=60角分=3600角秒



天球坐标系

太阳沿黄道在天球上运动

Dec=90



Dec=0

Dec=-90

假想圆球：

1、与直观感觉相符的科学抽象

2、天体在天球上的位置只反映天体视方向的投影

3、天球上任意两天体的距离用其角距表示

4、地面上两平行方向指向天球同一点（恒星的光是平行光）

5、任意点为球心

6、观测者“由内向外”看

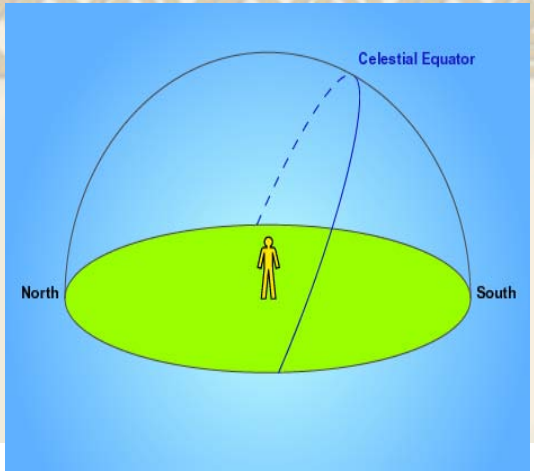
RA=恒星时，一般以时间为单位

24h=360度

春分、夏至、秋分、冬至

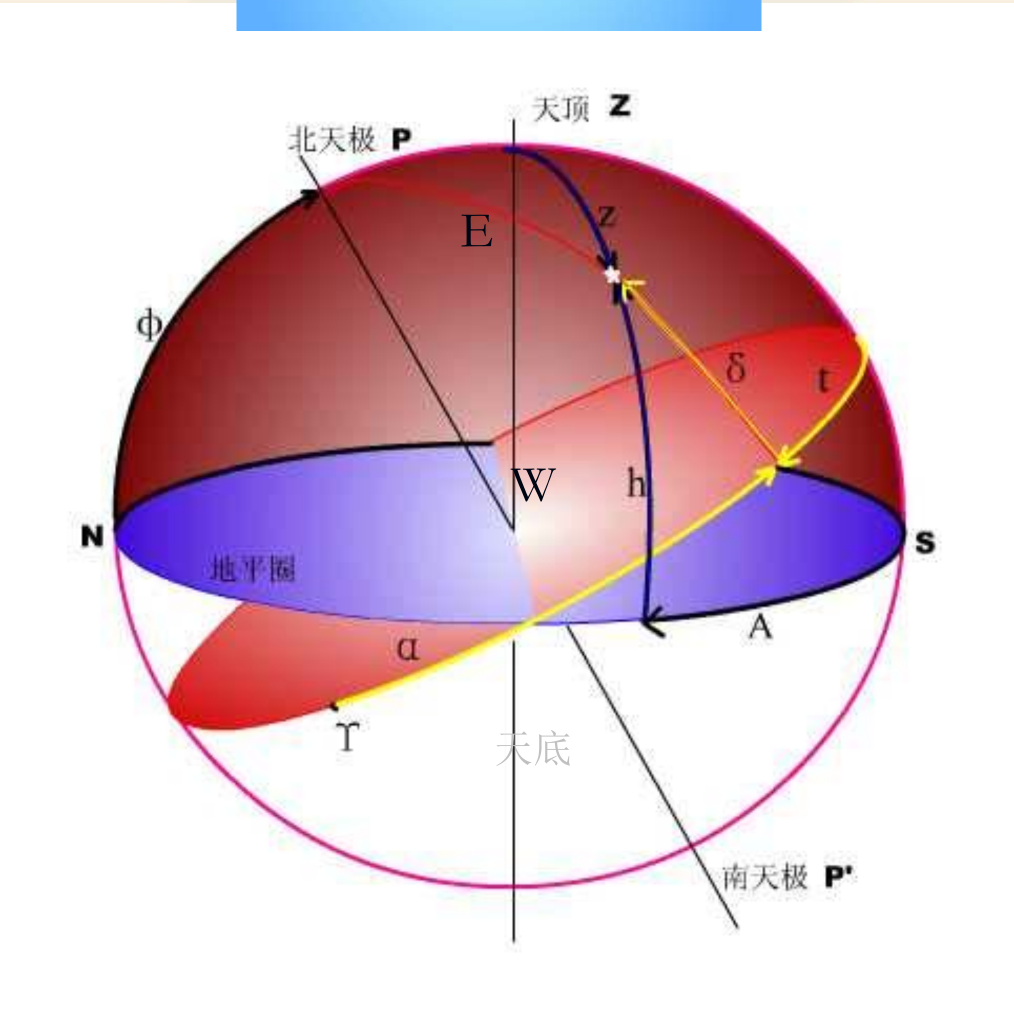
球面天文学

天顶(zenith)：Z 过天球中心做一直线与观测点的铅垂线平行，交天球于两点，位于观测者头顶的一点称天顶。



天底(nadir)：Z' 与天顶相对的另一交点为天底。

真地平(horizon)：过天球中心做一与铅垂线垂直的平面，与天球相交的大圆为真地平（地平圈）。



天子午圈：过天极和天顶的大圆。

恒星过天子午圈时的恒星时=赤经

gamma：春分点
h：地平高度
Z=90°-h：天顶距
alpha：赤经
delta：赤纬

❖ 岁差（Precession，地球的进动）

进动周期：~26000 年（星表：指明时间“J2000.0”）

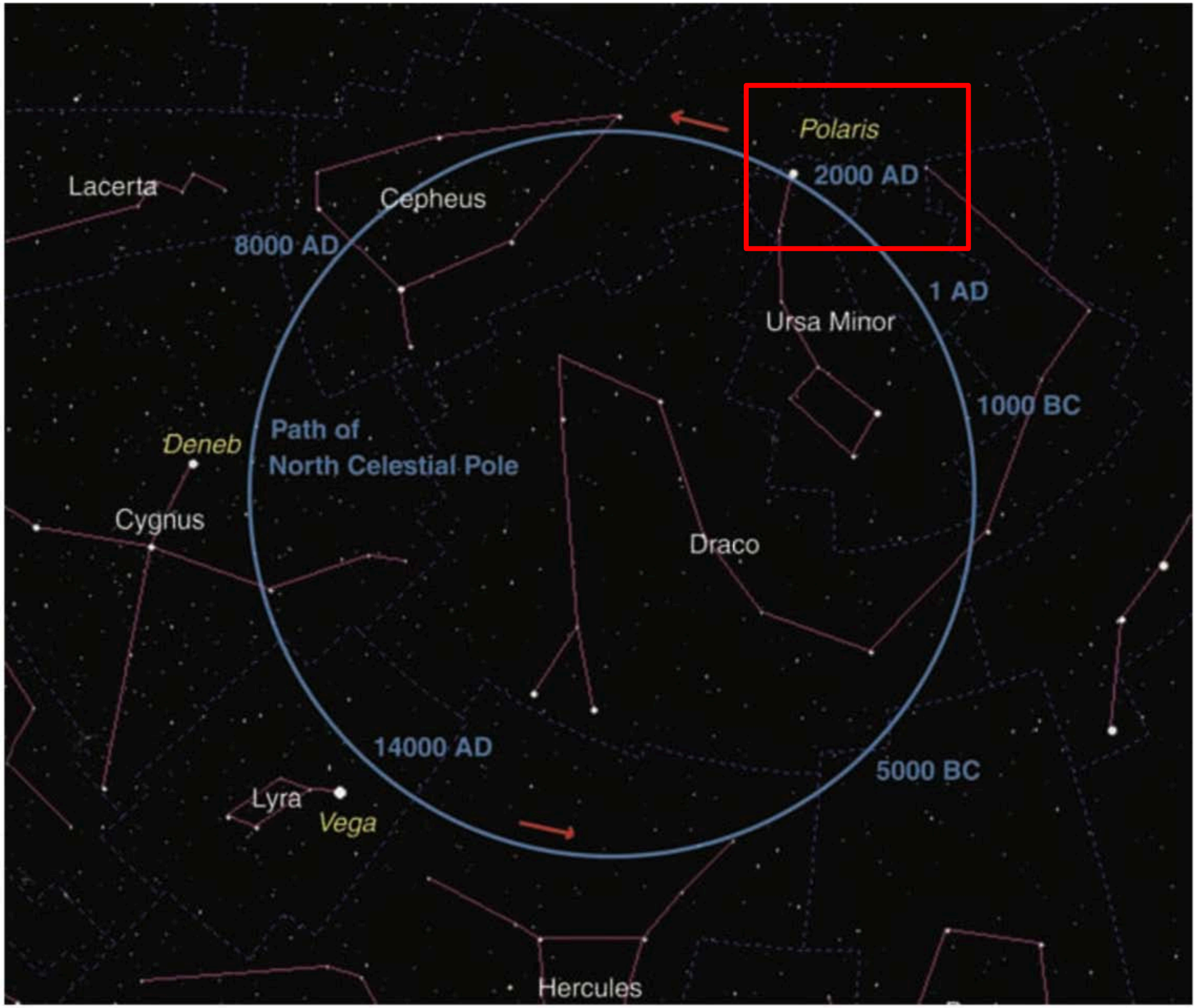


Figure 1.7 The path of the North Celestial Pole through the heavens.

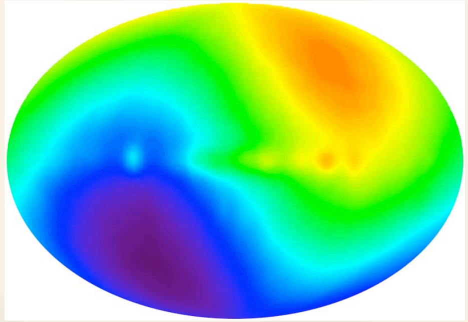
时间

- **当地太阳时：** 太阳两次过同一位置（天顶）的时间差，（定义为约）24小时；各地时间不同
- **格林尼治时间（GMT）：** 地球轨道椭圆，日长变化，定义２４小时为一年中天的平均长度
- **时间方程：** GMT和格林尼治天文台当地太阳时之间的差别
- **世界时（UT）：** 1928年UT取代GMT，但直到1967年秒的定义发生变化时才真正有别于GMT
- **原子钟（Cs）：** 铯133原子超精细能级间跃迁周期的**9 192 631 770**倍为1秒；地球自转变慢→闰秒
- **恒星时：** 以遥远恒星为标准（恒星平行光），由于地球公转，所以恒星日比太阳日短一些，为23h56m4.09s

❖ 宇宙时：绝对时间标准

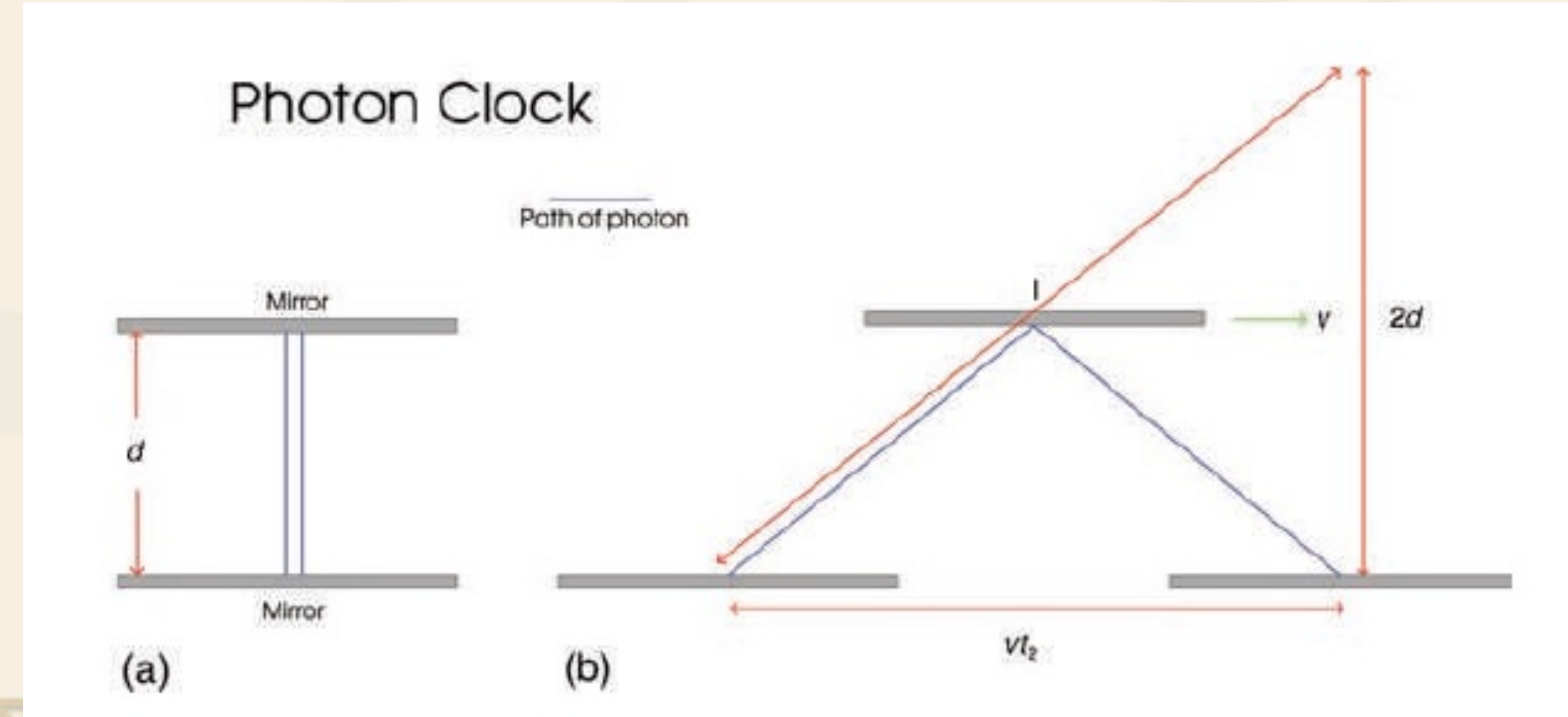
地球相对宇宙微波背景的运动速度

朝向Leo（狮子座）, v ~ 650km/s



时间膨胀（time dilation）：动钟变慢(GPS修正)

（Einstein）光钟



❖ 光钟: 秒定义为光子一个往返（对比静钟和动钟里秒的长度）

$$t_1 = 2d/c$$

$$l = [(2d)^2 + (vt_2)^2]^{1/2}$$

$$t_2 = l/c = [(4d^2 + v^2t_2^2)/c^2]^{1/2}$$

$$t_2^2c^2 = 4d^2 + v^2t_2^2$$

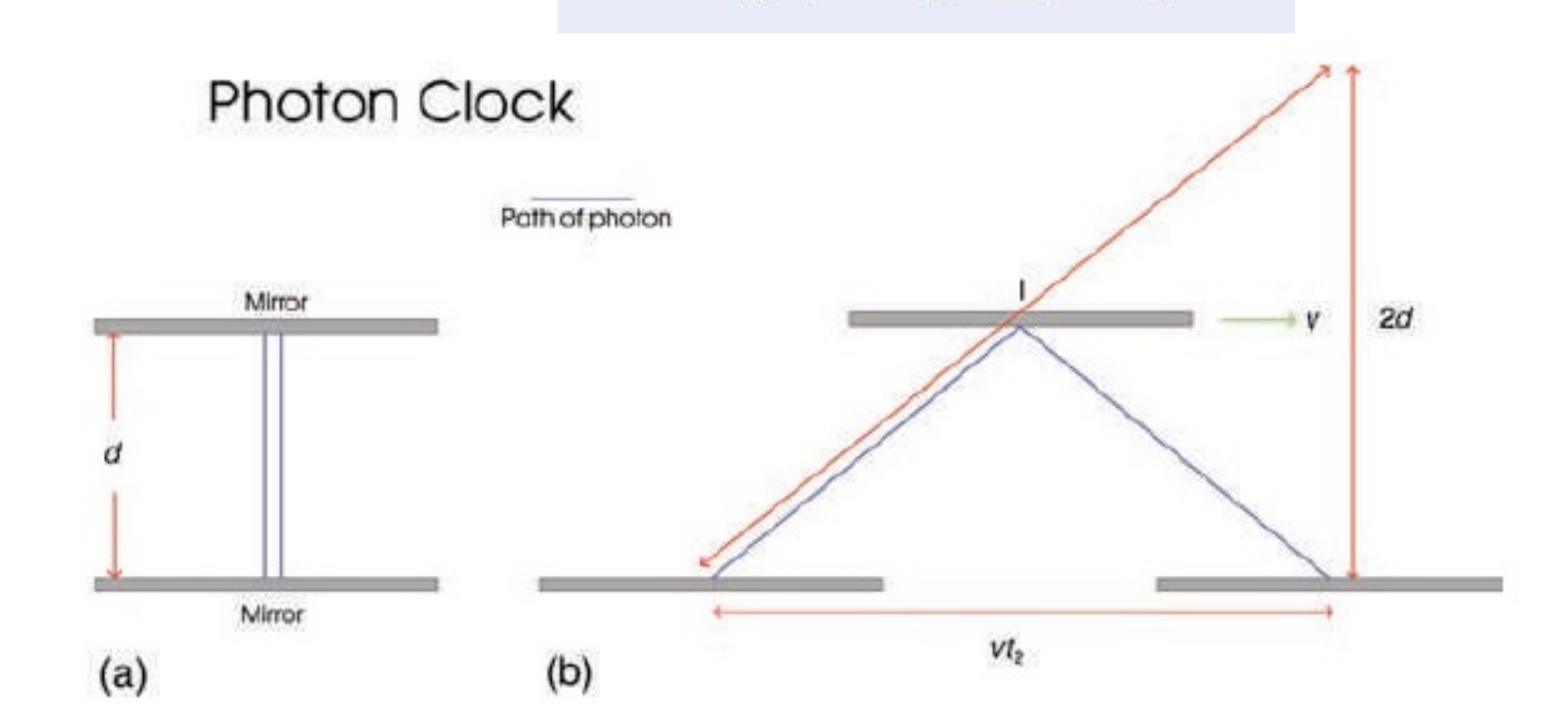
$$t_2^2c^2 = t_1^2c^2 + v^2t_2^2$$

$$t_2^2(c^2 - v^2) = t_1^2c^2$$

$$t_2/t_1 = [c^2/(c^2 - v^2)]^{1/2}$$

$$t_2/t_1 = 1/[1 - (v^2/c^2)]^{1/2}$$

t2/t1=1.0000023



地球经纬度与赤经赤纬区别关键点：
1、原点不同：
Greenwich vs 春分点；
2、刻度不同：24h vs 23h56m4.09s；
3、不同纬度测DEC结果一致，因为对于同一天体而言Elevation+Latitude=const；
4、RA：地球自转，赤经为恒星穿越天子午线-——过天极和天顶的子午圈---所对应的恒星时。

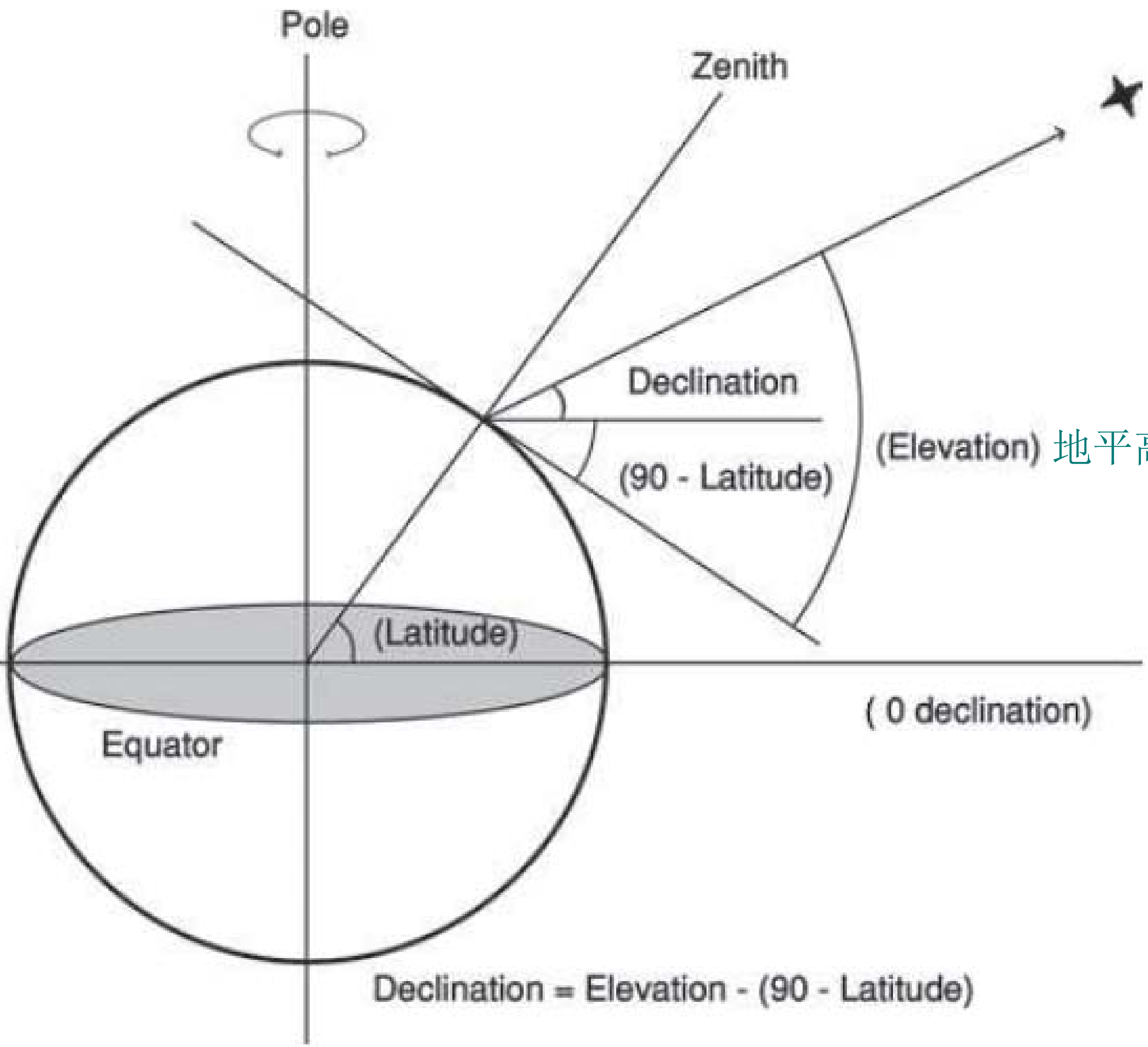


Figure 1.12 The geometry showing how the declination of a star is derived. The zenith is the point directly above the observer.

周期定律

Keplerian第三定律：

$$T^2 \propto a^3$$

$$T^2 = k \times a^3$$

（地球：T=1年，a=1AU ➔ k=1）

例如：谷神星

（T=4.60年）

$$a = T^{2/3}$$

giving $a = 2.77$AU.

月亮距离地球的距离：

（a=384400km,T=27.32d）

$$k = (27.32)^2/(384\,400)^3 = 1.314 \times 10^{-14}.$$

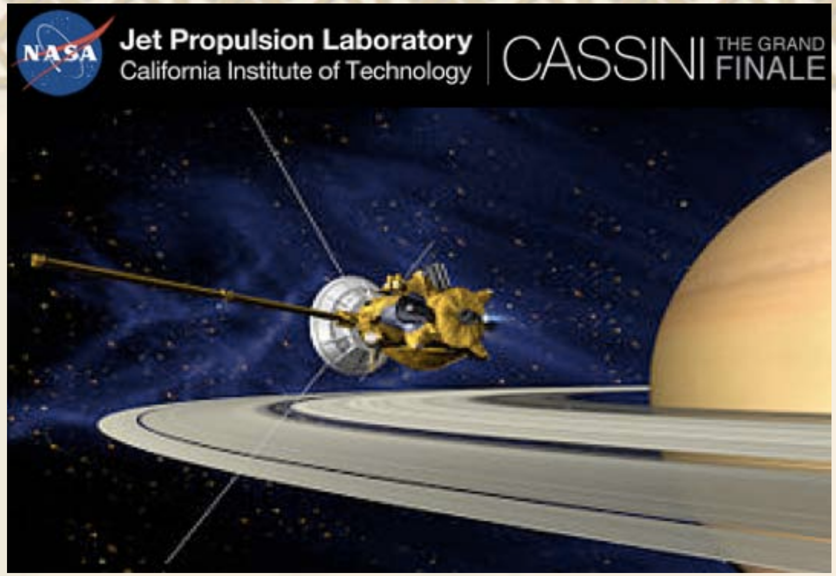
地球同步轨道卫星：

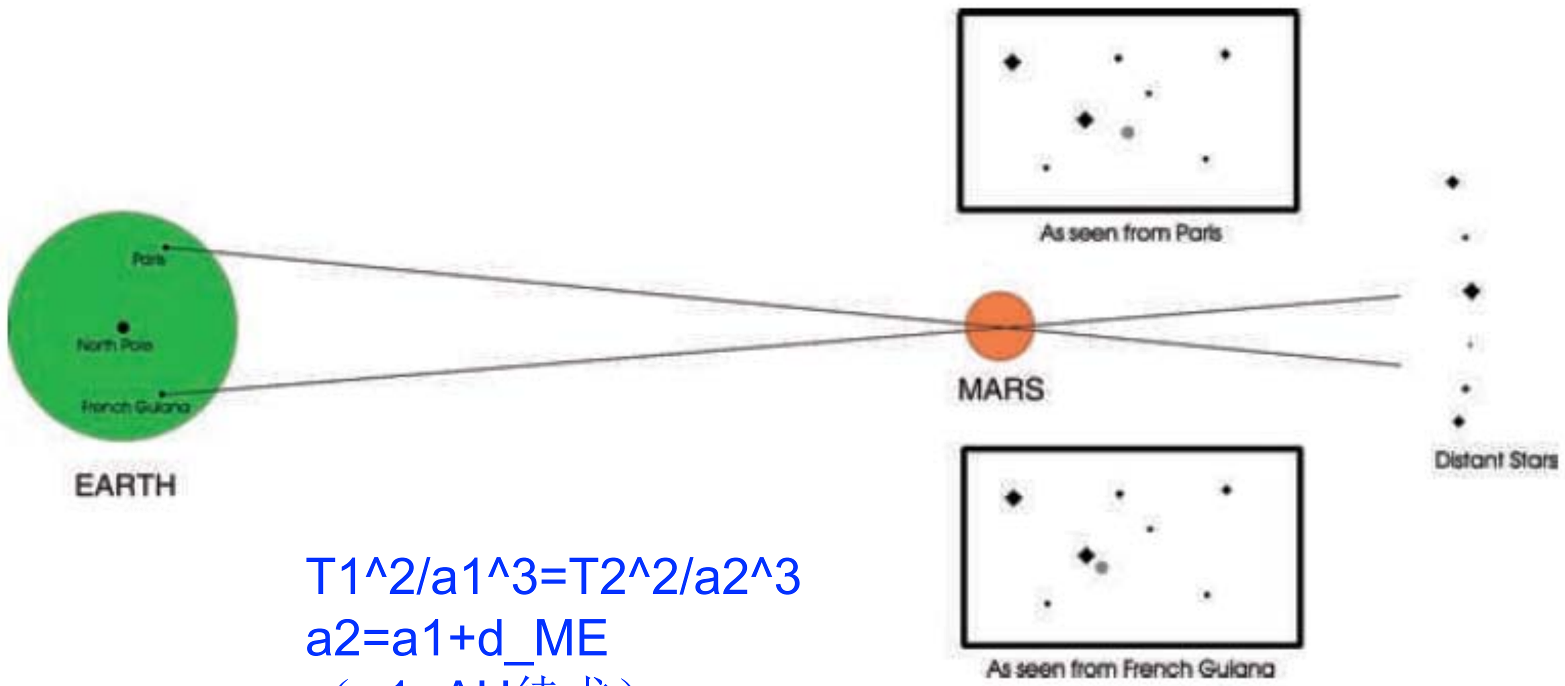
（T=1d）

$$1 = k \times a^3$$

$$a = (1/k)^{1/3} = 42\,377\text{km}.$$

- 日地距离（AU）测量：周期定律
  1AU=149 597 870.691 km
  - 三角视差法：地球-火星距离
    -- 1672：卡西尼等人
  - 金星凌日：地球-金星距离





T1^2/a1^3=T2^2/a2^3
a2=a1+d_ME
（a1=AU待求）

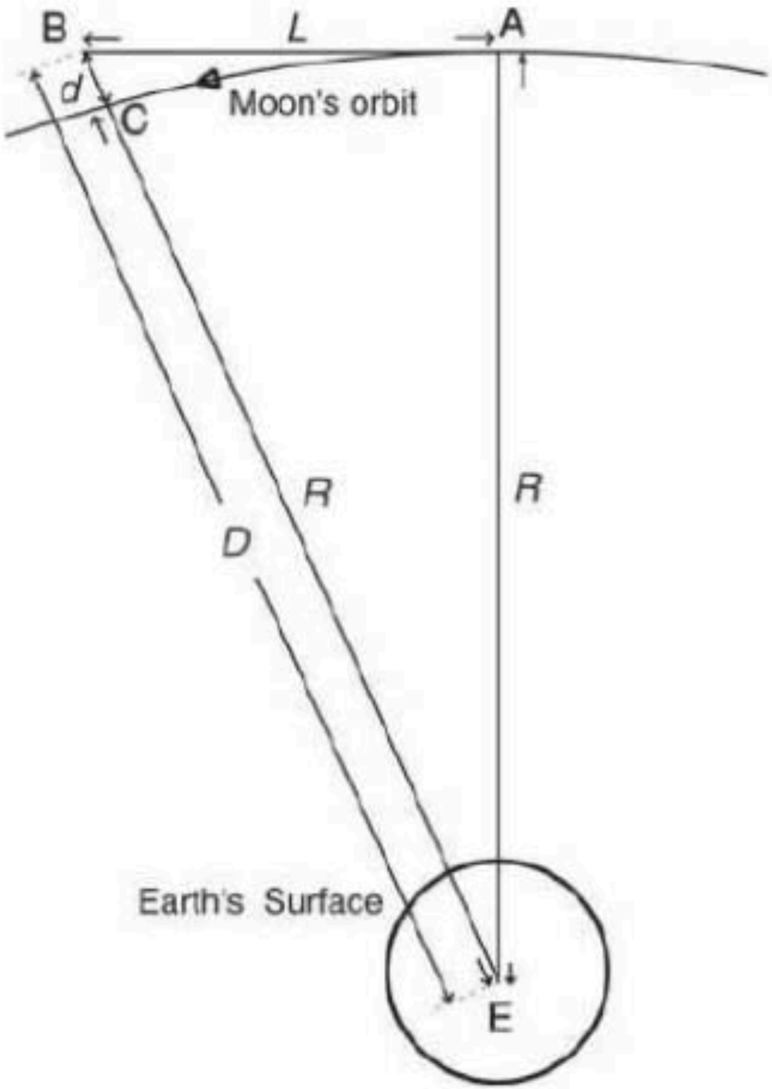


Figure 1.18 Geometry of the Earth–Moon system.

在1秒的时间里：

$\theta = (1/2.36\times10^6)\times2\times\pi = 2.66\times10^{-6}$ rad.
$L = 1.022$ km.

（月球公转周期27.32天=2.36E6秒）

$$d = D - R = R/\cos\theta - R = R\,[(1/\cos\theta) - 1].$$

$$1/\cos\theta = 1 + (\theta^2/2).$$

$$\begin{aligned} d &= R\times\theta^2/2 \\ &= [3.84\times10^8\,\text{m}\times(2.66\times10^{-6})^2]/2 \\ &= 1.36\times10^{-3}\,\text{m}. \end{aligned}$$

g_m is $0.00272\,\text{m}\,\text{s}^{-2}$.

$$g_m/g_e = \frac{1}{3606} = \left(\frac{R_e}{R}\right)^2$$

$$F \propto M_1 M_2/d^2$$

$$F = G \times M_1 M_2/d^2$$

开普勒第三定律的推导：

$$a = v^2/r$$

$$F = m\,a$$

$$m_p v^2/r = G\,m_s m_p/r^2.$$

Cancelling m_p and r, we get:

$$v^2 = G\,m_s/r$$

The period P of the orbit is simply $2\pi r/v$, so $v = 2\pi r/P$.

Thus, $$4\pi^2 r^2/P^2 = G\,m_s/r$$

Giving: $$4\pi^2 r^3 = G\,m_s P^2$$

($m_s >> m_p$；近似为圆周运动）

Dividing both sides by Gm_s and swapping sides gives:

$$P^2 = (4\pi^2/Gm_s)r^3.$$