

# 2009年第三届IOAA试题

## 理论试题

IOAA组委会 供稿/朱进、陈冬妮 翻译

比赛地点：伊朗 德黑兰

### 短问题

1、请估算一个质量为 $1 \times 10^8 M_{\odot}$ 的超大质量黑洞其史瓦西半径内的平均质量密度。

**解答** 质量为M的黑洞，其史瓦西半径为： $R = 2GM/C^2$ ，平均质量密度可以估算为：

$$\rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi \frac{8G^3 M^3}{c^6}} = \frac{3c^6}{32\pi G^3 M^2} = 1.85 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

2、请估算人眼(按一只眼睛算)每秒钟能够接收到的、从一颗视星等为6等( $m=6$ ，人眼的极限星等)、光谱型为G2的主序星发出的波长 $\lambda = 550\text{nm}$ (V波段)的光子数。假定人眼的瞳孔直径为6mm，这颗恒星的全部辐射都在 $\lambda = 550\text{nm}$ 波长处。

**解答** 太阳是光谱型为G2的恒星。根据 $m_1 - m_2 = -2.5 \log(f_1/f_2)$ ，视星等为 $m = 6$ 等的恒星的辐射流量为：

$$6 - (-26.8) = -2.5 \log \frac{f_1}{1.37 \times 10^3} \\ \Rightarrow f_1 = 1.04 \times 10^{-10} (\text{w/m}^2)$$

波长为 $\lambda = 550\text{nm}$ 的光子能量为：

$$E_p = h\nu = hc/\lambda = 3.62 \times 10^{-19} \text{ J}$$

那么每秒钟到达我们眼睛的光子数目为：

$$N = \frac{f_1 \pi r_e^2}{E_p} = 8 \times 10^3 \text{ 个}$$

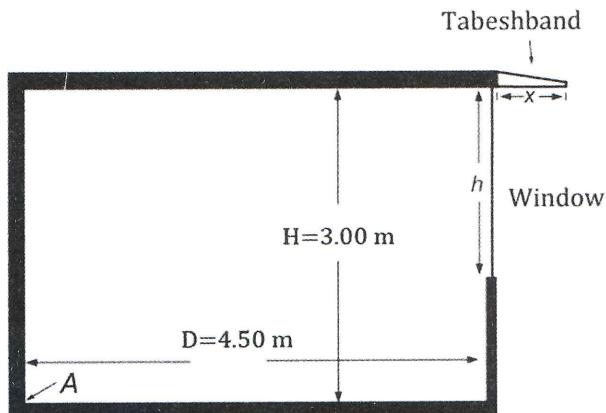
3、请估算一个普通地球男性垂直向上跳起就能够逃离的行星的半径。假定该行星的密度与地球的一样。

**解答** 普通男子在地球表面大约可以垂直跳

起50cm的高度，初速度为： $v_0 = \sqrt{2gh} = 3.13 \text{ m/s}$ 。与行星的逃逸速度相比： $v_1 = \sqrt{2GM/R}$ ，二者相等，因此有：

$$v^2 = \frac{2GM}{R} = \frac{8\pi G}{3} \rho R^2 \Rightarrow R = 2 \times 10^3 \text{ m}$$

4、在典型的波斯建筑中，在南面窗户的顶部会安装一个特别的结构，称为Tabeshband(也就是遮阳蓬)，可以控制冬天和夏天射入房间的阳光。夏季太阳在天空的位置高，遮阳蓬可以阻止阳光进入房间保持室内凉爽。在现代建筑中，已经证明这样的遮阳蓬可以节约大约20%的能源消耗。下图给出了在北纬36.0°处这样一个遮阳蓬和窗户的侧向设计图。利用图中给出的参数，计算要建造的Tabeshband遮阳蓬的最大宽度x，以及与此对应的窗户的最大高度h，x和h需要满足以下两个条件：



1) 在夏至那天的中午，确保没有太阳光能够直射照进室内。

2) 在冬至那天的中午，太阳光可以射到屋子的最深处(图中A点表示)。

**解答** 夏至时太阳的天顶距为： $z_s = \phi - 23.5^\circ = 12.5^\circ$ ，冬至时为： $z_w = \phi + 23.5^\circ = 59.5^\circ$ 。根据图示，在夏至日和冬至日，我们知道：

$$\tan(z_s) = \frac{x}{h} = 0.222, \tan(z_w) = \frac{D+x}{H} = 1.70$$

所以 $x = 1.70H - D = 0.59\text{m}$ ,  $h = 2.67\text{m}$ 。

5、Damavand山位于伊朗北部，Caspian海的南岸。假定有个观测者站在Damavand山顶上(北纬35°57'，东

经 $52^{\circ}6'$ , 海拔高度为 $5.6 \times 10^3$ 米)观测Caspian海上方的天空。请计算对于这个观测者来说, 他刚好能够看到的永不下落天体的赤纬最小值。在该纬度处地球的测地半径为6370.8km。Caspian海的海平面近似等于平均海平面。

**解答** 要精确计算永不下落天体的赤纬最小值, 必须考虑两个主要效应: 1) 地球大气折射, 在地平处大约为 $\gamma = 34'$ ; 2) 地球表面是球面引起的弯折角:

$$\cos \theta = \frac{R}{R+h} \Rightarrow \theta = 2^{\circ}24'$$

最小赤纬值为:

$$\delta_{\min} = 90^{\circ} - \phi - \gamma - \theta = 51^{\circ}5'$$

6、请导出从原恒星云中心处发射的物体其逃逸速度与原恒星云质量和半径的关系式。假设原恒星云的密度均匀, 质量为 $M$ , 半径为 $R$ 。忽略原恒星云粒子与被发射天体间的碰撞。如果允许该物体从原恒星云的表面自由下落, 它将以 $\sqrt{GM/R}$ 的速度到达原恒星云的中心。

**解答** 计算分子云中心的势能, 令 $\phi(\infty) = 0$ , 对等密度的球质量分布, 对 $r=0$ 有:

$$\phi(r=0) = -\frac{3}{2} \frac{GM}{R}$$

为了从分子云逃出, 粒子应具有的总能量为0:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 + m\phi(r=0) = 0 \Rightarrow v_e = \sqrt{\frac{3GM}{R}}$$

7、一个学生想利用地球自转确定他(她)的望远镜目镜的视场(FOV)。为了完成这个任务, 他将望远镜指向织女星(天琴 $\alpha$ , 赤经 $18.5^h$ , 赤纬 $+39^{\circ}$ ), 同时关闭跟踪, 测量织女星经过整个视场直径的时间 $t = 5.3$ 分钟, 请计算望远镜的视场大小, 以角分为单位。

**解答** 如果望远镜的视场为 $\beta$ , 我们有:

$$ss' = R\beta = r\phi = R(\cos \delta)\phi \Rightarrow \beta = \phi \cos \delta$$

由于地球自转, 织女星在视场中以恒定的角速度运动:  $\omega = 2\pi/86164 = 7.29 \times 10^{-5}$ (rad/s), 望远镜的视场为:

$$\beta = \phi \cos \delta = \omega \cdot t \cos \delta = 0.0180 \text{ (rad)} \approx 62 \text{ 角分}$$

8、估算一个球状星团的质量, 假设其半径为 $r = 20\text{pc}$ , 恒星的均方根速度为 $v_{rms} = 3\text{km/s}$ 。

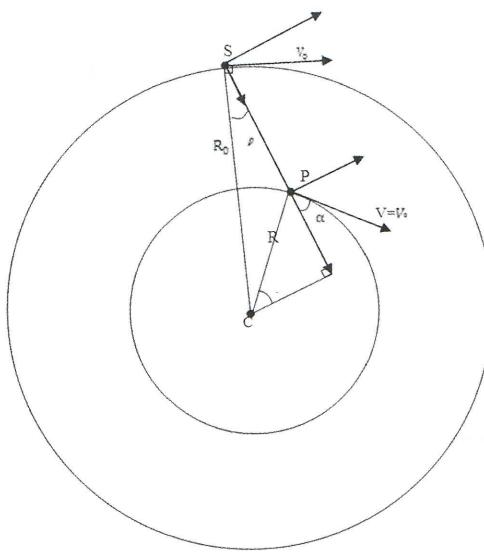
**解答** 由维里定理(Virial condition):

$$2\langle T \rangle = -\langle W \rangle$$

其中 $\langle T \rangle$ 和 $\langle W \rangle$ 分别是平均动能和势能。

$$M = \frac{Rv_{rms}^2}{G} = 8.34 \times 10^{41} \text{kg} = 4.19 \times 10^{11} M_{\odot}$$

9、某恒星的银经为 $l = 15^{\circ}$ , 它相对于太阳的视向速度为 $v_r = 100\text{km/s}$ 。假设它们与其他也同样在银盘上的恒星都以恒定的速度 $v_0 = 250\text{km/s}$ 绕银心作圆周运动。请计算该恒星离银心的距离。



**解答** 如上图, S代表太阳,  $R_0$ 和 $V_0$ 分别为太阳相对于银河系中心的距离和速度。P点为恒星, 距离和速度分别表示为 $R$ 和 $V = V_0$ 。恒星相对于太阳的速度为:

$$V_r = V \cos \alpha - V_0 \sin l = V_0(\cos \alpha - \sin l)$$

解三角形SCP:

$$\frac{\sin l}{R} = \frac{\cos \alpha}{R_0} \Rightarrow \cos \alpha = \frac{R_0}{R} \sin l$$

与前面的方程联立可得:

$$R = R_0 \frac{V_0 \sin l}{V_r + V_0 \sin l} = 3 \times 10^3 \text{ pc}$$

10、一颗主序星的半径为 $R = 4R_{\odot}$ , 质量为 $M = 6M_{\odot}$ , 平均磁场强度为 $1 \times 10^{-4}\text{T}$  (特斯拉)。请计算当这颗主序星演化为半径为20km的中子星时, 其磁场的平均强度。

**解答** 由磁通量守恒:  $4\pi R^2 B = 4\pi R_n^2 B_n$ , 代入数值, 得到:

$$B_n = (R/R_n)^2 = 2 \times 10^{10} \text{ 高斯}$$

11、假设中微子的质量为 $m_{\nu} = 10^{-5}m_e$ 。请计算用来弥补宇宙中暗物质质量所需要的中微子数密度。假定宇宙是平

直的，暗物质占整个宇宙质量的25%。提示：经典宇宙的总能量为零。

**解答** 哈勃常数取为  $H = 75 \text{ km/s/Mpc}$ ，对于平直宇宙：

$$\rho = \rho_c = \frac{3H^2}{8\pi G} \Rightarrow \rho_c = 1.0 \times 10^{-26} \text{ kg/m}^3$$

因此中微子的数密度为：

$$n_\nu = \frac{0.25\rho_c}{10^{-5}m_e} = 3 \times 10^8 \text{ 个/m}^{-3}$$

12、太阳的热核反应会引起太阳质量减少，请计算在100年内太阳的这种质量减少能够引起地球公转轨道半径的增加量。假定在此过程中地球一直保持正圆轨道。

**解答** 由爱因斯坦质能方程计算太阳损失的质量与能量的转换关系：

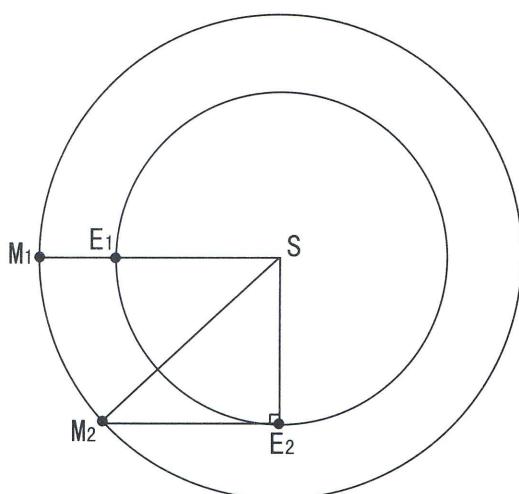
$$L_{\text{sun}} = -\frac{\Delta E}{\Delta t} = -\frac{\Delta Mc^2}{\Delta t} = -\dot{M}c^2$$

因此： $\dot{M} = -L_{\text{sun}}/c^2 = -4.26 \times 10^9 \text{ kg/s}$ 。由牛顿第二定律得到： $v^2 = GM/r$ ，其中  $v$  和  $r$  为地球的轨道速度和半径。由角动量守恒有： $l = rmv \Rightarrow v = l/mr$ ，其中  $m$  和  $l$  分别为地球的质量和角动量，因此：

$$\begin{aligned} \frac{l^2}{m^2 r^2} &= \frac{GM}{r} \Rightarrow r = \frac{l^2}{GMm^2} \\ \Rightarrow \dot{r} &= -\frac{l^2}{Gm^2 M^2} \dot{M} = -\frac{r^2 m^2 v^2}{GM^2 m^2} \dot{M} \end{aligned}$$

于是可以求出（对100年）：

$$\dot{r} = -r \frac{\dot{M}}{M} = 3.21 \times 10^{-10} \text{ m/s} \Rightarrow \Delta r = 1.01 \text{ m}$$



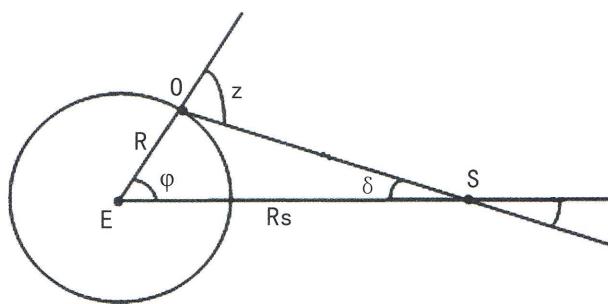
13、假定你生活在哥白尼时代，对开普勒定律一无所知。你可以按照哥白尼的方法计算火星和太阳之间的距离。在接

受了所有的行星是围绕太阳而不是地球运行的革命性观点后，你测得火星的公转周期为687天，然后观测到在火星冲日的106天后，火星刚好处于方照的位置。请计算火星与太阳之间的距离，以天文单位(AU)为单位。

**解答** 我们知道火星的轨道周期，可以得到  $\angle M_1 S M_2$  的大小： $\angle M_1 S M_2 = 106/687 \times 360 = 55.5^\circ$ 。同样  $\angle E_1 S E_2 = 106/365.26 \times 360 = 104.5^\circ$ ， $\angle M_2 S E_2 = 104.5 - 55.5 = 49.0^\circ$ ，所以：

$$\cos(\angle M_2 S E_2) = \frac{SE_2}{SM_2} \Rightarrow r_{\text{mars}} = \frac{SE_2}{\cos 49^\circ} = 1.52 \text{ AU}$$

14、某人造卫星在地球赤道面上以正圆轨道绕地运行。德黑兰的观测者在纬度为  $\phi = 35.6^\circ$  处看到该卫星过当地子午线(中天)时的天顶距为  $z = 46.0^\circ$ 。请计算该卫星的地心距离(以地球半径为单位)。

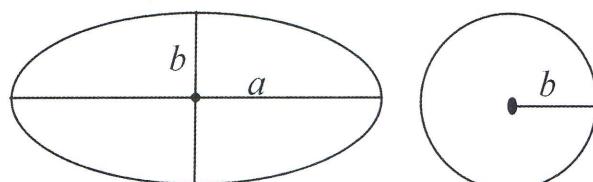


**解答** 如上图，观测者位于 O 点，卫星位于 S 点。 $\angle EOS$  为： $\angle EOS = 180^\circ - z = 134^\circ$ ， $\delta = 180^\circ - \varphi - \angle EOS = 10.4^\circ$ 。在三角形 EOS 中：

$$\frac{R_s}{\sin \angle EOS} = \frac{R}{\sin \delta} \Rightarrow \frac{R_s}{R} = \frac{R_s}{3.98}$$

15、一对密近食双星系统的两颗子星是同样大小的巨星。在互相的引力作用下，两颗子星都发生了形变，偏离了正球型，变成了  $a = 2b$  的旋转椭球体，其中  $a$  和  $b$  分别是旋转椭球体的半长轴和半短轴(两颗子星的长轴总保持共面)。双星系统轨道面的倾角为90度。请计算两颗子星相互掩食能够引起的以星等表示的亮度变化幅度。忽略由于潮汐变形引起的温度变化以及恒星表面的临边昏暗。

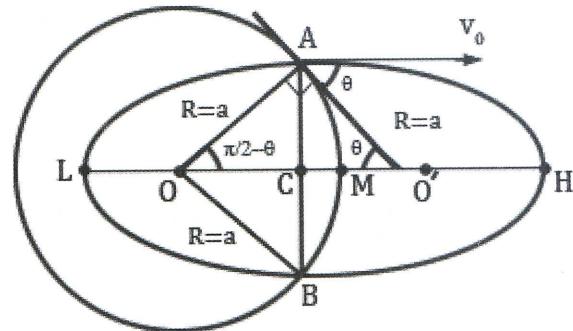
**提示：** 旋转椭球体是椭圆绕其主轴自转而成的几何形状，类似橄榄球或者甜瓜。



**解答** 假定恒星具有同样的亮度，那么如上面的左图

中的情況能夠產生最大亮度。當其中一顆恆星被完全掩食，另一顆恆星的投影為半徑為 $b$ 的圓時，能夠產生最小亮度(右圖)。最大亮度： $I_{\max} \propto 2\pi ab$ ，最小亮度： $I_{\min} \propto \pi b^2$ ，所以：

$$\Delta m = -2.5 \log \frac{I_{\max}}{I_{\min}} = -2.5 \log 4 = -1.51$$



## 長問題

16、拋射物。某拋射物從地球的海平面發射，初始速度 $v_0 = \sqrt{GM/R}$ ，發射角(相對於當地地平)為 $\theta = \pi/6$ 。 $M$ 和 $R$ 分別為地球的質量和半徑。忽略空氣阻力和地球自轉。

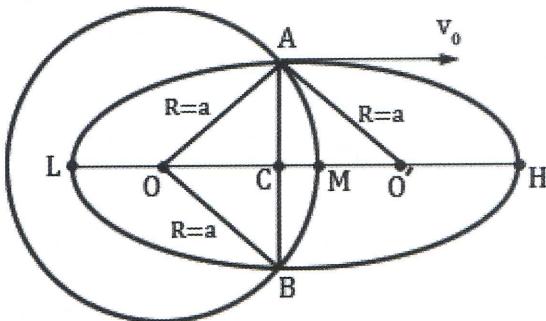
- 1) 证明拋射物的運動軌跡是半長軸為 $a=R$ 的橢圓。
- 2) 請計算該拋射物能够達到的相對於地球表面的最高高度(以地球半徑為單位)。
- 3) 該拋射物飛過的範圍是多少(在地球表面上拋射點與落地點之間的距離)? (以地球半徑為單位)
- 4) 該拋射物的橢圓軌跡的偏心率( $e$ )是多少?
- 5) 求出該拋射物的飛行時間。

解答

- 1) 拠射物的總能量為：

$$E = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{GMm}{R} = -\frac{GMm}{2R} < 0$$

說明軌道應為橢圓或圓，由於 $\theta > 0$ ，所以軌道是橢圓，橢圓的總能量為： $E = -GMm/(2a)$ ，因此： $a = R$ 。



2) 由上圖可知， $OA + O'A = 2a$ ， $O'A = a$ 。在三角形 $OAO'$ 中， $OC = O'C$ ，則C一定是橢圓的中心，初速度 $v_0$ 的方向與橢圓的主軸LH平行。

在右上圖中，

$$HM = CH - CM = a - (R - R \sin \theta) = R/2$$

3) 拠射物覆蓋的距離為 $\widehat{AB}$ ：

$$\widehat{AB} = 2(\pi/2 - \theta) \cdot R = 2\pi R/3$$

4) 极坐标下的椭圆方程为：

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1+e \cos \phi}$$

对于点A：

$$R = \frac{R(1-e^2)}{1+e \cos(\pi/2-\theta)}, e = \sin \theta = \frac{1}{2}$$

5) 由开普勒第二定律： $\Delta S/S_0 = \Delta T/T$ ， $\Delta S = S_{AOB} = S_{AOB} + S_0/2 = a \cdot b \cdot e + \pi \cdot a \cdot b/2$ ，因此：

$$\Delta S/S_0 = \frac{a \cdot b \cdot e + \pi \cdot a \cdot b/2}{\pi \cdot a \cdot b} = \frac{e + \pi/2}{\pi}$$

由开普勒第三定律： $T = \sqrt{4\pi^2 R^3 / (GM)} = 84.5^m$ ，所以：

$$\Delta T = T \times \Delta S/S_0 = 55.7^m$$

17、銀河系恒星的視數密度。假定我們可以用一個簡單的指數函數：

$$n = n_0 \cdot \exp(-\frac{r - R_0}{R_d})$$

來描述銀河系銀盤的恒星數密度，其中 $r$ 表示距銀河系中心的距離， $R_0$ 是太陽距銀河系中心的距離， $R_d$ 是銀盤的典型半徑， $n_0$ 為太陽所在位置的銀盤的恒星數密度。某個天文學家以很小的視場觀測銀心，利用絕對星等大致為常數( $M = -0.2$ )的某特定類型的紅團簇巨星(red clump)作為標準燭光。

1) 如果使用的望遠鏡的極限視星等為 $m = 18$ ，請計算該望遠鏡能夠觀測到的紅團簇巨星的最遠距離。簡單起見，我們忽略星际介质，因此不必考慮星际消光。

2) 假定星际介质的消光為 $0.7$ 等/kpc，重複1)的計算步驟，估算此時該望遠鏡能夠觀測到的紅團簇巨星的最遠距離。

3) 在視星等從 $m$ 到 $m + \Delta m$ 範圍內，給出立體角 $\Omega$ 內我們能夠觀測到的每單位星等的該類型紅團簇巨星的數目的表達式，即 $\Delta N/\Delta m$ 。在所有恒星中該類型紅巨星的比例為 $f$ 。此处与问题1)一样不考虑星际消光。假设银盘的大小为无限大。

提示： $y = \log_{10} x$ 可以在 $(x_0, y_0)$ 点展开成近似式：

$$y = y_0 + \frac{1}{\ln 10} \cdot \frac{x - x_0}{x}$$

解答  
1) $m = M + 5 \lg(d/10)$ ,  $m = 18$ ,  $M = 0.2$ ,  
 $d = 4.37 \times 10^4$  pc.

2) 考虑消光,  $m = M + 0.7x + 5 \lg(100x)$ , 其中  $x$  以 kpc 为单位, 代入  $m$  和  $M$  的值:  $18.2 = 0.7x + 5 \lg(x)$ , 用试根法, 取  $x=5, 5.5, 6, 6.5$ , 得到  $x \approx 6.1$  kpc。

3) 在立体角  $\Omega$  内观测到的距离为  $x$  到  $x + \Delta x$  范围的红巨星数目为:

$$\Delta N = \Omega x^2 n(x) f \Delta x$$

所以在  $\Delta x$  内看到的恒星数目为:

$$\frac{\Delta N}{\Delta x} = \Omega x^2 n(x) f$$

由视星等和距离的关系我们得到:

$$m_1 = M + 5 \lg \left( \frac{x}{10} \right), m_2 = M + 5 \lg \left( \frac{x + \Delta x}{10} \right)$$

因此:  $\Delta m = 5 \lg(1 + \Delta x/x)$ , 将  $\Delta x$  用  $\Delta m$  表示, 得到:  $\Delta N/\Delta m = (\Delta N/\Delta x) \cdot (\Delta x \Delta m)$ 。所以在给定星等间隔  $\Delta m$  内看到的恒星数目为:

$$\frac{\Delta N}{\Delta m} = \frac{\Omega \ln 10}{5} n(x) \cdot x^3 \cdot f$$

而  $x = 10^{(m-9.78)/5}$ 。不考虑消光, 我们能够穿透银河系中心看到另一端的恒星, 所以分  $x < R_0$  和  $x > R_0$  两种情况:

$$x = R_0 - r, x < R_0; \quad x = R_0 + r, x > R_0$$

因此  $\Delta N/\Delta m$  的一般表达式为:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta N}{\Delta m} &= \frac{\Omega \ln 10}{5} n_0 \exp \left( \frac{10^{(m-9.78)/5}}{R_d} \right) \times 10^{\frac{3(m-9.78)}{5}} \cdot f \\ &\quad , x < R_0 \\ \frac{\Delta N}{\Delta m} &= \frac{\Omega \ln 10}{5} n_0 \exp \left( \frac{2R_0}{R_d} \right) \exp \left( -\frac{10^{(m-9.78)/5}}{R_d} \right) \\ &\quad \times 10^{\frac{3(m-9.78)}{5}} \cdot f \cdot \Theta(x_0 - x), x > R_0 \end{aligned}$$

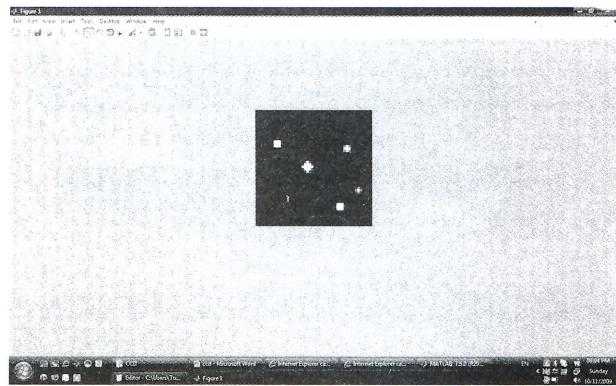
其中  $\Theta(x)$  是步函数,  $x_0 = 44.1$  kpc 为最大可观测距离。

## 实测试题

1、CCD 图像处理。作为图像处理的练习, 本题涉及使用一个简单的计算器和包括一幅图像在给出的曝光时间里得到的所有像素值的表格数据(见下页的大表格)。这幅图像是用安装在一个业余望远镜上的使用了 V 波段滤光片的一个小 CCD 相机所拍到的一幅更大些的 CCD 图像的一部分。右上图给出了这幅包含 5 颗恒星的像素的图像。下页的表格的第一行和第一列标明了像素的 x 和 y 坐标。本页右上方的第一个表格给出了望远镜和图像的参数。

观测者通过这幅图像与标准星表的比较证认出 1、3、4 号星。本页右上方的第二个表格列出了星表所给出的它们的实际星等( $m_t$ )。

1) 使用给出的数据, 求出图像里恒星的仪器星等。假设



望远镜焦距	1.2 m
CCD 像素大小	$25 \times 25 \mu\text{m}$
曝光时间	450 s
望远镜指向天顶距	25°
V 波段平均消光系数	0.3 mag/airmass

恒星标号	$m_t$
1	9.03
3	6.22
4	8.02

暗流可以忽略, 图像已经经过平场改正。为简化起见可以使用方形的测光孔径。

提示: 仪器星等的计算要用到在孔径中测得的恒星流量与在等效区域内背景天空(dark sky)的流量的差异。

2) 在一幅 CCD 图像中一颗恒星的仪器星等与实际星等的关系是:  $m_I = m_t + KX - Zmag$ , 其中  $K$  是消光系数,  $X$  是大气质量,  $m_I$  和  $m_t$  分别是恒星的仪器星等和实际星等,  $Zmag$  是常数零点。对已证认的恒星分别计算常数零点, 并计算平均的常数零点。

提示: 常数零点是不受消光影响的计算得到的星等相对于实际星等的常数差。

3) 计算恒星 2 和 5 的实际星等。

4) 对于使用的 CCD 相机计算以角秒(arcsec)为单位的 CCD 像素大小。

5) 计算以每平方角秒星等 (magnitude per square arcsec) 为单位的背景天空(dark sky) 的平均亮度( $m_{sky}$ )。

6) 用适当的图示估计天文视宁度(astronomical seeing), 以角秒(arcsec)为单位。

2、金星。位于 Deh-Namak(今晚你将被带到那里进行观测考试)的一位观测者从 2008 年 9 月到 2009 年 3 月, 连续七个月观测金星。观测过程中, 使用专业的 CCD 照相机和图像处理软件, 从高分辨率图像中提取了高精度的观测数据。给你的表(见后页)中给出了观测期间得到的数据。

该表的说明: 第一列(Column1): 观测日期。第二列(Column2): 与观测日期和时刻相应的日地距离, 以天文单位(AU)为单位。本列数值是从高精度的数据表获得的。

Pixels	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1	2	4	4	5	6	6	0	9	0	5	3	1	4	5	2	5	5	3	8	5	6	3	1	9	6	7	3	1	7	8	3	2	6	6	2	10	4	10	2	9	3	2	5	1						
2	10	1	6	8	10	0	6	4	7	1	9	2	3	8	3	4	8	8	2	9	5	9	0	9	6	1	3	10	2	6	1	1	1	1	3	4	0	6												
3	7	6	6	4	6	5	2	10	4	3	2	2	7	1	6	4	9	3	6	3	7	3	1	6	4	3	4	5	3	3	9	3	2	3	9	8														
4	5	8	2	8	1	3	4	4	4	3	5	6	8	2	8	9	2	6	1	9	3	8	6	1	0	0	6	8	5	1	8	5	1	3	8															
5	7	1	0	9	2	5	8	5	2	5	8	3	1	6	2	9	4	3	8	4	0	6	7	6	3	1	9	2	6	1	0	9	1	4	8	8														
6	2	8	7	5	1	2	8	2	8	7	4	10	4	4	8	8	9	1	0	7	2	7	2	8	4	3	2	4	8	5	1	2	2	2	3															
7	10	2	6	4	0	9	10	8	7	0	9	0	9	1	1	0	7	3	2	4	9	7	6	3	8	7	6	3	2	4	6	3	1	5	7															
8	3	7	1	4	5	2	5	1	7	6	8	8	10	5	9	2	5	7	8	1	2	4	4	8	1	3	0	10	9	3	9	10	8	6	3	1														
9	10	6	10	4	9	7	3	1	9	7	5	7	3	1	3	6	8	1	3	6	4	9	4	1	9	1	4	8	6	3	9	1	2	9	4															
10	8	2	8	7	8	2	0	9	4	2	7	7	4	8	0	9	2	6	7	0	3	7	7	2	7	7	3	2	9	5	0	5	2	7																
11	6	5	1	10	4	7	5	8	0	9	3	4	7	2	9	9	8	5	1	1	2	1	9	8	1	0	2	2	3	1	3	2	3	1	3															
12	8	5	10	8	1	3	2	6	4	1	10	5	0	10	1	8	4	0	5	6	4	9	7	3	6	9	5	2	1	8	3	8	5	3	6	10														
13	3	6	7	6	4	4	4	1	12	13	7	4	4	8	5	2	3	7	4	9	3	6	6	3	9	7	8	5	0	2	5	10	8	4	6	10														
14	2	2	10	4	10	0	9	202	798	206	5	1	1	7	5	2	1	1	5	6	3	4	0	1	0	5	1	9	5	8	3	5	7	3	4	8	7													
15	1	8	5	6	6	1	6	14	803	3239	804	18	5	9	4	6	3	6	3	6	3	3	2	7	7	10	8	5	1	2	4	6	3	1	5	6	3													
16	6	3	10	8	6	8	3	5	204	798	206	6	4	9	9	5	8	8	0	4	5	7	2	8	1	4	8	4	9	4	2	4	6	3	1	8	3	9												
17	7	1	10	3	2	10	9	4	7	13	8	3	10	5	6	5	3	0	3	8	5	3	6	3	0	2	5	6	2	4	6	3	1	2	4															
18	3	6	8	9	6	1	9	2	3	4	1	6	7	0	10	7	2	3	2	6	3	2	8	4	6	8	7	3	0	9	8	0	10	5	7															
19	4	3	0	6	3	7	4	8	10	8	6	7	6	1	6	0	10	4	10	6	2	7	5	2	3	0	6	6	2	9	0	7	4	3	2	8														
20	20	6	7	5	5	9	6	2	8	9	10	6	5	8	10	2	1	7	9	3	7	1	3	6	9	9	2	8	5	7	7	8	6	9	3	5														
21	1	9	6	4	8	3	5	5	1	8	7	1	8	5	4	0	1	6	5	2	8	2	5	6	2	1	5	1	10	7	8	9	5	3	6	1	6	10												
22	22	4	7	7	2	8	6	7	9	9	1	8	6	9	9	2	8	5	4	9	1	9	8	10	5	10	3	7	0	4	5	7	6	5	1	9	10													
23	4	5	8	9	5	6	7	8	6	8	5	3	1	4	3	1	4	3	1	4	3	1	4	3	1	11	10	7	3	8	1	2	4	5	2	8														
24	4	9	7	1	5	2	4	5	9	2	2	10	2	3	8	4	7	4	10	40	2665	4165	40	11	10	1	2	4	5	2	8	10	1	6	12															
25	5	7	4	8	1	7	7	2	4	6	6	3	9	9	1	9	6	1	4	10	40	10785	43705	10780	170	6	5	3	9	10	4	9	10	1	5	10														
26	1	5	4	0	3	3	2	6	4	9	1	2	3	0	1	0	9	6	3	9	45	2663	10783	2658	47	10	2	0	4	5	4	6	8	5	2	10														
27	4	6	1	1	7	9	3	1	9	4	8	1	2	10	2	2	8	6	6	4	44	164	42	3	3	9	3	9	6	4	7	3	1	7																
28	1	9	4	1	3	7	6	10	9	9	3	0	4	5	5	4	6	7	5	6	7	2	10	1	1	6	9	5	2	0	0	1	3	5	7															
29	4	0	2	9	1	5	7	8	5	7	8	2	1	9	9	2	7	10	5	1	3	4	3	0	8	3	6	0	5	7	10	3	5	1	6	6														
30	2	1	8	8	6	4	5	4	3	1	9	0	6	3	7	10	2	8	2	10	5	7	5	0	6	5	1	5	6	4	6	3	8	3	8	5														
31	3	1	2	5	5	8	4	5	3	1	10	4	0	7	4	3	2	3	9	5	8	3	1	5	7	8	0	8	6	0	5	6	1	6	2	0	5													
32	3	5	4	8	1	3	9	3	5	9	1	9	6	9	5	3	6	8	4	1	2	2	7	2	6	4	1	0	9	6	5	5	5	6	0	5	3													
33	3	8	3	6	7	9	3	0	1	3	8	2	3	8	5	1	1	7	9	9	7	5	1	9	7	2	9	4	2	1	6	9	4	3	8	5														
34	5	7	0	9	3	5	1	8	0	8	7	6	5	6	1	8	1	4	5	3	7	5	10	9	10	8	3	8	6	4	5	8	9	10	27	94														
35	7	6	6	8	9	7	2	8	9	9	5	6	6	6	8	3	9	6	9	6	2	1	3	8	2	9	7	1	9	11	95	355	96	7	7	8														
36	1	10	2	8	3	0	7	1	5	3	4	2	7	1	0	5	1	5	0	6	1	5	0	6	5	5	0	2	8	10	10	23	94	25	8	7	0	8												
37	7	9	7	2	5	4	8	0	2	6	3	1	3	4	9	0	7	2	5	9	3	6	2	5	3	5	8	5	1	2	7	4	6	2	9	6	6													
38	6	1	0	6	4	5	7	6	7	9	9	5	7	6	2	3	8	7	1	7	3	1	2	5	8	7	0	3	4	2	6	4	9	6	7	3	0													
39	3	2	1	6	2	1	8	2	1	6	3	3	10	7	7	6	3	1	3	1	1	7	9	4	0	5	4	0	1	6	9	2	7	7	3	1	2	7												
40	1	8	5	9	2	5	1	0	9	7	7	6	3	1	6	2	7	9	2	1	0	4	1	7	9	0	1	6	9	3	8	2	8	6	2	2	10													
41	6	0	6	7	7	4	8	10	7	9	6	3	6	7	0	1	2	9	2	4	9	2	7	3	1	6	0	2	3	7	6	3	8	1	1	6														
42	1	7	5	2	3	7	4	9	1	8	2	9	5	7	2	9	2	7	8	2	0	9	1	5	2	4	6	2	10	4	10	23	94	25	8															
43	1	7	1	6	2	10	4	8	7	7	4	8	5	6	0	5	4	3	7	10	6	7	2	9	0	3	4	2	1	7	2	5	0	8	0	8														
44	8	3	1	0	3	4	8	7	7	4	8	1	6	2	7	9	2	1	0	4	1	3	1	6	9	0	2	3	7	6	3	8	1	1	6															
45	5																																																	

Column 1	Column 2	Column 3	Column 4
日期	日地距离 (AU)	相位 (%)	距角 (SEV, °)
20/9/2008	1.0043	88.4	27.56
10/10/2008	0.9986	84.0	32.29
20/10/2008	0.9957	81.6	34.53
30/10/2008	0.9931	79.0	36.69
9/11/2008	0.9905	76.3	38.71
19/11/2008	0.9883	73.4	40.62
29/11/2008	0.9864	70.2	42.38
19/12/2008	0.9839	63.1	45.29
29/12/2008	0.9834	59.0	46.32
18/1/2009	0.9838	49.5	47.09
7/2/2009	0.9863	37.2	44.79
17/2/2009	0.9881	29.6	41.59
27/2/2009	0.9904	20.9	36.16
19/3/2009	0.9956	3.8	16.08

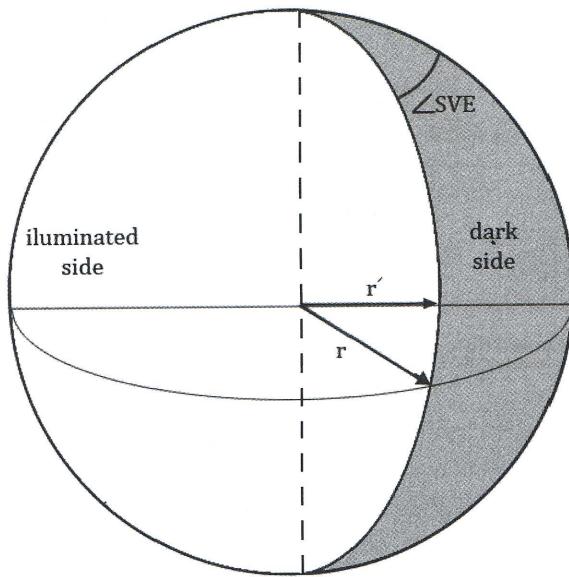
5)计算金星公转轨道的半长径( $a$ )。

6)计算金星公转轨道的偏心率( $e$ )。

第三列(Column3): 金星的相位, 亦即从地球上看, 金星盘面被太阳照亮部分的百分比。第四列(Column4): 金星的距角, 亦即从地球上看, 太阳中心与金星中心之间的角距离, 以度为单位。

1)根据表中的数据, 计算“太阳-金星-地球”的张角( $\angle SVE$ )。这个角就是从金星上看, 太阳和地球之间的角距。对于所有的观测日期, 在你的答题纸上的表中写下你算得的 $\angle SVE$ 。

提示: 计算金星的相位时, 金星盘面上被太阳照亮的部分与未被照亮的部分的分界线是椭圆弧。见下图。



2)计算太阳-金星间的距离, 以天文单位(AU)为单位, 把对每次观测算得的数值填写在答题纸上的表中。

3)以观测日期为横轴, 太阳-金星间的距离为纵轴画图。

4)求出金星的近日距( $r_{V,min}$ )和远日距( $r_{V,max}$ )。

# 2003年全国中学生天文奥林匹克竞赛试题

## 预赛试题

全国天文奥赛组委会 供稿

01. 在天球上两个天体之间的距离的量度单位是(D)。  
(A) 光年 (B) 秒差距 (C) 天文单位 (D) 角度单位
02. 下面哪一个天体我们不可能在天赤道上看到?(A)  
(A) 天狼星 (B) 水星 (C) 月亮 (D) 太阳
03. 2003年的春节是2月1日。那么2003年3月3日月亮上中天的时间是(C)。  
(A) 半夜 (B) 日出时 (C) 中午 (D) 日落时
04. 日环食一定发生在公历某月的(C)。  
(A) 1日 (B) 15日 (C) 可能是任何一天 (D) 不可能发生日环食
05. 一年中在北纬20度的地方能够观测到的天体的赤纬的范围是(C)。  
(A)  $+20^{\circ}$  到  $+90^{\circ}$  (B)  $-20^{\circ}$  到  $+90^{\circ}$  (C)  $-70^{\circ}$  到  $+90^{\circ}$  (D) 以上都不对
06. 如果在夏至的时候发生月全食, 那当时月亮的赤纬大致是(B)。  
(A) 0度 (B)  $-23^{\circ}$  (C)  $+23^{\circ}$  (D) 以上都有可能
07. 每年3月中下旬在北京中午12点看到的太阳的地平高度大致是(C)度。  
(A) 23 (B) 40 (C) 50 (D) 75
08. 如果月食发生在凌晨6点, 那当时月亮的方位角大致是(B)度。  
(A) 0 (B) 90 (C) 180 (D) 270
09. 3月21日世界时6时东经90°线处的地方恒星时大致是(A)小时。  
(A) 0 (B) 6 (C) 12 (D) 18
10. 我国正在建造的LAMOST望远镜的等效口径大概是(B)米。  
(A) 0.6 (B) 4 (C) 10 (D) 100米以上
11. 以下天体按离太阳由近到远排列次序正确的是(A)。  
(A) 地球、火星、北师大星 (B) 月球、地球、木星

- (C) 地球、月球、北师大星 (D) 上面三个都不对
12. 在地球上不可能观测到(D)。  
(A) 日偏食 (B) 日环食 (C) 月偏食 (D) 月环食
13. 天文单位的定义是(C)。  
(A) 相对日地张角为一个角秒的天体的距离 (B) 光线一年时间里传播的距离 (C) 地球到太阳的平均距离 (D) 光线从太阳到地球所需的时间
14. 恒星在天球上投影的角距离与它们彼此之间的实际距离的关系是(A)。  
(A) 没有关系 (B) 近似成反比 (C) 近似成正比 (D) 可以通过球面三角的公式推出
15. 中秋节时月亮升起的时间是(D)。  
(A) 半夜 (B) 日出时 (C) 中午 (D) 日落时
16. 国家天文台的大多数光学望远镜属于(B)。  
(A) 折射式望远镜 (B) 反射式望远镜 (C) 折反射式望远镜 (D) 地平式望远镜
17. 一年中在北极能够观测到的天体的赤纬的范围是(A)。  
(A)  $0^{\circ}$  到  $+90^{\circ}$  (B)  $-50^{\circ}$  到  $+50^{\circ}$  (C)  $-50^{\circ}$  到  $+90^{\circ}$  (D)  $-90^{\circ}$  到  $+90^{\circ}$
18. 在月全食期间发生月掩恒星的现象, 那么掩星开始于月球的(A)。  
(A) 东侧 (B) 西侧 (C) 有的时候在东侧, 有的时候在西侧 (D) 不可能发生月掩星
19. 月全食后期生光到复圆阶段, 如果月亮的方位角是 $90^{\circ}$ , 则看上去(A)。  
(A) 月亮的上边是亮的 (B) 月亮的下边是亮的  
(C) 月亮的左边是亮的 (D) 月亮的右边是亮的
20. 下面哪一个天体我们总能在黄道上看到? (A) (B)  
(A) 北极星 (B) 太阳 (C) 月亮 (D) 小行星
21. 以下哪一组星座是在北京秋天的夜晚可以看到的? (A)  
(A) 仙后座、英仙座、飞马座 (B) 猎户座、狮子座、剑鱼座  
(C) 水蛇座、双子座、小熊座 (D) 不知道
22. 假如地球轨道上有一颗没有自转的小行星, 那它上面

某个地方昼夜交替的周期按照地球的时间单位是( D )  
(A) 没有昼夜交替 (B) 一天 (C) 一个月 (D) 一年

23. 某恒星，在一个月前于晚上10时升起，问该恒星今天大约在晚上(A)升起。  
(A) 8时 (B) 10时 (C) 12时 (D) 不是在晚上升起

24. 地理纬度北纬42°处，天顶点的赤纬等于(A)。  
(A) 42° (B) 48° (C) 67°.5 (D) 90°

25. 在纪元前1100年左右，中国天文学家已求得夏至日正午太阳地平高度等于79°07'，而在冬至日为31°19'(在天顶南面)。观测地点的纬度为(A)。  
(A) 34°47' (B) 47°48' (C) 55°13' (D) 79°07'

26. 经过13000年后，春分点将位于(A)星座。  
(A) 室女 (B) 狮子 (C) 白羊 (D) 大熊

27. 若双星仙女座γ星的两子星的目视星等分别等于2.28和5.08，该双星总的目视星等为(B)。  
(A) 1.57 (B) 2.2 (C) 2.8 (D) 7.36

28. 火星离地球最近时的角直径为24''，用F=19.5米的折射望远镜所摄得的火星像的直径为(B)毫米。  
(A) 0.24 (B) 2.27 (C) 8.68 (D) 13.61

29. 若使4等星的距离减少一半，它的视星等将变为(C)等。  
(A) 1.5 (B) 2.0 (C) 2.5 (D) 8.0

30. 设某恒星实际温度不变(即恒星单位面积亮度不变，而表面发生周期性脉动)。在脉动时，恒星的最大和最小半径之比为2:1。此恒星总亮度的变幅为(A)星等。  
(A) 1.5 (B) 2 (C) 4 (D) 6

31. 设10等至11等的恒星数目为546000个，约(B)个0等星能替代所有10等至11等的恒星的数目所发生的亮度。  
(A) 小于4 (B) 34 (C) 350 (D) 大于1000

32. 在恒星光谱中，显示出波长等于422.7nm的钙线向光谱的紫端移动了0.07nm。此恒星沿视线方向的运动速度为(B)千米/秒。  
(A) 25 (B) 50 (C) 70 (D) 600

33. 夏威夷的莫纳克亚山上坐落着著名的凯克望远镜，它的口径为10米，那么它能够看到的极限星等是(C)。设肉眼能看到的极限星等为6等，瞳孔直径为6毫米。  
(A) 约15等 (B) 约18等 (C) 约22等 (D) 约28等

34. 织女一的视向速度等于-14千米/秒，自行每年0.348''，视差为0.124''。织女一相对于太阳的总的空间速度为(B)千米/秒。  
(A) 14 (B) 19 (C) 37 (D) 大于50

35. 已知某恒星的温度T=3100K，而绝对星等M=-4.0，它的半径约为太阳的(C)倍。(提示：太阳的温度T=5700K)  
(A) 197 (B) 350 (C) 480 (D) 大于1000

36. 十一世纪，在波斯曾试用的一种历，是以33年为一循环作为该历的基础；在这个循环中，包含25个平年和8个闰年。该波斯历年长度为(B)日。  
(A) 365.2422 (B) 365.2424 (C) 365.2425 (D) 365.2428

37. 1931年Karl Jansky用它的射电望远镜探测到了来自地球以外的射电信号，这个信号每天(A)4分钟到达，说明它不是来自太阳，而是太阳系外天体。  
(A) 提前 (B) 推迟 (C) 不提前也不推迟

38. 月球上想像的居民在地球满月的时候看到的地球是(A)。  
(A) 朔 (B) 上弦 (C) 望 (D) 下弦

39. 根据牛顿万有引力定律，两物体之间的引力与它们的距离的平方成反比。因此，例如当你远离地球时，地球对你的引力将逐渐减弱。现在我们假设相反的情形，即两物体之间的引力与它们的距离的平方成正比，那么月球绕地球运行将(D)。  
(A) 可能发生，并与现在的情况一致 (B) 可能发生，但与现在的情况不同 (C) 不可能发生，月球将不再做绕地轨道运动 (D) 不可能发生，月球将最终与地球撞在一起

40. 为了了解地外文明，科学家们计划首先发射一艘无人探测飞船，到半人马座α，那么探测飞船需要的最小速度是(C)千米/秒。  
(A) 7.9 (B) 11.2 (C) 16.9 (D) 18.4

41. 关于黑洞的质量，下列说法正确的是(C)。  
(A) 一定是无穷大 (B) 不一定是无穷大，但至少应该接近无穷大 (C) 不一定是无穷大，而且有可能质量相当小 (D) 大约10个太阳质量或以上

42. 我们假设一艘宇宙飞船以0.5c(c为光速)的速度飞向某一行星，同时，该飞船在飞行中以每2分钟一次的频率向该行星发射固定的光信号，那么，对于行星上的观察者来说，看到的光信号频率将为(B)。  
(A) 等于2分钟 (B) 大于2分钟 (C) 小于2分钟 (D) 依赖于光信号的频率而定

43. 1675年，丹麦天文学家罗默在观测木星较大的卫星木卫1的食时，发现在地球远离木星时观测比在地球靠近木星时观测到的木卫1的食的时间要滞后大约1000秒左右，利用这个观测结果，我们可以推算出(C)。  
(A) 地球绕太阳的轨道运动速度 (B) 木星绕地球的轨道运动速度 (C) 木卫1绕木星的轨道运动速度 (D) 光的速度

44. 在地球绕太阳的环行运动中，假设在某一时刻，太阳和地球之间的引力由于某种原因突然消失，那么关于地球运动的说法，下列正确的是(D)。(注：开普勒第二定律：行星的向径(从太阳中心到行星中心的连线)在相等的时间内扫

过的面积相等。)

- (A) 地球将不再沿椭圆轨道运行, 开普勒第二定律也将不再成立 (B) 地球将不再沿椭圆轨道运行, 但开普勒第二定律仍将成立 (C) 地球将继续沿椭圆轨道运行, 但开普勒第二定律不再成立 (D) 地球将继续沿椭圆轨道运行, 但开普勒第二定律仍将成立

45. 假设登陆火星后, 我们在火星上发射一艘宇宙飞船返回地球, 那么宇宙飞船的速度应至少是(B) 千米/秒。

- (A) 3.5 (B) 5.0 (C) 7.9 (D) 11.3

46. 如果由地球发射宇宙飞船, 在人为因素一致的情况下, 在下列哪个地点发射宇宙飞船耗费的能源最少? (A)

- (A) 海南岛 (B) 上海 (C) 北京 (D) 西昌

47. 黄道十二宫中, 太阳在(A)停留时间最短?

- (A) 人马宫 (B) 双子宫 (C) 白羊宫 (D) 室女宫

48. 假设不远的将来, 低轨洲际火箭将可以投入载客旅行, 那么从北京到纽约旅程的时间将可能被缩短为(B)。

- (A) 1分钟以内 (B) 1小时以内 (C) 2至5小时 (D) 24小时以上

49. 假设两颗星具有相同的绝对星等, 若两颗星距地球的距离相差100倍, 那么两颗星的目视星等相差(D)等。

- (A) 5 (B) 10 (C) 15 (D) 100

50. 我们在地球上一直无法看到月球的背面, 是因为(C)。

- (A) 月球并不作自转运动 (B) 月球自转周期与地球自转周期相同 (C) 月球自转周期与围绕地球公转的周期相同 (D) 以上皆错

答案: D A C C C / B C B A B / A D C A D / B A A A B /  
A D A A A / A B B C A / B B C B C / B A A B C / C C D B  
B / A A B B C

## 决赛试题

全国天文奥赛组委会 供稿

考试时间: 2003年7月5日, 考试地点: 北京

### 低年组

1. 水星到太阳的距离是0.387天文单位, 2003年5月7日发生了一次水星凌日, 请问在此之后, 水星第一次到达东大距和西大距各是大约多少天之后?

解答

首先得求出水星的公转周期。根据开普勒第三定律(距离a以AU为单位, 绕日周期p以地球年为单位):

$a^3/p^2 = 1$ , 将  $a = 0.387\text{AU}$  代入上式, 可知水星的公转周期  $p = 0.24\text{年} = 88\text{天}$ , 比地球绕日运动快。

水星凌日时, 太阳、水星、地球在一条直线上, 每天水星绕太阳比地球绕太阳多转动  $(360/88 - 360/365)^\circ = 3.1^\circ$ 。假设水星和地球的公转轨道都是正圆, 水星凌日之后的第一次西大距时, 它比地球多转动:

$$\arccos \frac{a_{\text{水星}}}{a_{\text{地球}}} = \arccos 0.387 = 67.2^\circ$$

东大距时, 水星比地球多转动:

$$360^\circ - \arccos \frac{a_{\text{水星}}}{a_{\text{地球}}} = 292.8^\circ$$

因此, 从凌日到西大距的时间应为  $67.2/3.1 = 22$  天, 从凌日到东大距的时间应为  $292.8/3.1 = 94$  天。

2. 月亮绕地球公转的轨道平面和黄道只有一个非常小的夹角。请问, 上弦月发生在一年的什么时候(比如几月份左右), 在上中天时可以有最大的地平高度? (假设你在北京观测)。

解答

在北京观测(地理纬度约为40度), 月亮上中天时总是位于天顶以南, 根据:

$$h = 90^\circ - \phi + \delta$$

可知, 月亮的赤纬越大, 其地平高度就越高。忽略掉黄道与白道的交角后, 月亮可以看作是在黄道上运行, 因此其赤纬的变化范围和太阳相同。我们知道, 一年之中的夏至是太阳高度角最大的时候, 所以月亮高度最大时, 它应该在黄道上的夏至点附近。又考虑到上弦月时月亮的黄经应该比太阳大90度左右, 因此这时的太阳就应该在春分点附近, 所对应的时间正好就是三月底左右。

3. 如果由于某种原因, 黄赤夹角变成了60度, 在地球上什么范围的人们有可能经历极昼现象?

解答

黄赤夹角变为60度, 则北极圈纬度变为:  $90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$ , 南极圈纬度变成 $-30^\circ$ , 即北纬30度到北极、南纬30度到南极都可以有极昼现象发生。

4. 水星的自转轴垂直于公转轨道平面, 其自转周期是公转周期的三分之二, 那么在水星上观测, 从日出到日落要经历多长时间? (答案请以公转周期即水星年为单位)

解答

自转轴与公转轨道平面垂直, 意味着在水星上日夜的长度是相等的。设水星自转周期为  $T_s$ , 公转周期为  $T_0$ , 一个水星太阳日的长度为  $t$ , 由于公转和自转方向相同, 因此要想连续两次看到太阳升起, 水星除了完成一次自转外, 还必须多转一点把因为公转而造成的减少补回来。这个额外转动角度  $a$  的大小是由  $t$  决定的:

$$a = 2\pi \frac{t}{T_0}$$

转动这个额外角度所需花费的时间为:

$$\Delta = T_s \times \frac{a}{2\pi} = T_s \times \frac{t}{T_0}$$

因此一个太阳日 $t$ 内, 水星的转动时间共为:

$$t = T_s + T_s \times \frac{t}{T_0}$$

代入题干数据解得:  $t = 2T_0$ , 因此从日出到日落的时间为 $0.5t = T_0$ , 即一个水星年。

5. 在距地球10光年的一颗恒星的一个行星上产生了和我们相似的文明, 他们有和我们相同的星等系统。他们正在好奇地寻找他们之外的行星系统, 非常巧, 我们的太阳是他们长期监测的一个目标。他们试图通过行星凌星引起的恒星星等的变化来探测可能存在的行星, 如果他们可以测到0.001星等的光变, 地球有可能被他们以这种方式发现吗? 为什么?

**解答** 设地球遮挡前和遮挡后太阳的辐射流量分别为 $f$ 、 $F$ , 太阳半径和地球半径分别为 $R$ 、 $r$ , 则:  $f$ 正比于 $R^2$ ,  $F$ 正比于 $(R^2 - r^2)$ 。由此可知:

$$\frac{f}{F} = \frac{R^2}{R^2 - r^2}$$

即:

$$F = \left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2\right] \times f$$

根据视星等的定义 $m = -2.5 \lg F + C$ ,  $C$ 为观测星等的零点常数, 可以求出遮挡后与遮挡前的星等差 $\Delta m$ 为:

$$-2.5 \lg \frac{F}{f} = -2.5 \lg \left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2\right] \approx 9.1 \times 10^{-5} \text{ 等}$$

这个变化小于能被外星人探测到的0.001等, 所以他们不可能以这种方法发现地球。

6. 中国古代神话里有一个“夸父追日”的故事。假如夸父生活在北纬30度附近, 当他看到太阳快落山的时候就开始拼命向正西方向奔跑, 为了保持太阳始终不落下去, 夸父的时速得达到每小时多少千米? 这个速度和常温常压下的声速(340米/秒)相比如何?

**解答** 地球半径为6400 km, 北纬30°处的纬线圈长为:

$$2\pi \times 6400 \times \cos 30^\circ = 34808 \text{ km}$$

要保持太阳不落, 夸父要向正西(即沿着纬线)奔跑, 而且必须在一天之内把纬线跑完, 因此他的时速为:

$$v = 34808 / 24 (\text{km/hour}) = 402 \text{ m/s}$$

声速为340米/秒, 所以夸父必须超声速!

7. 有一颗小行星近日点为2天文单位, 远日点为5天文单位。地面上某望远镜对其有两次观测, 都是在位于冲的时候,

一次冲恰逢它在近日点, 另一次冲则恰逢它在远日点。请问这两次观测到的此颗小行星的星等差多少?

**解答**

小行星本身并不发光, 其亮度来自于它对所接收到的太阳光的反射。小行星表面接收的太阳光反比于它到太阳的距离 $a$ 的平方, 而我们接收的小行星反射的太阳光又反比于地球到小行星的距离 $b$ 的平方, 所以我们看到的小行星的流量 $F$ 应该反比于 $a^2 \times b^2$ 。

第一次冲时:  $a_1 = 2\text{AU}$ ,  $b_1 = a_1 - 1 = 1\text{AU}$

第二次冲时:  $a_2 = 5\text{AU}$ ,  $b_2 = a_2 - 1 = 4\text{AU}$

所以两次观测的星等差为:

$$m_2 - m_1 = -2.5 \lg \frac{F_2}{F_1} = -2.5 \lg \frac{a_1^2 \times b_1^2}{a_2^2 \times b_2^2} = 5 \text{ 等}$$

8. 所有Ia型超新星在极亮时的绝对星等大约都是-19.5等。现在观测到在某旋涡星系里的一次Ia型超新星爆发事件, 测得这颗超新星极亮时的视星等为15.5等。通过对此星系的光谱观测得知此星系红移为0.023。请由以上数据估计哈勃常数(以km/s/Mpc为单位)。

**解答**

根据 $m - M = 5 \lg r - 5$ , 其中 $m$ 为视星等,  $M$ 为绝对星等,  $r$ 为距离, 以秒差距(pc)为单位, 可求得超新星的距离为 $r = 100\text{Mpc}$ 。

这颗星的红移 $z \ll 1$ , 因此 $z = v/c$ 成立, 式中 $c$ 为光速, 可求出它的退行速度为:

$$v = c \times z = 300000 \text{ km/s} \times 0.023 = 6900 \text{ km/s}$$

根据哈勃定律, 退行速度和距离有如下关系:

$$v = H \times r$$

$H$ 即为哈勃常数。代入上面的数值可求得:

$$H = v/r = 69 \text{ km/s/Mpc}$$

9. 日晷是古代利用太阳位置来计时的一种工具。在太阳到中天的时候, 日晷指示的时间是12点, 而实际上你会发现当地时间一般不会是12点, 而且这两者的差异随季节不同而不同。

(1) 请问造成这两者差别的可能原因有哪些?

(2) 如果地球轨道是圆的, 在春分那天太阳到中天的时候, 你把手表调到了12点整。第二天太阳又到中天的时候, 你的手表指示什么时刻?

**解答**

(1) 主要是两个因素: 第一, 地球轨道是椭圆, 太阳视运动不均匀; 第二, 黄赤夹角的存在, 使得太阳在天赤道上投影运动不均匀。

(2) 如果地球轨道是圆的, 则太阳在黄道上均匀运动, 一天运行 $360^\circ / 365.2422 = 0.98565^\circ$ , 春分那天太阳中天到第二天中天, 太阳在天赤道上的投影要运动 $0.98565^\circ$ 才行, 则太阳在黄道上要运行:

$$0.98565 / \cos 23.5^\circ = 1.075^\circ$$

所以时钟指示要比12点多:

$$\Delta t = 0.98565 \times \left( \frac{1}{\cos 23.5^\circ} - 1 \right) \times 3600 / 15 = 21 \text{ 秒}$$

10.给出下图中各主要星座的名称，并在图上画出以下天体的位置：M13，北天极，北黄极。给出JBO流星雨的名称并在图中画出JBO极大时辐射点的位置。

## 高年组

3.春分前后，你到赤道附近的海滨城市度假。你起了一个大早，兴致勃勃地站在海滩上看海上日出。当看到太阳上边缘跃出海面的一刹那，你开始计时并迅速伏倒在沙滩上。等你再一次看到太阳上边缘跃出海面的时候，停止计时。请问这段记录的时间间隔有多长？假定你站着和伏着时眼睛的高度差为1.60米。

**解答**

分别通过站立时和卧倒后的头顶作地球的切线，设两切线之间的夹角为A，即为太阳在这段时间内运动的角度。设身高为h，地球半径为R，通过简单几何推导可知：

$$\sin A = \frac{\sqrt{(R+h)^2 - R^2}}{R+h} = \frac{\sqrt{2Rh + h^2}}{R+h}$$

因为 $h \ll R$ ，可以忽略掉，上式可化为：

$$\sin A \approx \sqrt{2h/R}$$

又考虑到A很小时， $\sin A = A(\text{弧度})$ ，于是有：

$$A = \sqrt{2h/R} = 7 \times 10^{-4} \text{ 弧度} = 144''$$

太阳一天运行360度，每秒运动15角秒，因此要运行144角秒得花费： $144/15=9.6$ 秒，这就是所要求的时间差。

8.一个球状星团，赤经为 $\alpha$ 、赤纬为 $\delta$ ，对其成员恒星进行了视向速度观测和自行观测。这些成员星视向速度平均值为 $\langle v_r \rangle$ 千米/秒，视向速度平方的平均值为 $\langle v_r^2 \rangle$ (千米/秒)<sup>2</sup>。它们的赤经变化的平均值为每年 $\langle u \rangle$ 角秒，赤经变化的平方的平均值为 $\langle u^2 \rangle$ (角秒/年)<sup>2</sup>。求这个球状星团到我们的距离(以秒差距为单位)。

**解答**

这是一个球状星团，其成员恒星的视向速度的平均值 $\langle v_r \rangle$ 反映了它的线直径( $r$ )的变化率，成员星的赤经的平均值 $\langle u \rangle$ ，反映的则是球状星团的角直径( $\beta$ )的变化率，二者的平方平均值可以反映这两个量的弥散程度。

假设球状星团的距离为 $d$ ，在一年( $t = 1$ 年)里它的线直径和角直径的变化量(记为 $\Delta r$ 、 $\Delta \beta$ )满足如下关系：

$$\Delta r = \langle v_r \rangle \cdot t, \Delta \beta = \langle u \rangle \cdot t, \Delta r \approx d \cdot \Delta \beta \cdot \cos \delta$$

这里乘上 $\cos \delta$ 是为了做赤纬修正，以求出星团在天球上膨胀的真正角度。可以求出球状星团的距离为：

$$d \approx \frac{3153600 \bar{v}_r (\text{km})}{\bar{u}/3600/57.3 \cdot \cos \delta (\text{rad})} = 6.5 \times 10^{12} \bar{v}_r \cdot \bar{u} \cdot \cos \delta \text{ km}$$

9.在天文学中常用面星等来表示面源的亮度，如果我们在某波段观测到一个面源(如星系)上某个区域每平方角秒的流量和一颗在该波段视星等为m的恒星流量相同，我们就说面源的这个区域的面星等为每平方角秒m等或m等/平方角秒。

仙女座星系距离我们约750kpc，现观测到它的一个星团

11.指出下图中三个黄道星座的名称。在图上标出黄道和天赤道的位置。给出图上最亮的四颗恒星的星等和它们分别按西方习惯(比如：天琴座 $\alpha$ )和中国传统习惯(比如：织女)的中文名称。

12.今晚12点在北京观测火星，它的地平高度、方位角(从南点起算)、赤经、赤纬、亮度、所在星座各是多少？下一次火星大冲的时间是什么时候，当时火星在什么星座？当天晚上12点在北京观测，它的地平坐标、赤道坐标和黄道坐标分别是多少？

**答案**

2003年7月5日晚12点在北京观测火星，其地平高度、方位角、赤经、赤纬、视星等、所在星座分别为： $12^\circ 40'$ ， $299^\circ 47'$ ； $22^\circ 40^m$ ， $-13^\circ 20'$ ；-1.56等；宝瓶座。之后的一次火星大冲发生在2003年8月29日，当时火星位于宝瓶座，地平坐标为 $352^\circ 25'$ ， $33^\circ 56'$ ；赤道坐标为 $22^\circ 38^m$ ， $-15^\circ 50'$ ；黄道坐标为 $335^\circ 02'$ ， $-06^\circ 38'$ 。

与其核球上某个区域落在了同一视线方向，测量得到它们迭加起来的面亮度为19等/平方角秒。分析表明这个星团和银河系里距离我们为7.5kpc的一个面亮度为20等/平方角秒的星团类似。

请问仙女座星系核球那个区域本身的面亮度是多少等/平方角秒？（只需要把式子列出，不必计算最终结果）

**解答** 视星等 $m$ 与流量 $E$ 之间的关系是按下式定义的：

$$m = -2.5 \lg E + C$$

天体的辐射流量 $E$ 反比于距离的平方，其角面积也反比于距离的平方，所以单位角面积的流量是个常量，即面星等和距离无关（不考虑宇宙学红移）。

设星团和核球的单位角面积流量分别为 $E_1$ 、 $E_2$ ，由题意可知：

$$-2.5 \lg E_1 + C = 20, -2.5 \lg(E_1 + E_2) + C = 19$$

联立两式求解得：

$$E_2 = (10^{0.4} - 1)E_1$$

进一步求得仙女座星系核球的面亮度为：

$$m_2 = -2.5 \lg(10^{0.4} - 1) + 20 = 19.55 \text{ 等/平方角秒}$$

10. 太阳的寿命大约是100亿年，主要在主序阶段度过，其他阶段（如红巨星阶段）相比起来很短暂。在主序阶段的恒星的光度 $L$ 和恒星的质量 $M$ 有很好的关系，大致是 $L$ 正比于 $M^{3.5}$ 。请估计一颗两倍太阳质量的恒星的寿命。

**解答** 主序阶段中等质量恒星通过4个氢核生成1个氦核的核聚变产生能量来维持其光热辐射，总产生能量等于：

$$E = \Delta MC^2$$

其中 $\Delta M$ 是在核聚变反应中恒星总的质量亏损，可以认为正比于 $M$ ， $C$ 为光速。

恒星寿命 $t$ 正比于总产生能量除以单位时间损失的能量。单位时间损失的能量就是光度，于是有：

$$t \propto M/L \propto M^{-2.5}$$

太阳的寿命约为100亿年，因此两倍太阳质量恒星的寿命为：

$$t = 100 \times \frac{M/M_{\text{sun}}}{L/L_{\text{sun}}} \approx 18 \text{ (亿年)}$$

11. 探测太阳系外行星系统的一种方法是视向速度法。由于恒星和其行星绕它们的质心做周期转动，恒星的视向速度会发生周期性变化，这样引起的多普勒效应可以通过对恒星进行光谱观测而探测到。

如果有一颗一个太阳质量的恒星，它有一颗行星距它5AU，质量大约是这颗恒星的千分之一（类似于太阳-木

星系统），那么这颗恒星视向速度变化的幅度最大有多少？（假定圆形轨道）。如果是类似太阳-地球的系统呢？

**解答** 本题的关键是求出恒星绕质心作圆周运动的速度。质心可以理解为两个质点的重力矩达到平衡的那一点。设恒星质量为 $M$ ，行星质量为 $m$ ，行星到恒星的距离为 $a$ ，恒星到质心的距离为 $r$ ，则有： $M \times r = m \times (a - r)$ ，即得：

$$r = m \cdot \frac{a}{M + m}$$

设恒星的轨道周期为 $P$ ，由开普勒第三定律：

$$P^2 = \frac{4\pi^2 \cdot a^3}{G(M + m)}$$

恒星绕质心旋转是匀速圆周运动，其速率为 $v = 2\pi r/P$ ，将太阳、木星、地球的质量距离等数据代入上面各式得：

对太阳-木星系统， $v = 13.4 \text{ m/s}$ 。

对太阳-地球系统， $v = 0.09 \text{ m/s}$ 。

可见这种方法很难探测到太阳-地球系统。

其余题目同低年组。

# 2004年全国中学生天文奥林匹克竞赛试题

## 预赛试题

全国天文奥赛组委会 供稿

考试时间：2004年4月3日

### 低年组

01. 牛郎星位于( B )。  
(A) 金牛座 (B) 天鹰座 (C) 飞马座 (D) 天鹅座

02. 天狼星位于( C )。  
(A) 大熊座 (B) 小熊座 (C) 大犬座 (D) 小犬座

03. 昴星团位于( D )。  
(A) 武仙座 (B) 仙女座 (C) 双子座 (D) 金牛座

04. M42位于( A )。  
(A) 金牛座 (B) 天蝎座 (C) 大熊座 (D) 猎户座

05. 下述星座中离银河方向最远的是( B )。  
(A) 天鹅座 (B) 牧夫座 (C) 仙后座 (D) 英仙座

06. 目前国内正式发行的天文科普刊物是( C )。  
(A) 天空与望远镜 (B) 星光快讯 (C) 天文爱好者 (D) 天文馆研究

07. 在2003年国际天文奥林匹克竞赛中，中国队获得了( )块奖牌。  
(A) 0 (B) 1 (C) 3 (D) 5

08. 近年来获得Intel国际科学和工程学大奖赛天文学方面奖项的中国队选手是( D )。  
(A) 曾理 (B) 孟奂 (C) 梁岳 (D) 赵卫红

09. 到目前为止发现SOHO彗星最多的中国人是( C )。  
(A) 葛永良和汪琦 (B) 张大庆和孟奂 (C) 周兴明和陈栋华 (D) 李卫东和朱进

10. 下面的名字里已经被命名为小行星名字的是( D )。  
(A) 朱进 (B) 孟奂 (C) 张大庆 (D) 齐锐

11. 一光年大约是( D )天文单位。  
(A) 3.3 (B) 38 (C) 6.3万 (D) 1.5亿

12. 银河系的大小约( D )光年。  
(A) 不足10 (B) 1000 (C) 10万 (D) 大于1000万

13. 从地球上看太阳和月亮，它们看上去的大小( B )。  
(A) 差不多大 (B) 太阳比月亮大的多 (C) 月亮比太阳大的多 (D) 至少差20%以上

14. 从地面观测，金星在天气晴好的黑夜看上去非常亮，但在天气不好或者天不是很黑的时候看上去却不那么亮。在这两种情况下，金星的星等( B )。  
(A) 没有变化 (B) 有一定差异，天黑的时候星等值更高一些 (C) 有一定差异，天不黑的时候星等值更高一些 (D) 相差非常大

15. 2004年5月上旬，在北京最可能用肉眼直接观测到的彗星的编号是( C )。  
(A) 55P (B) C/2001 Q4 (C) C/2002 C1 (D) C/2002 T7

16. 我们夜晚看到的流星发光的高度与一般民航飞机的飞行高度相比( C )。  
(A) 要低 (B) 差不多 (C) 要高10倍左右 (D) 要高至少100倍

17. 在木星上不可能观测到( D )。  
(A) 地球西大距 (B) 土星合日 (C) 火星冲日 (D) 海王星冲日

18. 使用8厘米的折射望远镜观测火星大冲，以下放大倍数中最合适的是( C )倍。  
(A) 5 (B) 50 (C) 500 (D) 5000

19. 最近几年中金星凌日的时间是( C )。  
(A) 2003年5月7日 (B) 2004年6月8日 (C) 2005年10月12日 (D) 2006年11月9日

20. 有的媒体称2004年3月下旬出现的“五星连珠”，实际上指的是五颗大行星( D )的现象。  
(A) 从地面上观测，它们彼此之间的最大角距不超过60度 (B) 同时出现在观测地点的地平线以上 (C) 从太阳系以外垂直于黄道面方向看，它们在黄道面上的投影近似在一条直线上 (D) 它们彼此之间的最大角距不超过60度

21. 2004年3月15日，美国天文学家宣布发现了一个距太阳最近的太阳系天体“赛德娜”。跟人们发现的其他太阳系天体相比，( D )。

(A) 它的近日距最大 (B) 它到太阳的平均距离最大 (C) 它的远日距最大 (D) 它绕日运行周期最长

22. 据报载,专家指出“人眼分辨率的张角是0.1度。假设航天器的飞行高度是300千米,则只有长宽都能达到500米的物体才能在人眼中表现为一个点,从而被人看见。而长城的宽度仅在10米左右,显然不够标准。在36千米的高度,长城就会从我们的视线内消失。因此从太空中不可能看到长城”。若记者报道时未写错,你对这个问题的看法是( )。

(A) 专家说的基本是对的 (B) 专家的论证逻辑和结论正确,但具体计算有误 (C) 专家说的不全面,应该考虑长城的长度而不是宽度。 (D) 专家说的不对,能否看见一个物体并不取决于它有多小

23. 世界时12时的时候,当时的北京时间是( )时。

(A) 前一天的20 (B) 4 (C) 20 (D) 第二天的4

24. 使用同一台设备间隔半年时间观测同一颗恒星,发现它的位置相对于边上的一个星系移动了0.5角秒。而再过半年,发现它的位置又回到了一年前的地方。那么这颗恒星离我们的距离大致是( )天文单位。

(A) 5万 (B) 21万 (C) 41万 (D) 83万

25. 在著名的童话故事《皇帝的新衣》中,最符合天文学家性格的人物是( )。

(A) 国王 (B) 大臣 (C) 裁缝 (D) 小孩

## 高年组

02. 星团M7位于( )。

(A) 金牛座 (B) 天蝎座 (C) 大熊座 (D) 猎户座

03. 以下星座中与北冕座相邻的是( )。

(A) 武仙座 (B) 半人马座 (C) 大熊座 (D) 后发座

05. 目前春分点所在的星座是( )。

(A) 白羊座 (B) 猎户座 (C) 巨蟹座 (D) 双鱼座

08.“梅西叶天体马拉松”指的是用肉眼借助双筒望远镜在一个晚上尽可能多地观测几乎所有的梅西叶天体。进行这个活动的最佳时间是每年( )的新月前后。

(A) 三、四月份 (B) 七、八月份 (C) 十一、十二月份 (D) 每个月的观测条件都差不多

11. 2003年8月下旬火星大冲时,地面观测到的火星视直径约为( )角秒。

(A) 不到1 (B) 10 (C) 25 (D) 80或以上

21. 目前发现并定出轨道的近地小行星中,在未来一百年内有很小的撞击地球概率的数目大致是( )。

(A) 0 (B) 不到10 (C) 50左右 (D) 100以上

22. 以下关于流星和流星雨的描述,不正确的是( )。

(A) 一个流星雨极大附近的每小时天顶流量有可能是1到2颗 (B) 狮子座流星体群有可能撞击月面产生地面可以观测到的闪光 (C) 狮子座流星雨期间出门,被陨石砸到的概率和其他时候差不多 (D) 在看到流星在空中碎裂的同时经常能听到它发出的声音

23. 英仙座流星雨的极大发生在每年的( )月份。

(A) 4 (B) 8 (C) 11 (D) 12

25. 对北京观测者,在一天之中以下正确的是( )。

(A) 天顶的赤经坐标不变 (B) 天顶的赤纬坐标不变 (C) 织女星的时角坐标不变 (D) 织女星的赤经坐标随时间变化

28. 2004年5月5日将发生一次月全食,届时月亮的赤经大致是( )小时。

(A) 3 (B) 9 (C) 15 (D) 21

其余题目同低年组

## 决赛试题

考试时间: 2004年5月3日, 考试地点: 北京

### 低年组

#### 一、选择题

01. 下面星座中( )是与狮子座相邻的星座。

(A) 金牛座 (B) 巨蟹座 (C) 小熊座 (D) 猎户座

02. 神舟四号飞船于2002年12月30日0时40分发射,2003年1月5日19时16分成功着陆。神舟五号飞船与它的轨道基本一致,那么神舟四号飞船一共环绕地球飞行了(C)。

(A) 不到10圈 (B) 25圈左右 (C) 110圈左右 (D) 超过200圈

03. 一般彗星的彗尾的方向和彗星的运动方向( )。

(A) 一致 (B) 相差90度左右 (C) 相反 (D) 没有关系

04. 古书上说“斗柄东指,天下皆春;斗柄南指,天下皆夏;斗柄西指,天下皆秋;斗柄北指,天下皆冬”。这指的是每天( )看到的天象。

(A) 傍晚时 (B) 半夜时 (C) 凌晨时 (D) 任何时间

05. 2004年4月23日18时发生“金星合月”的天象。这指的是金星和月球( )。

(A) 视位置最接近 (B) 方位角相等 (C) 赤经相等 (D) 黄经相等

06. 仙女座大星系是银河系的姐妹星系,距离我们大约1Mpc。如果它发的光相当于里面有100亿个太阳,我们会看到仙女座大星系的总亮度为( )等。

(A) 0 (B) 2 (C) 5 (D) 10

07. 以下不正确的说法是( )。

- (A) 对地球上的观测者而言，整个20世纪没有发生过金星凌日 (B) 我国发射的第一颗人造卫星“东方红一号”目前仍在绕地球轨道上运行 (C) 澳大利亚近80岁的彗星猎手布雷德菲尔德不久以前使用25厘米反射望远镜目视发现了C/2004 F4彗星 (D) 由地球绕太阳一周其自转轴方向的变化可以求出北极星到太阳的距离

08. 在北京2004年5月16日可以( )看到月亮。

- (A) 黎明时在东方 (B) 黎明时在西方 (C) 傍晚时在东方 (D) 傍晚时在西方

09. 在2004年5月5日凌晨的月全食观测中，按重要性的大小排列，需要考虑的因素依次是( )。

- (A) 观测地点、天气、安全 (B) 天气、观测地点、安全 (C) 天气、安全、观测地点 (D) 安全、天气、观测地点

10. 到目前为止发现的木星卫星的总数大致是( )。

- (A) 30左右 (B) 40左右 (C) 60左右 (D) 90左右

答案：B C D A D D D A D C

## 二、问答题(需给出解题步骤)

11. 某次金星凌日，甲乙二人在相距5000千米(直线距离，不是弧长)的两地进行观测，记录下各个时刻金星在日面上的投影位置。观测结束后他们进行对比，发现当两人连线垂直于地球-金星连线时，他们记录的金星日面投影位置有25角秒的差别。基于这个观测事实计算出的1天文单位(地球-太阳距离)大约是多少千米？(由开普勒第三定律，他们已知金星公转的轨道半径是地球公转轨道半径的72%)。

**解答** 25''是金星对于5000千米基线的视差，所以可以求出在凌日时地球到金星的距离为：

$$d = \frac{5000 \text{ km}}{25''/206265''} = 4.125 \times 10^7 \text{ km}$$

这是地球公转轨道半径和金星公转轨道半径的差，即为(1-0.72)AU，所以这次观测得到：

$$1 \text{ AU} = \frac{d}{0.28} = \frac{4.125 \times 10^7}{0.28} = 1.47 \times 10^8 \text{ km}$$

12. 晚上用一台一百万像素的数码相机拍摄10千米远处山路上迎面开来的一辆开着前面大灯的轿车。相机镜头口径是1.2厘米，对应20度×20度的视场。请问所拍的相片上能不能分辨出那辆车的前灯是两个？

**解答** 一般轿车两前灯距离大约是1.5米，1.5米在5千米处所张的角为：

$$\alpha = \frac{1.5}{5 \times 10^3} \times 206265'' \approx 62''$$

口径D为1.2厘米的相机在光学波段(可取波长为5000埃

左右)对应的衍射极限分辨角为：

$$\theta = 1.22 \frac{\lambda}{D} = 1.22 \cdot 5000 \cdot 10^{-8} / 1.2 \text{ 弧度} \approx 10'' < \alpha$$

百万像素的相机底版一个像素对应的视角为：  
20°/1024 ≈ 70'' > α，可见虽然汽车两个前灯所张的角远大于相机口径的分辨率却小于底版上一个像素的大小，所以相片上是显不出汽车有两个前灯的，只是一个亮点而已。

13. 假设一颗小行星2003年3月12日在午夜上中天时被发现，昨天晚上观测到该小行星又一次在午夜上中天。试求该小行星到太阳的距离(假定圆轨道)。

**解答** 设地球的轨道周期为P<sub>e</sub>，小行星的轨道周期为P<sub>a</sub>，小行星两次午夜上中天的时间间隔为T，则在T时间内地球比小行星多转了一圈(2π弧度)，因此：

$$\frac{2\pi}{P_e} \times T - 2\pi = \frac{2\pi}{P_a} \times T$$

代入P<sub>e</sub> = 1年，T = 8/7年，得P<sub>a</sub> = 8年。然后利用开普勒第三定律，可以得到该小行星的轨道半径为4AU。

14. SOHO是一颗可以对太阳活动进行每天24小时不间断监测的卫星，它总是位于太阳和地球之间、太阳和地球的连线上一点(严格地说，为了避免太阳对卫星与地面通讯的干扰，卫星要偏离太阳和地球的连线一些，这里我们不考虑这些细节)，也就是说其绕太阳运转的周期和地球一样是1年。试估算SOHO卫星到地心的距离(可以认为地球和卫星轨道都是圆的)。

**解答** SOHO卫星受到太阳和地球的引力，两个引力的合力使得卫星绕太阳做周期P = 1年的圆周运动。设太阳质量为M，地球质量为m，卫星质量为m<sub>s</sub>，太阳到地球的距离为a，卫星到地心距离为r，则根据圆周运动规律：

$$\frac{GM \cdot m_s}{(a-r)^2} - \frac{Gm \cdot m_s}{r^2} = m_s \cdot \left(\frac{2\pi}{P}\right)^2 \cdot (a-r) \quad \dots \dots (1)$$

地球运动满足：

$$\frac{GM \cdot m}{a^2} = m \cdot \left(\frac{2\pi}{P}\right)^2 \cdot a \quad \dots \dots (2)$$

把(2)代入(1)消去P，得：

$$\frac{GM}{(a-r)^2} - \frac{Gm}{r^2} = \frac{GM \cdot (a-r)}{a^3}$$

即：

$$\frac{M}{a^2} \cdot \left(1 - \frac{r}{a}\right)^{-2} - \frac{m}{r^2} = \frac{M}{a^2} \cdot \left(1 - \frac{r}{a}\right)$$

因为r/a ≪ 1，利用近似公式(1+x)<sup>a</sup> = 1+ax处理上式左边第一项，得到：

$$\frac{M}{a^2} \cdot \left(1 + \frac{2r}{a}\right) - \frac{m}{r^2} = \frac{M}{a^2} \cdot \left(1 - \frac{r}{a}\right)$$

求解上式得 $r = 150$ 万千米。

SOHO所在的点的学名是太阳地球系统的第一拉格朗日点 $L_1$ 。

15. 某个北京的天文爱好者在和同伴一起郊游的时候在密林中迷路了。半夜，天非常好，可是高大繁茂的树枝和浓密的树叶遮住了绝大部分的星空，只在头顶非常高的地方露出了20度见方的天空，从这里他可以看到组成了一个梯形的四颗亮星。请你帮他找到一个判断方向的办法。

**解答** 夏夜星空中呈梯形的亮星组合很多，因此我们不能准确判断出这四颗星究竟属于哪一个星座。选中任意两颗星(或三颗)，观察一段时间，记下它们在天上的运动轨迹，轨迹垂线所指的方向就是南北方向，然后再比较恒星轨迹弧线的长短就可定出北方(因为在北京，天顶位于天赤道以北，越靠近北极，星迹越短)。

## 高年组

### 一、选择题

第1、2、3、4、5、6、7、9、10题与低年组相同

08. 观测发现有一个天体颜色和太阳很相似。利用各种可能手段估计它的距离，进而估计它的绝对星等，发现它的绝对星等要比太阳暗几个星等。这颗星最可能属于( )。

- (A) 红巨星 (B) 白矮星 (C) 彗星 (D) 小行星

答案：B

### 二、问答题(需给出解题步骤)

第11、14、15题与低年组第13、14、12题相同

12. 三颗质量各为太阳质量 $1/3$ 的恒星组成以它们为顶点的一个边长为1AU的等边三角形，并在它们所构成的平面内绕共同质心转动。求其转动周期。

**解答** 设每颗星质量为 $M$ ，任两颗星距离为 $a$ (等边三角形边长)，则易得每颗星到共同质心的距离为： $r = a/\sqrt{3}$ ，它受另外两颗星的引力和为(指向质心)：

$$F = \frac{GM^2}{a^2} \times \sqrt{3}$$

利用向心力公式：

$$F = M \cdot \left(\frac{2\pi}{P}\right)^2 \cdot r \quad (P \text{ 为转动周期})$$

得到：

$$P^2 = \frac{4\pi^2}{G} \cdot \frac{a^3}{3M}$$

根据地球绕太阳公转周期为一年的事实，有：

$$(1 \text{ 年})^2 = \frac{4\pi^2}{G} \cdot \frac{(1 \text{ AU})^3}{M_{\text{sun}}}$$

将两式相除得：

$$P = \sqrt{\left(\frac{a}{1 \text{ AU}}\right)^3 \cdot \sqrt{\frac{M_{\text{sun}}}{3M}}} \text{ 年} = 1 \text{ 年}$$

13. 2050年的一次太空探测中，飞船上的宇航员准备在距离一颗小行星很远的地方发射一个相对于小行星速度为 $V$ 的探测器，使得这个探测器在小行星的引力作用下接近小行星，并能够恰好贴着小行星的表面着陆。已知这颗小行星质量为 $M$ ，半径为 $R$ 。为达到上述要求，宇航员应该选择瞄准距 $b$ 为多大？(不考虑太阳的引力作用，瞄准距 $b$ 定义为小行星的中心到探测器初速度方向所在直线的垂直距离。)

**解答** 设探测器质量 $m$ ，贴着小行星表面时速度为 $V_0$ ，由机械能守恒：

$$\frac{mV^2}{2} = -\frac{GMm}{R} + \frac{mV_0^2}{2}$$

考虑到探测器在小行星引力作用下的运动应该满足开普勒定律，根据开普勒第二定律，探测器和小行星的连线在相同时间 $\Delta t$ 内扫过相同的面积，在很远的地方这个面积为一个很细长的底边为 $V \times \Delta t$ 、高为 $b$ 的三角形的面积，在着陆时为底边为 $V_0 \times \Delta t$ 、高为 $R$ 的三角形的面积，于是有：

$$V \times b = V_0 \times R$$

联立以上两式并消去 $V_0$ ，可求得瞄准距需满足：

$$b = R \times \sqrt{1 + \frac{2GM}{RV^2}}$$

16. 请对北京(东经120度，北纬40度)和海口(东经110度，北纬20度)两个不同的观测地点大致排出分别在2004年3月21日和2004年10月30日两天晚上对下述8个天体(括号内是它们的赤道坐标)进行光学观测的时间和顺序。  
①仙女座 $\alpha$ (0小时，+30度)；②M45(4小时，+25度)；③天狼星(7小时，-20度)；④南十字座 $\beta$ (13小时，-60度)；⑤天蝎座 $\delta$ (16小时，-20度)；⑥仙王座 $\beta$ (21小时，+70度)；⑦月球(两天的坐标分别为1小时，+1度和4小时，+24度)；⑧灶神星(两天的坐标分别为21小时，-17度和23小时，-16度)。

**解答** 在北京(北纬40度)只能观测赤纬大于-50度的天体，在海口(北纬20度)只能看到赤纬大于-70度的天体。

3月21日(春分)，太阳坐标为 $(0^\circ, 0^\circ)$ 。北京：④看不到，天一黑马上看①②，然后看③⑤⑥，天亮之前看⑧。海口：⑦看不到，天一黑马上看①②，然后看③(或者，天亮之前看③)。

10月30日，太阳坐标为 $(14\text{时}20\text{分}, -14\text{度})$ 。北京：④看不到，②因为月亮也可能看不到，天一黑看⑤，之后顺序看⑥⑧①⑦③。海口：④因为太阳看不到，②因为月亮也可能看不到，海口比北京黑得晚，天一黑马上看⑤，之后顺序看⑥⑧①⑦③。

# 2005年全国中学生天文奥林匹克竞赛试题

## 预赛试题（高年组和低年组）

全国天文奥赛组委会 供稿

考试时间：2005年3月19日

01. 中国月球探测计划的名称是( )。  
(A) 神舟 (B) 嫦娥 (C) 飞天 (D) 夸父
02. 在土卫六着陆的探测器的名字是( )。  
(A) 卡西尼 (B) 惠更斯 (C) 钱德拉 (D) 深入撞击
03. 在2004年的第九届国际天文奥赛上，中国队获得( )块奖牌。  
(A) 0 (B) 2 (C) 4 (D) 5
04. 截止到2005年3月中旬，发现过SOHO彗星的中国人有( )位。  
(A) 2 (B) 4 (C) 5 (D) 至少6
05. 截止到2005年3月中旬，由中国人发现并获得命名的彗星有( )颗。  
(A) 0 (B) 1 (C) 5 (D) 8
06. 北京天文馆新馆落成的时间是( )。  
(A) 2003年5月 (B) 2003年10月 (C) 2004年12月 (D) 2005年2月
07. 《天文爱好者》杂志目前是( )。  
(A) 周刊 (B) 月刊 (C) 双月刊 (D) 季刊
08. “蟹状星云”在梅西叶星云星团表中的编号是( )。  
(A) M1 (B) M7 (C) M44 (D) M81
09. 蜂巢星团(鬼星团)位于( )。  
(A) 巨蟹座 (B) 室女座 (C) 双子座 (D) 金牛座
10. 从地球上看，以下哪些天体在天球上的角距离最近？  
(A) M44 和M67 (B) M31 和M110 (C) M33 和M34  
(D) M41 和M42
11. 银河在以下哪两个相邻的星座之间( )穿过？  
(A) 武仙座和北冕座 (B) 大熊座和小熊座 (C) 双子座和猎户座 (D) 南鱼座和宝瓶座
12. 北斗七星大多数的亮度约为( )。  
(A) 0 等左右 (B) 2 等左右 (C) 3 等左右 (D) 4 等及以上
13. 北斗七星在天空中所占的角度大约是( )度。  
(A) 小于5 (B) 10 (C) 25 (D) 至少35
14. 每年10月8日左右有可能出现极大的是( )流星雨。  
(A) 猎户座 (B) 双子座 (C) 天龙座 (D) 英仙座
15. 中国发现近地小行星最多的单位是( )。  
(A) 紫金山天文台 (B) 北京天文台 (C) 上海天文台 (D) 北京天文馆
16. 中文星名“南河三”对应的西方星名是( )。  
(A) 双子座 $\alpha$  (B) 双子座 $\beta$  (C) 大犬座 $\alpha$  (D) 小犬座 $\alpha$
17. 在下一次农历十五，月亮落山时，正对月亮看，第谷环形山在月面的( )。  
(A) 左上角 (B) 右上角 (C) 左下角 (D) 右下角
18. 在北京的观测者有可能在天顶附近看到的天体是( )。  
(A) 太阳 (B) 月亮 (C) 谷神星 (D) 国际空间站
19. 某望远镜物镜的口径和焦距分别为60和900毫米，目镜的口径和焦距分别为15和20毫米，则望远镜的放大倍数为( )倍。  
(A) 3 (B) 4 (C) 45 (D) 60
20. 以下哪些媒体报道的内容是最不可能的( )。  
(A) 有人于2003年11月20日晚在北京附近看到了极光 (B) 2004年12月的兰州陨石事件与随后不久的印尼海啸存在某种物理联系 (C) 有人用家用摄像机拍到了大小、颜色、形状都不断变化的未知物体 (D) 中国第19次南极科考队在格罗夫山收集到4000多块陨石
21. 某报称，某地发现了在一天当中太阳和月亮同现天空的“日月同辉”罕见天象。在天气晴朗时，这种现象平均( )出现一次。  
(A) 一两天 (B) 一周左右 (C) 一个月 (D) 百年不遇
22. 2005年出现的日、月食次数总共是( )次。  
(A) 少于3次 (B) 4 (C) 6 (D) 至少7次

23. 2005年1月上旬C/2004 Q2(麦克霍尔兹彗星)位于( )附近。  
(A) 双子座 (B) 大熊座 (C) 金牛座 (D) 巨蟹座

24. 下一次发生在中国境内的日全食的时间是( )。  
(A) 2006年3月 (B) 2007年3月 (C) 2008年8月 (D)  
2009年7月

25. 外行星在冲日的时候处于( )。  
(A) 逆行 (B) 逆行 (C) 留 (D) 逆行和逆行都有可能

26. 在以下哪些日期在观测条件允许时太阳表面没有肉眼可以看到的黑子( )。  
(A) 2003年10月28日 (B) 2003年11月25日  
(C) 2004年12月15日 (D) 2005年1月15日

27. 2005年3月20日北京时间0时北京的观测者的天顶附近的星座是( )。

(A) 大熊座 (B) 牧夫座 (C) 猎户座 (D) 天鹅座

28. 2005年2月9日中午12时月亮的方位角(南点起算)大约是( )度。  
(A) 0 (B) 90 (C) 180 (D) 270

29. 你也许观测过铱星闪光。请估计一下满月所产生的最亮的铱星闪光的大致亮度为( )。

(A) 亮于-3等 (B) 0等左右 (C) 5等左右 (D) 暗于8等

30. 此刻北京的地方恒星时大概是( )小时。  
(A) 3 (B) 9 (C) 15 (D) 21

#### 说明及标准答案:

1. 低年组共25题，其中第1-24题与高年组相同，第25题为高年组第29题。

2. 实际试卷每题前4个选项的次序可能跟本卷不同。

3. 高年组标准卷答案: BBCDD CBAAB CBCCB DCDCB  
ABCCB CAACA

## 决赛暨北京邀请赛试题

全国天文奥赛组委会 供稿

考试时间: 2005年5月3日, 考试地点: 北京

### 理论试题(高年组)

#### 一、选择题

01. Deep Impact飞船探测的目标是( )。  
(A) C/2004 Q2彗星 (B) 一颗近地小行星 (C) 一颗大行星的卫星 (D) 坦普尔1号彗星

02. 今天晚上有可能看到( )产生的流星雨。  
(A) 3200号小行星 (B) 21P彗星 (C) 哈雷彗星 (D) 比拉彗星

03. 九天前刚发生过一次半影月食。当时月食发生的时间大概是北京时间( )。  
(A) 天亮前后 (B) 中午 (C) 天黑前后 (D) 半夜

04. 近年来比较新的观测结果表明宇宙目前的膨胀情况是( )。  
(A) 加速膨胀 (B) 减速膨胀 (C) 匀速膨胀 (D) 没有膨胀

05. 从地球上看, 地内行星从由晨星变为昏星的时间是( )的前后。  
(A) 上合 (B) 下合 (C) 西大距 (D) 留

06. 下个星期三1号小行星谷神星冲日。现在它到地球的距离大致是( )天文单位。  
(A) 1.0 (B) 1.7 (C) 2.7 (D) 大于3.5

07. 在水星上每年什么时候最热? ( )  
(A) 水星位于近日点附近时 (B) 水星位于远日点附近时  
(C) 水星上四季气温没有明显变化, 因此没有最热的时候  
(D) 和地球类似, 当水星上太阳高度角最大的时候最热

08. 假如有一天你登上了金星, 以下辨认方向的方法中不合适的是( )。  
(A) 利用指南针 (B) 根据恒星的位置 (C) 根据太阳的周日视运动 (D) 根据麦克斯韦山脉、大火山等典型地貌

09. 一次小行星掩星现象一般的持续时间是( )。  
(A) 几秒钟 (B) 几分钟 (C) 几小时 (D) 一天以上

10. 已知某大行星的一颗卫星距离其中心354000千米, 该卫星的公转周期为5天21小时, 则该大行星与地球的质量比约为( )。  
(A) 12.3 (B) 15.6 (C) 17.3 (D) 20.9

答案: D、C、C、A、A、B、A、A、A、C

#### 二、计算题(需给出解题步骤, 包括必要的计算公式和数值解答)

1. 假如把太阳放在距离地球1秒差距的地方, 计算它相对于地球的张角。

**解答** 设太阳的角半径为 $R$ , 地球到太阳的距离为 $r$ , 太阳的视直径为 $\alpha$ 弧度:

$$\sin \alpha = R/r$$

太阳的视角半径 $\alpha_1 = 15'$ , 日地距离为 $r_1 = 1\text{AU}$ , 假想太阳的距离 $r_2 = 1\text{秒差距}$ , 因此:

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{R/r_1}{R/r_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

可以求出：

$$\alpha_2 = \frac{r_1 \cdot \alpha_1}{r_2} = 7.27 \times 10^{-5} \text{ 角分}$$

此时的太阳张角为：

$$2\alpha_2 = 2 \times 7.27 \times 10^{-5} \text{ 角分} = 0.0087''$$

2. 假定在与某天体方向垂直的基线两端相距10000千米的地面观测者A和B，测得该天体相对恒星背景的位置差为49''，问这时该天体距地球的距离是多少？

当该天体离地球最近时，测得角直径为64''，离地球最远时，测得角直径为10''，假定该天体和地球都是圆轨道，问该天体和地球的公转轨道半径之比是多少？

解答

1) 天体的距离为：

$$d = \frac{10000}{\sin 49''} = 10000 / \left( \frac{49}{3600 \times 57.3} \right) = 4.2 \times 10^7 \text{ km}$$

2) 设地球的公转轨道半径为R，天体的公转轨道半径为r，D为天体距离地球最远时的距离，d为天体距离地球最近时的距离。分两种情况考虑：当天体公转轨道在地球公转轨道之内时，应该有：

$$D = \frac{R+r}{2} = \tan \frac{64''}{2}, d = \frac{R-r}{2} = \tan \frac{10''}{2}$$

可以求出：

$$R/r = 37/27$$

当天体公转轨道在地球公转轨道之外时，可以求得： $R/r = 27/37$ 。

如果 $r/R = 37/27 = 1.37$ ，则该天体与地球的距离最近时为 $0.37 \text{ AU} > 4.2 \times 10^7 \text{ km}$ ，因此该天体只可能在地球轨道之内绕太阳运行，所以： $r/R = 27/37 = 0.73$ 。

3. 天文爱好者经常用下述方法测量目视望远镜的视场大小：找到一颗已知赤纬的恒星，调整好望远镜的位置，使恒星能在望远镜东西方向的最大视场直径内通过。根据它通过的时间可以算出视场大小。

用一架口径400毫米、焦距4000毫米的望远镜观测，五车二( $\alpha$ Aur，赤纬为 $+46^\circ 0' 14.4''$ )通过视场的时间为2.5分钟。

(1) 请你估计能否用这个系统看到整个满月？

(2) 在这个望远镜的物镜焦平面上搁置照相底片(大小为 $4\text{cm} \times 4\text{cm}$ )拍摄满月，像的直径为多少，望远镜能否拍下整个满月？

解答

(1) 目视望远镜的视场的直径为：

$$\omega = 15' \times t \times \cos \delta = 15' \times 2.5 \times \cos 46.24^\circ \approx 26'$$

满月的视角直径约为 $30'$ ， $\omega < 30'$ ，所以用这个望远镜系统看不到整个满月。

(2) 满月的视角直径约为 $30$ 角分，底片宽度为 $40\text{mm}$ ，这个望远镜的底片比例尺为：

$$\alpha = 206265/F''/\text{mm} \approx 52''/\text{mm}$$

月亮在底片上所成的像的直径约为：

$$d = 30 \times 60''/\alpha \approx 35 \text{ mm}$$

月亮像的直径比底片边长小，所以在底片上能完整地拍摄下整个满月。

## 理论试题(低年组)

### 一、选择题

1~6题与高年组相同。

7. 在地面上能观测到的铱卫星闪光的最大亮度约为( )。

- (A) 暗于-5 (B) 0 (C) -5 (D) 亮于-8

8. 2005年第10届国际天文奥林匹克竞赛的举办地点为( )。

- (A) 北京 (B) 莫斯科 (C) 克里米亚 (D) 西伯利亚

答案：D、A

### 二、计算题

1. 从某个恒星上看，日地平均距离(1天文单位)所张的角为 $1''$ 时，把恒星到太阳的距离叫1秒差距。假如把太阳放在距离地球1秒差距的地方，计算它相对于地球的张角。

解答 设太阳的角半径为R，地球到太阳的距离为r，太阳的视角直径为 $\alpha$ 弧度：

$$\sin \alpha = R/r$$

太阳的视角半径 $\alpha_1 = 15'$ ，日地距离为 $r_1 = 1\text{AU}$ ，假想太阳的距离 $r_2 = 1$ 秒差距，因此：

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{R/r_1}{R/r_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

可以求出：

$$\alpha_2 = \frac{r_1 \cdot \alpha_1}{r_2} = 7.27 \times 10^{-5} \text{ 角分}$$

此时的太阳张角为：

$$2\alpha_2 = 2 \times 7.27 \times 10^{-5} \text{ 角分} = 0.0087''$$

2. 与高年组相同

## 实测与观测笔试试题(高年组)

考试时间：2005年5月4日，考试地点：北京

## 一、选择题

1. 在北京观测，今天晚上9点木星位于( )方向。  
(A) 东南 (B) 西南 (C) 西北 (D) 东北
2. 目前土星位于( )。  
(A) 猎户座 (B) 狮子座 (C) 双子座 (D) 室女座
3. 在北京观测，今天猎户座开始落到地平线以下的时间大致是( )。  
(A) 白天 (B) 晚上8点 (C) 半夜12点 (D) 凌晨3点
4. 牛郎星(Altair)和织女星(Vega)的角距离大约是( )度。  
(A) 小于5 (B) 15 (C) 40 (D) 大于60

答案: A、C、B、C

## 二、问答题

1. 恒星的数目。1997年6月，欧洲空间局Hipparcos卫星的观测数据正式发表，这就是Hipparcos星表，该表包括太阳附近118000多颗恒星的星等、视差、色指数等数据，是研究恒星及银河系的重要资料。Hipparcos星表的极限视星等约为10~12等，最远距离约为几千秒差距。下表对Hipparcos星表中所有视星等 $v \leq 10$ 等并且视差 $\pi \geq 0.01$ 角秒的主序星数目进行了统计。下面以第6行为例解释它的含义，该行表示在所选的主序星中，绝对星等 $-0.5 \leq M_v < 0.5$ 的有145颗， $M_v < 0.5$ 的共有197颗。

绝对星等 ( $M_v$ )	主序星 个数(N)	主序星 总数( $N_{total}$ )	改正双星 后的数目
-4	2	2	
-3	3	5	
-2	6	11	
-1	41	52	
0	145	197	
1	536	733	
2	1518	2251	
3	3779	6030	
4	5708	11738	
5	4028	15766	
6	1643	17409	
7	605	18014	
8	211	18225	
9	63	18288	
10	29	18317	
11	5	18322	
12	3	18325	
13	0	18325	

(1) 请据此估计太阳附近100pc范围内的主序星总数。假设这些主序星都是单星。

(2) 天空中存在着大量双星和聚星系统，由于它们距离很远，Hipparcos卫星难以分辨，因此在Hipparcos星表中，很多双星和聚星系统都被当作了单星。假设所给的表里统计的恒星中，有50%的恒星其实是双星(忽略聚星系统)，并且假设这些双星系统中，伴星光度与主星光度相等，请对表中的统计结果进行修正，求出改正双星效应后的恒星数目，将结果填入表的空处，应列出必要的计算公式。如果恒星数目不是整数，按四舍五入法则化为整数。

解答

(1) 根据 $M_V = m + 5 + 5 \lg \pi$ 可知， $m = 10$ 等、 $\pi = 0.01$ 角秒时(即100pc)， $M_V = 5$ 等。也就是说，表中所列出来的主序星数目只对 $M_V < 5$ 等的恒星是完备的，对 $M_V > 5$ 等的恒星则统计不完全。

用 $R_{l(i)}$ 表示在极限视星等为 $10^m$ 的条件下，绝对星等为 $M_{V(i)}$ 的恒星能被观测到的最远距离。 $N_{0(i)}$ 表示样本中绝对星等为 $M_{V(i)}$ 的恒星的数目， $N_{real(i)}$ 则为太阳周围绝对星等为 $M_{V(i)}$ 的恒星的实际数目。假设主序星在空间呈球形的均匀分布：

$$M_{V(i)} = m + 5 - 5 \lg R_{l(i)}$$
$$m = 10^m \Rightarrow \lg R_{l(i)} = \frac{15 - M_{V(i)}}{5}$$
$$N_{real(i)} = N_{0(i)} \times \left( \frac{R_0}{R_{l(i)}} \right)^3, \quad \text{当 } R_{l(i)} < R_0 \text{ 时}$$

式中 $R_0 = 100\text{pc}$ ，当 $R_{l(i)} > R_0$ 时， $N_{real(i)} = N_{0(i)}$ 。代入数据计算所得结果见下页上表，即太阳附近100pc范围内的主序星总数大致为157500颗。

绝对星等 ( $M_v$ )	主序星 个数(N)	主序星 总数( $N_{total}$ )	改正双星 后的数目
-4	2	2	1
-3	3	5	4
-2	6	11	6
-1	41	52	27
0	145	197	114
1	536	733	413
2	1518	2251	1295
3	3779	6030	3408
4	5708	11738	6633
5	4028	15766	7722
6	1643	17409	4850
7	605	18014	1946
8	211	18225	711
9	63	18288	243
10	29	18317	78
11	5	18322	32
12	3	18325	7
13	0	18325	3

(2) 根据 $M \propto -2.5 \lg L$ 可知，双星系统的合成星等为：

$$M_{V,sys} = -2.5 \lg (10^{-0.4M_{V,pri}} + 10^{-0.4M_{V,sec}})$$

绝对星等( $M_V$ )	个数( $N$ )	总数( $N_{total}$ )	极限距离(pc)	实际数目
-4	2	2	100	2
-3	3	5	100	3
-2	6	11	100	6
-1	41	52	100	41
0	145	197	100	145
1	536	733	100	536
2	1518	2251	100	1518
3	3779	6030	100	3779
4	5708	11738	100	5708
5	4028	15766	100	4028
6	1643	17409	63.1	6541
7	605	18014	39.8	9589
8	211	18225	25.1	13313
9	63	18288	15.8	15825
10	29	18317	10.0	29000
11	5	18322	6.3	19905
12	3	18325	4.0	47547

总共157486颗

式中  $M_{V,pri}$  代表主星的绝对星等,  $M_{V,sec}$  代表伴星的绝对星等。

当双星的两子星光度相等时, 合成星等比每颗子星约亮0.75等。所给的表中对所有的双星系统给出的都是合成星等, 以第6行为例, 145颗恒星中, 有72.5个实际上是双星, 它们的总绝对星等为0等, 单颗星的绝对星等应为0.75等, 应落在  $0.5 \leq M_v < 1$  中(第7行)。因此经过双星改正后, 第6行应该减少72.5颗星(73), 而第7行应该增加145颗星。其余各行都依此类推。即第n行改正双星效应后的星数为:

$$N'_n = \frac{N_n}{2} + N_{n-1}$$

改正双星数目后的表格如上页的右下表所示。

注: 如果假设恒星在各个  $M_V$  区间段均匀分布, 然后按照:

$$N'_n = \frac{N_n}{4} + \frac{3N_{n-1}}{4}$$

来求改正双星后的数目, 也是正确的。

2. 观测计划。今天晚上准备在考试地点(北京郊区韩村河)观测以下的天体或天象: 日出和日落、太阳黑子; 月面; 火星(已知5月2日23时火星合月); 土星光环; 木星的大红斑和伽利略卫星; 天王星(赤经22小时48分, 赤纬-8.5度, 5.9等); 宝瓶座η流星雨; 不久以前刚刚发现的超新星2005 bu(赤经07:22:18.21, 赤纬+22:02:39.2, 17.5等); 1号小行星谷神星(5月11日冲日, 赤纬-8.5度, 7.0等); 国际空间站19:39-19:46可见, 方向西南偏南到东南到正东, 最亮时-0.1等, 距离1068千米, 地平高度15度; 梅西叶天体M6, M7, M31, M42; 银星闪光02:42, 银星62, 东南偏东, 13度, -1.6等; 02:52, 银星63, 东南偏东, 17度, -3.3等;

双星: 仙王座δ; 天鹅座β。

可以使用的观测设备: 带三脚架的12×50双筒望远镜。请你按照时间的先后顺序列出今晚的观测计划表(见下页上表)。

### 解答

(高年组)除了出现时间有严格限制的观测项目(如国际空间站等)外, 对其他观测目标应尽量在其上中天或地平高度较高时观测。观测流星雨时, 不应同时观测其他天体。参考表格如下页下表所示。

## 实测与观测笔试试题(低年组)

### 一、选择题

与高年组相同

### 二、问答题

1、与高年组相同

2、观测计划。日出和日落、太阳黑子; 月面; 土星光环; 木星的伽利略卫星; 天王星(赤经22小时48分, 赤纬-8.5度, 5.9等); 宝瓶座η流星雨; 1号小行星谷神星(5月11日冲日, 赤纬-8.5度, 7.0等); 国际空间站19:39-19:46可见, 方向西南偏南到东南到正东, 最亮时-0.1等, 距离1068千米, 地平高度15度; 梅西叶天体M6, M7, M31, M42; 银星闪光02:42, 银星62, 东南偏东, 13度, -1.6等; 02:52, 银星63, 东南偏东, 17度, -3.3等。

其他部分与高年组相同。

### 解答

参见高年组。

观测计划表					
观测日期:		观测地点:		观测者:	
序号	观测时间	观测方位	观测内容	使用设备	观测情况说明
.....	.....	.....	.....	.....	.....

观测计划表					
观测日期: 2005.5.4		观测地点: 北京韩村河		观测者:	
序号	观测时间	观测方位	观测内容	使用设备	观测情况说明
01	19点以前	西北	太阳黑子		无滤光片, 不能观测
02	19:12	西北	日落	肉眼	
03	19:39-19:46	西南偏南-东南-正东	国际空间站	均可	都比较困难
04	15:06上中天-21:01落	西南	M42	双筒	较低, 难以观测
05	17:06上中天-0:31落	西	土星及其光环	双筒	光环困难
06	19:00上中天-0:00落	西南-西	超新星2005bu		17.5等, 太暗看不见
07	22:41上中天-0:57落	南	木星红斑及其卫星	双筒	红斑看不见
08	19:12升-0:48中天-6:15落	中天时	谷神星	双筒	接近冲日
11	仅2:42	东南偏东	铱星62	皆可	
12	仅2:52	东南偏东	铱星63		
17	2:14升-7:30上中天	辐射点40度区域	宝瓶座 $\eta$ 流星雨	肉眼	独占2:00-3:30
10	21:06升-4:54中天	东南	天鹅座 $\beta$	双筒	双星
14	2:22升-7:44上中天	东偏南	火星	皆可	
15	23:07升-2:55中天-6:52落	接近上中天时	M6和M7	双筒	宝瓶座流星雨间隙
16	2:36升-8:10上中天	东偏南	天王星		
13	1:04升-10:16上中天	东南	M31	皆可	
18	3:34升-9:43上中天	东-东南-南	月亮	皆可	3:30以后
09	永不下落, 7:30最高	北	仙王座 $\delta$	双筒	双星
19	5:10	东北	日出	肉眼	

# 2006年全国中学生天文奥林匹克竞赛试题

## 预赛试题

全国天文奥赛组委会 供稿

考试时间：2006年3月18日

01. 乘坐神舟六号载人飞船进入太空的宇航员是( )。  
(A) 杨立伟 (B) 聂海胜和翟志刚 (C) 翟志刚和聂海胜  
(D) 费俊龙和聂海胜

02. 中国学生在2005年国际和亚太地区的天文奥林匹克竞赛中获得的金、银、铜牌总数为( )。  
(A) 5 (B) 10 (C) 15 (D) 20

03. 第一届亚太地区天文奥林匹克竞赛的举办国是( )。  
(A) 中国 (B) 印度 (C) 俄罗斯 (D) 乌克兰

04. 2006年第4期《天文爱好者》杂志的出版日期应该是2006年( )。  
(A) 3月20日 (B) 4月1日 (C) 4月15日 (D) 4月20日

05. 2004年11月美国发射的伽玛射线探测卫星的名称是( )。  
(A) 雨燕 (B) 新视野 (C) 斯必泽 (D) 深度撞击

06. 2005年7月，美国科学家宣布发现太阳系“第十大行星”。其编号是( )。  
(A) 2003 EL61 (B) 2003 UB313 (C) 2005 FY9 (D)  
(90377) Sedna

07. 离2009年日全食带中心线最近的城市是( )。  
(A) 大连 (B) 北京 (C) 上海 (D) 广州

08. 目前发现的冥王星的卫星数目是( )。  
(A) 0 (B) 1 (C) 3 (D) 至少5

09. 不久前被人类航天器撞击过的彗星是( )。  
(A) 1P/Halley (B) 9P/Temple 1 (C) 19P/Borrelly  
(D) (25143) Itokawa

10. 半个月前北半球最有可能被肉眼观测到的彗星的编号是( )。  
(A) 73P (B) C/2004 Q2 (C) C/ 2006 A 1 (D) P/  
2006 G 5

11. 本周发生的半影月食的发生时段是北京时间( )。

- (A) 上午 (B) 下午 (C) 前半夜 (D) 后半夜

12. 以下哪些不是最近一个月之内发生的天文事件( )。  
(A) 木星上发现“小红斑” (B) Spacewatch 宣布终止FMO  
项目 (C) 欧洲最大推力火箭一箭双星发射失败 (D) 美国  
火星探测器成功进入火星轨道

13. 下一次水星凌日的时间是( )。  
(A) 2006年11月 (B) 2008年4月 (C) 2013年11月 (D)  
2016年5月

14. 以下最适于进行梅西叶天体马拉松观测的时间是( )。  
(A) 2006年1月19日 (B) 2006年2月2日 (C) 2006年3  
月29日 (D) 2006年5月10日

15. 下列梅西叶天体离我们最近的是( )。  
(A) M33 (B) M57 (C) M81 (D) M101

16. M51位于( )座。  
(A) 大熊 (B) 小熊 (C) 巨蟹 (D) 猎犬

17. 白羊座中一等星和亮于一等星的恒星数目总和是( )颗。  
(A) 0 (B) 1 (C) 2 (D) 大于或等于3

18. 下列恒星中看上去最暗的是( )。  
(A) 天狼星 (B) 大角星 (C) 北极星 (D) 北河三

19. 木星伽利略卫星中最小的一颗是( )。  
(A) 木卫一 (B) 木卫二 (C) 木卫三 (D) 木卫四

20. 今天在北京观测，月亮升起来的时间大致是( )。  
(A) 凌晨4点 (B) 上午10点 (C) 下午4点 (D) 晚上10  
点

21. 一周之后金星西大距。对于你所在考场的观测者，  
那天金星落入地平线以下的时间是( )。  
(A) 天亮之前 (B) 上午 (C) 下午 (D) 天黑之后

22. 今天晚上观测，以下各对天体中哪对之间的角距离  
最远( )。  
(A) 月球和木星 (B) 金星和大角星 (C) 牛郎星和织女星  
(D) 天狼星和参宿七

23. 普通天文折射望远镜不加天顶镜等附件直接在目镜  
中看到的图像跟实际星空在方向上的关系是( )。

(A) 上下和左右都相同 (B) 上下反, 左右相同 (C) 上下相同, 左右反 (D) 上下和左右都相反

24. 以下描述哪句是最不正确的( )。  
(A) 有人在2006年1月1日观测到了一颗属于象限仪座流星雨的流星 (B) 有人在2006年1月22日凌晨观测到月掩角宿一, 恒星从开始被掩到完全消失的过程持续约2分钟 (C) 有人在2006年2月7日凌晨观测到在北极星的方向附近出现了一个黄绿色雾状的物体 (D) 有人在2006年3月1日观测到了一次持续了30秒左右的小行星掩星

25. 太阳此刻大概位于( )座。  
(A) 天秤 (B) 双鱼 (C) 狮子 (D) 英仙

26. 在目前已经被发现的小行星中在未来100年撞击地球概率不为0的大概有( )颗。  
(A) 不到10 (B) 50左右 (C) 100左右 (D) 超过200

27. 仙女座大星系M31距我们的距离大约是( )。  
(A) 1千万秒差距 (B) 2亿天文单位 (C) 3百万光年 (D) 5亿千米

28. 以下哪个日子里最有可能不借助望远镜而直接用肉眼看到最多的太阳系的大行星( )。  
(A) 2005年10月22日 (B) 2006年1月12日 (C) 2006年2月24日 (D) 2006年3月12日

29. 已知第6题中的太阳系小天体的近日距约为38天文单位, 远日距约为98天文单位, 它绕日公转的周期约为( )。  
(A) 不到50年 (B) 100年左右 (C) 500年左右 (D) 大于1000年

30. 目前月球可以为地球挡住( )的随机撞向地球的小天体。  
(A) 50以上 (B) 10左右 (C) 1左右 (D) 不到万分之一

答案: D C C B A B C C B C A C A C B D A C B D  
C B D B B C C C C D

## 决赛暨邀请赛试题

考试时间: 2006年5月4日, 考试地点: 北京

### 高年组

#### 一、选择题

01. 如果今天晚上天晴, 有可能观测到( )流星雨。  
(A) 天琴座 (B) 宝瓶座 $\eta$  (C) 牧夫座 (D) 仙女座 $\alpha$
02. 本月北半球最有可能被肉眼观测到的彗星的编号是( )。



(A) 73P (B) C/2004 Q2 (C) C/2006 A1 (D) P/2006 G5

03. 以下在时间上距离现在最近的本月天象是( )。  
(A) 土星合月 (B) 木星冲日 (C) 金星合月 (D) 火星合月

04. 下列梅西叶天体离我们最远的是( )。  
(A) M1 (B) M13 (C) M31 (D) M45

05. 在大麦哲伦云中发现的超新星1987A的实际爆发时间大致距现在( )。  
(A) 20年 (B) 2千年 (C) 20万年 (D) 20亿年

06. 可以被称为“流星暴雨”的流星雨需要达到的流量大约是( )。  
(A) 每秒1000颗 (B) 每分钟1000颗 (C) 每小时1000颗 (D) 每天1000颗

07. 中国目前拥有的南极陨石约为( )颗。  
(A) 50 (B) 500 (C) 5000 (D) 10000

08. “飞马四边形”对角线的长度约为( )度。  
(A) 10 (B) 20 (C) 30 (D) 40

09. 本月11日8时月掩角宿一。下一次月掩心宿二的时间是本月的( )。  
(A) 11日20时 (B) 14日23时 (C) 18日16时 (D) 23日3时

10. 此刻的地方恒星时大概是( )时。  
(A) 0 (B) 6 (C) 12 (D) 18

答案: 1A、2A、3C、4C、5C、6C、7D、8B、9B、10A。

#### 二、简答与计算题

11. 在下表中填写你所知道的尽可能多的大行星参数。

	水星	金星	火星	木星	土星
距太阳平均距离 (天文单位)					
目前所在星座					
目前亮度(星等)					
公转周期(年)					
自转周期(地球日)					
质量(地球质量)					
大小(地球直径)					
视直径(角秒)					
自然卫星数					

#### 解答

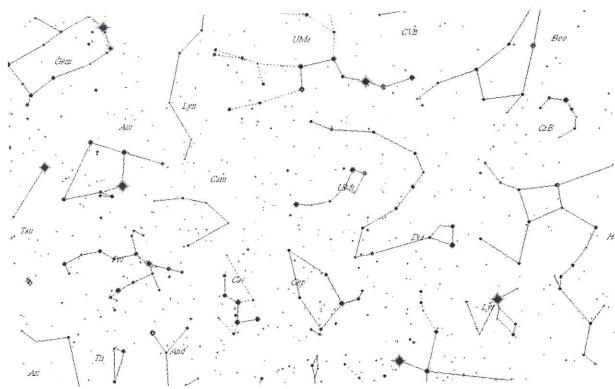
行星参数如下页上表所示。

12. 列出你所知道的有关猎户座的尽可能多的信息。比

	水星	金星	火星	木星	土星
距太阳平均距离(天文单位)	0.387	0.7	1.5	5.2	9.6
目前所在星座	双鱼	双鱼	双子	天秤	巨蟹
目前亮度(星等)	-0.65	-4.1	1.5	-2.5	0.28
公转周期(年)	0.24	0.6	1.88	11.9	29.5
自转周期(地球日)	58	228	1	0.4	0.4
质量(地球质量)	0.055	0.816	0.108	318.22	95.23
大小(地球直径)	0.38	0.95	0.53	11.21	9.45
视直径(角秒)	5.5	17	4.8	45	18
自然卫星数	0	0	2	60以上	30以上

如：在天球中的位置，有关的神话传说，在某个特定日期升起和落下的大致时间，该星座里著名的亮星和特殊天体，尽可能多的相邻的星座名，等等。

13、某位爱好者出外进行恒星周日视运动的摄影。他在当地时间午夜零点整按下快门，并注意到他面对的正好是下图所示的星空：两颗“指极星”(大熊座 $\alpha$ 和 $\beta$ )在北极星的上方几乎连成正南正北的一条线！请根据这些条件推算出他当时是在哪一天进行的拍摄。(大熊座 $\alpha$ 的坐标是：赤经 $11^{\text{h}}04^{\text{m}}$ ，赤纬 $+61^{\circ}45'$ )



### 解答

由题意可知：这位观测者拍摄时的恒星时等于大熊座 $\alpha$ 的赤经： $s = 11^{\text{h}}4^{\text{m}}$ 。而此时地方平时 $t = 0^{\text{h}}$ 。每年9月23日秋分日地方时0时： $s = t$ 。由于恒星日与平太阳日每天相差： $24^{\text{h}}/366.2 = 3^{\text{m}}56^{\text{s}}$ ，因此这一天的日期与秋分日之间的间隔大致为：

$$\Delta t = 11^{\text{h}}4^{\text{m}}/3^{\text{m}}56^{\text{s}} \approx 169 \text{ 天}$$

由此推算，观测日期应为：3月11日左右。结果与此日期相差1天以内都算正确。

14、在春分那天的北京时间中午12点在六个城市(位置见下表)分别竖起一根长度完全相同的杆子。推出计算各地杆子投影的长度和方位角(南点起算)的公式，计算方位角并将结果在表中列出。

### 解答

本题条件为“北京时间”12时，即东经120度处

城市	经度	纬度	影子方位角(南点起算)
北京	116.5	40	
哈尔滨	127	46	
上海	121	31	
广州	113	23.5	
海口	110	20	
乌鲁木齐	87	43	

的地方时。因此，各地杆影的方位角(南点起算)为：

$$A = 180^{\circ} + (\lambda - 120^{\circ})$$

答题时也可将角度换算为相应的时间单位。

城市	经度( $^{\circ}$ )	纬度( $^{\circ}$ )	影子方位角( $^{\circ}$ , 南点起算)
北京	116.5	40	176.5
哈尔滨	127	46	187
上海	121	31	181
广州	113	23.5	173
海口	110	20	170
乌鲁木齐	87	43	147

### 高年组附加部分

推导影长的公式：

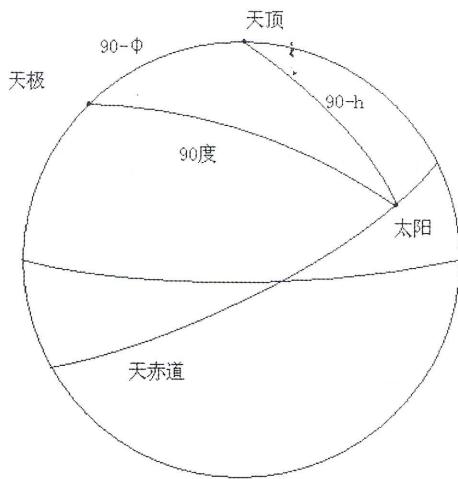
如下页左上图所示，设杆子长为 $L$ ，影长 $l = L \times \tan h$ ， $h$ 为太阳的地平高度角， $h$ 的求解要用到球面三角形中的余弦定理(一般考试不做要求，会在题干中给出)：

$$\begin{aligned}\cos(90^{\circ} - h) &= \cos(90^{\circ} - \phi) \cdot \cos(90^{\circ} - \delta) \\ &\quad + \sin(90^{\circ} - \phi) \cdot \sin(90^{\circ} - \delta) \cdot \cos t \\ \sin h &= \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos t\end{aligned}$$

本题中太阳的赤纬为 $\delta = 0^{\circ}$ ，代入上式可得：

$$\sin h = \cos \phi \cdot \cos t$$

15、已知某个轨道半长径为9天文单位、轨道偏心率和轨道倾角均为0的小行星今天正好冲日。计算该小行星下次冲日



的日期和当时所在的星座，以及当时从地面观测该小行星相对恒星背景移动1角秒所需要的大致时间。

**解答** (高年组)计算小行星的下一次冲日需要计算其与地球的会合周期。先利用开普勒第三定律计算该小行星的公转周期，下面的符号中角标1表示地球、2表示小行星。对小行星有：

$$a_2^3 = T_2^2, \quad a_2 = 9 \text{ au}, \quad T_2 = 27 \text{ 年}$$

它的会合周期为：

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}, \quad S = 27/26 \text{ 年} \approx 379 \text{ 天}$$

竞赛时间为5月4日，下次冲日为2007年5月18日，与春分相差58天。当时太阳赤经为：

$$\alpha = 3^m 56^s \times 58 \approx 3^h 48^m$$

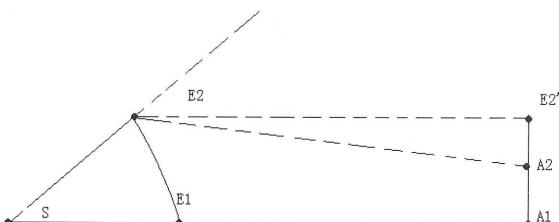
小行星赤经为：

$$\alpha_2 = \alpha + 12^h = 15^h 48^m$$

它此时位于天秤座内。

**高年组和低年组**

计算小行星相对恒星背景移动1角秒所需的时间。



如上图所示：S为太阳，E<sub>1</sub>、E<sub>2</sub>、A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>分别为地球和小行星冲时及之后一段很短时间后的位臵。可见地球运行更快，并且：

$$E_1 E'_2 \approx A_1 E'_2 = v_1, \quad A_1 A_2 = v_2, \quad S E_1 = a_1, \quad S A_1 = a_2$$

在地球上看来，小行星相对恒星背景移动的角速度为：

$$\omega = \frac{v_1 - v_2}{a_2 - a_1}$$

地球的公转速度v<sub>1</sub>易于求出，由此计算出小行星移动1角秒的时间约为300秒。

## 低年组

### 一、选择题(与高年组相同)

### 二、计算题

12、14、15题参见高年组。

13(低年组)下图是通过望远镜拍摄的以月亮为背景的树和人的照片。假设树的高度是4米，人的身高是1.7米，估算人和树分别到望远镜的距离。



说明：原图分辨率较低，为了印刷需要，我们按照原图的比例用电脑合成了这幅图片。

### 解答

如题中照片，由于图中景物(树、人、月亮)距离望远镜都很远，相对镜头的张角很小，在此可做小角近似： $\alpha \approx \tan \alpha \propto M$ ，即物体张角与它的像高(M)成正比。

对月亮、树、人分别用下标1、2、3表示， $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 分别为三物体实际直径(高度)， $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$ 分别为图像的高度， $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ 为它们到镜头的距离。可用尺量出： $M_1 = 9.5\text{cm}$ ， $M_2 = 7\text{cm}$ ， $M_3 = 0.6\text{cm}$ (这里的图片尺寸有所变化，但比例不变——编者)。已知 $L_1 \approx 1700\text{km}$ ， $L_2 = 4\text{m}$ ， $L_3 = 1.7\text{m}$ ， $d_1 \approx 3800000\text{km}$ ，因此根据：

$$\frac{L_1}{d_1} : \frac{L_2}{d_2} : \frac{L_3}{d_3} = M_1 : M_2 : M_3$$

可得： $d_2 \approx 120\text{m}$ ， $d_3 \approx 600\text{m}$ 。

# 2007年全国中学生天文奥林匹克竞赛试题

## 预赛试题

全国天文奥赛组委会 供稿

考试时间：2007年3月10日

01. 2006年《天文爱好者》杂志增刊的主题是( )。  
(A) UFO (B) 业余天文 (C) 学校天文 (D) 2006年没有出增刊

02. 在2006年第11届国际天文奥林匹克竞赛中，中国队获得的金牌和银牌总数为( )。  
(A) 0块 (B) 1块 (C) 2块 (D) 至少3块

03. 某地的观测者在12月14日后半夜看到一颗亮流星在正天顶由南向北划过，在此地正西100千米的观测者当时可以看到这颗流星出现在( )。  
(A) 天顶以东 (B) 天顶以西 (C) 正天顶 (D) 在地平线以下，看不到

04. 在地球上可能出现“日中无影”现象(晴天的时候中午人在太阳下面没有影子)的地区的纬度是( )。  
(A) 0度 (B) 南纬23.5度和北纬23.5度 (C) 南纬23.5度到北纬23.5度之间 (D) 南纬90度和北纬90度

05. 如果把太阳系的质量都集中在太阳上，太阳最终将演化为一颗什么星？( )  
(A) 红巨星 (B) 白矮星 (C) 中子星 (D) 黑洞

06. 中国的第一次月球探测计划预计于( )举行。  
(A) 2007年 (B) 2009年 (C) 2012年 (D) 2015年以后

07. 前不久，新视野号探测器在距木星230万千米的最近距离飞过。它飞经木星的主要原因是( )。  
(A) 碰巧经过 (B) 专门设计的轨道，以便同时对木星进行观测 (C) 探索木星卫星中可能存在的地外生命 (D) 借助木星的引力以加快它飞向冥王星的速度

08. 2006年1月成功回收的星尘号探测器采集的是( )彗星释放的尘埃颗粒。  
(A) 坦普尔1号 (B) 怀尔德2号 (C) 舒梅克-列维 (D) 海尔-波普

09. 以下哪一年最有可能被联合国命名为“国际天文年”？( )

(A) 2008 (B) 2009 (C) 2010 (D) 2012

10. 一个月前日本天文爱好者发现的近几年来最亮的新星位于( )。

(A) 室女座 (B) 天鹅座 (C) 天蝎座 (D) 小熊座

11. 最近太阳落山以后西南方向天空有一颗非常明亮的行星，下列对该行星描述正确的是( )。

(A) 水星，2月初到达东大距 (B) 水星，2月初到达西大距  
(C) 金星，6月将到达东大距 (D) 金星，6月将到达西大距

12. 一个折射式望远镜物镜的口径如果增加了一倍，那么以下哪种说法是正确的？( )

(A) 其视场将提高一倍 (B) 其放大倍数会提高一倍 (C)  
其光收集能力将提高一倍 (D) 其理论分辨率会提高一倍

13. 著名的狮子座流星雨与哪颗彗星有关？( )

(A) 比拉彗星 (B) 恩克彗星 (C) 哈雷彗星 (D) 坦普尔-  
塔特尔彗星

14. 我国民间常用的农历严格讲应该是何种类型的历法？( )

(A) 基于月球绕地球运动的阴历 (B) 基于地球绕太阳运动的太阳历 (C) 综合考虑地球绕太阳运动和月球绕地球运动的阴阳合历 (D) 是一种与地球和月球运动基本无关的历法

15. 今天傍晚我们有可能看到的大行星是( )。

(A) 水星 (B) 火星 (C) 木星 (D) 土星

16. 春季夜晚北半球不容易看到的星座是( )。

(A) 波江座 (B) 双鱼座 (C) 天鹰座 (D) 乌鸦座

17. 对于今年1月份出现的彗星C/2006 P1 (McNaught)，下面哪个描述是不正确的？( )

(A) 这颗彗星在白天就可以看到 (B) 这颗彗星是近四十年来最亮的 (C) 这颗彗星是在逆行轨道上运行的 (D) 当这颗彗星的彗核仅能在南半球被观测到时，在北半球中纬度地区可以拍到它的彗尾

18. 下列星座中，没有梅西叶天体的是( )。

(A) 长蛇座 (B) 后发座 (C) 金牛座 (D) 乌鸦座

19. 猎户座 $\alpha$ 星对应的中文星名是( )。

(A) 南河三 (B) 北河三 (C) 参宿四 (D) 参宿七

20. 今年的元宵节发生了月全食，对于北京、广州、乌

鲁木齐这三个地点来说，看到初亏的时间( )。

- (A) 北京最早 (B) 广州最早 (C) 乌鲁木齐最早 (D) 同时看到

21. 到2006年底为止，已经发现了( )太阳系以外的行星。

- (A) 不超过50颗 (B) 100颗左右 (C) 200颗左右 (D) 至少500颗

22. 2006年7月初恢复发射的航天飞机的名字是( )。

- (A) 发现号 (B) 挑战者号 (C) 哥伦比亚号 (D) 亚特兰蒂斯号

23. 2006年8月，国际天文学联合会取消冥王星的行星资格的主要原因是( )。

- (A) 冥王星与冥卫一的尺寸过于接近 (B) 冥王星与太阳相距太远 (C) 冥王星轨道面与黄道面的倾角过大 (D) 冥王星轨道附近区域存在大量柯伊伯带天体

24. 如果“月落乌啼霜满天，江枫渔火对愁眠。姑苏城外寒山寺，夜半钟声到客船”这首诗描写的是诗人同时看到的真实情景，那当晚的月相应该是( )。

- (A) 新月 (B) 上弦月 (C) 满月 (D) 下弦月

25. 在地球上观测，月亮在地平上升起(自上缘露出地平到下缘脱离地平)大约需要数分钟的时间。若在月球上观测，地球“升起”需多长时间？( )

- (A) 和地球上看月球升起时间相等 (B) 是地球上看月球升起时间的4倍 (C) 是地球上看月球升起时间的8倍 (D) 地球不会从“月平线”上升起

26. 下列对天体距离尺度的估值中正确的是哪一项？( )

- (A) 地球到月球的距离约为0.38光年 (B) 大麦云到我们的距离约为16万光年 (C) M31到我们的距离约为24万光年 (D) 银河系直径约为1百万光年

27. 地球自转轨道平面与地球公转轨道平面的夹角大约是( )度。

- (A) 不到5 (B) 15 (C) 25 (D) 至少35

28. 太阳黑子应该具有多大的角直径才能使其线直径与地球的线直径相当？( )

- (A) 不到5角秒 (B) 20角秒左右 (C) 1角分左右 (D) 至少10角分

29. 以下哪个事实最有可能是纯粹的巧合？( )

- (A) 月球总有一面朝向地球 (B) 月球朝向地球的一面和背向地球的一面环形山的分布情况有很大差异 (C) 从地球上看上去太阳和月亮差不多一样大 (D) 行星距太阳平均距离的分布满足非常简单的关系

30. 2006年中国天文学家徐烨领导的研究小组在《科学》杂志发表了一个重要的研究结果，即以2%的误差测定了银河系中离太阳最近的英仙臂的距离为6360光年。请通过你对各

种天文望远镜分辨能力的了解判断一下他们使用的是什么测量手段？( )

- (A) 光学望远镜 (B) 红外望远镜 (C) 射电望远镜 (D) X射线望远镜

31. 2006年的诺贝尔物理奖的工作是基于哪个探测器获得的数据？( )

- (A) Chandra (B) COBE (C) Spitzer (D) WMAP

32. 目前天文学家普遍接受的与众多观测事实吻合的宇宙模型是( )。

- (A) 稳恒的平直宇宙 (B) 减速膨胀的平直宇宙 (C) 加速膨胀的平直宇宙 (D) 加速膨胀的闭合宇宙

33. 天文学家们主要基于宇宙微波背景辐射探测器WMAP的数据确定了宇宙中暗物质和暗能量的比例大致为( )比1。

- (A) 小于0.1 (B) 0.3 (C) 1 (D) 大于2

34. 几天之后发生日偏食时北京当地的地方恒星时差不多是( )。

- (A) 4时 (B) 10时 (C) 16时 (D) 22时

35. 即将在北京举办的国际奥林匹克运动会举办时当地的月出时刻大致是当地时间( )。

- (A) 凌晨0时 (B) 上午6时 (C) 中午12时 (D) 下午18时

答案：CAACB ADBBC CDDCD BCDCD CADBD BCBCC BCBDC

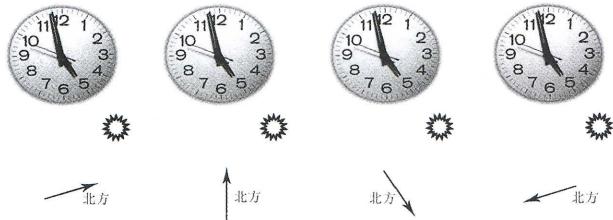
## 决赛暨厦门邀请赛试题

全国天文奥赛组委会 供稿

考试时间：2007年5月3日，考试地点：厦门

一、选择题(低年组做第01-10题，高年组做第04-13题)

01. 小明和几个朋友去郊游，结果不小心迷路了。眼看就到下午5点了，小明想起利用手表确定方向的办法，他把手表时针对准了太阳(如下图所示)，可是他们几个伙伴对北方在哪儿出现了分歧，请问下面所画的图中，哪一幅大致正确地指出了“北”的方向？( )



- (A) (B) (C) (D)

02. 当太阳上有一个较大且寿命较长的黑子出现时，我们对该太阳黑子进行连续观测将会发现：( )  
 (A) 黑子在太阳视圆面上的位置基本不变 (B) 黑子在太阳视圆面上做半径不规则的圆周运动 (C) 黑子在太阳视圆面上做半径规则不变的标准圆周运动 (D) 黑子沿基本上是直线的轨迹从太阳视圆面的一侧边缘走到另一侧边缘

03. 梅西叶天体M32位于( )座。  
 (A) 飞马 (B) 仙女 (C) 仙后 (D) 仙王

04. 以下哪两个星座是相邻的？( )  
 (A) 大熊座和小熊座 (B) 狮子座和小狮座 (C) 大犬座和小犬座 (D) 南冕座和北冕座

05. 苏轼在《江城子·老夫聊发少年狂》中有一句千古佳句“西北望，射天狼”。如果完全从纯天文观测的角度出发，这个句子最可能应该改为( )。

(A) 东北望，射天狼 (B) 东南望，射天狼 (C) 西北望，射天蝎 (D) 西北望，射天兔

06. 空间探测器在飞行时经常借行星的引力进行加速，已知土星公转的轨道速度约为10km/s，假如一个探测器沿着与土星公转运动方向相对的方向靠近土星，速度为10km/s，土星的引力使得探测器先绕土星旋转，然后再向相反的方向“甩出”。当探测器远离土星后（土星对它的引力几乎为零时），最终的速度大致是( )。（忽略其他星体的引力）

(A) 10 km/s (B) 20 km/s (C) 30 km/s (D) 40 km/s  
 (E) 不知道

07. 夜晚我们看到的恒星有的偏蓝色，有的偏红色，有的偏黄色。关于恒星所呈现的颜色下列说法正确的是：( )  
 (A) 是由于大气色散的结果 (B) 是由于恒星距离远近不同造成的 (C) 是由于恒星的温度不同造成的 (D) 恒星看上去都一样，不会有不同的颜色

08. 上个月天文学家宣布在( )座的一颗恒星附近发现了一颗可能适合人类居住的行星。

(A) 飞马 (B) 天秤 (C) 小熊 (D) 英仙

09. 以下哪句话是正确的？( )  
 (A) 天鹅座距离我们大约是3230光年 (B) 火流星出现时往往伴随隆隆的声音 (C) 多数火流星的出现伴随着流星体的碎裂 (D) 比金星的亮度亮的流星就是火流星

10. 假如今天晚上晴天，在厦门观测，以下哪个天体具有相对较长的可观测时间？( )  
 (A) 金星 (B) 大角(牧夫座α) (C) 织女(天琴座α) (D) 五车二(御夫座α)

11. 以下哪个名称不属于中国传统星空中的四象？( )  
 (A) 玄武 (B) 朱雀 (C) 白象 (D) 苍龙

12. 某天，厦门的观测者通过测量得到当时太阳的方位角(从南点起算)为90度，地平高度为30度，月亮的方位角为270度，地平高度为60度。那么当他面向月亮时看到月亮

的( )部分是亮的。

(A) 上面 (B) 下面 (C) 左边 (D) 右边

13. 以下哪个单词是天鹅座的缩写？( )

(A) Cyg (B) Leo (C) Ori (D) Swc

答案：DDBBBCCBDCCAA

## 二、简答题(低年组做第14-18题，高年组做第16-20题)

14. (低年组)2003年8月29日火星与地球的距离最近，火星探测器勇气号于2003年6月11日发射，并于2004年1月3日抵达火星。

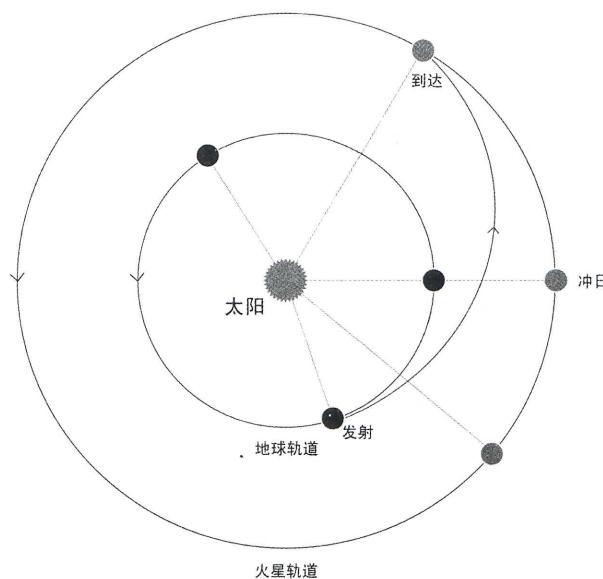
(A) 请画出地球和火星的轨道，以及该探测器从地球飞往火星的轨迹(示意图)。

(B) 标出火星和地球在该探测器发射和抵达时的位置，需给出中间的计算过程。

**解答** 用开普勒第三定律算出火星的公转周期 $P = 1.874\text{年} = 684\text{天}$ ，也可直接引用687天的火星周期。探测器发射时距火星大冲的时间间隔为79天，到达火星时距火星大冲时的时间间隔为127天，据此可以算出：

地球的位置：发射时对火星大冲时的夹角：77.9度，到达时夹角：125.2度

火星的位置：发射时：41.6度；到达时：66.8度



15.(低年组)一个距离地球10光年的行星绕着一颗恒星旋转(轨道是圆形)，恒星的质量与太阳相当，天文学家们测得这颗行星的公转速度为20km/s，并且行星的质量远远小于恒星质量。在地球上观测，该行星与恒星之间的最大张角为多少度？

**解答** 和地球类比：地球的公转速度约为30km/s，根据圆轨道运行规律： $v = 2\pi R/T$ ，因此有：

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{R_1 \cdot T_2}{R_2 \cdot T_1}$$

.....(1)

根据开普勒第三定律:

$$\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2 = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^3$$

.....(2)

联立(1)和(2), 可知:

$$R_2 = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2 \times R_1 = 2.25R_1 = 2.25 \text{ AU}$$

这颗行星与恒星之间的距离为2.25天文单位, 可求出张角为:

$$\theta = \frac{R_2}{d} = \frac{2.25}{10 \times 63240} = 3.56 \times 10^{-6} \text{ 弧度} \approx 0.7''$$

16. 2005年6月28日, 天文学家在M51中发现了一颗超新星SN 2005cs, 它的爆发日期是儒略日JD2453549日。随后天文学家们监测到了它的壳层膨胀过程, 观测数据列入下表中。请根据表中数据估算M51的距离。表中第一列表示观测时间(儒略日), 第2列表示壳层的膨胀速率(括号里的数值是误差), 第3列表示超新星的角直径。

$t$ (JD-2540000)	$v_{ph}$ km s <sup>-1</sup>	$\theta$ (10 <sup>9</sup> km/Mpc)
3554.46	5550(300)	1.0042
3557.42	5050(300)	1.3997

解答

设超新星的距离为 $d$ , 则:  $R = d\theta/2$ ,  $R$ 为壳层的线半径。随着超新星的膨胀, 壳层增大, 观测到的角直径也在增大, 在观测的时间段内, 超新星壳层膨胀速度变化不大, 可以认为是匀减速膨胀, 于是:

$$R_2 - R_1 = \frac{1}{2} \times (V_1 + V_2) \times (t_2 - t_1)$$

其中 $t_2 - t_1 = 255744$ 秒, 即:

$$d = \frac{2(R_2 - R_1)}{\theta_2 - \theta_1} = \frac{(V_1 + V_2) \cdot (t_2 - t_1)}{\theta_2 - \theta_1} = 6.85 \text{ Mpc}$$

17. 假设观测者位于某球状星团的中心, 球状星团内恒星的空间分布是完全均匀的(可以认为各处恒星密度相同), 且恒星的光度都一样。请问若观测的极限星等提高一等, 即原来能看到 $m$ 等的恒星, 现在能看到 $m+1$ 等的恒星, 请估算现在看到的恒星数目是原来的多少倍? (给出比值即可, 不必考虑星际消光)。

解答

因为已经假设恒星是完全均匀分布的, 且密度相同, 则数目之比即体积之比, 亦即观测半径的立方比:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^3$$

.....(1)

根据 $m - M = 5 \lg r - 5$ 可知:  $(m+1) - M = 5 \lg R_1 - 5$ , 假定 $M$ 都相同, 则有:

$$R_1/R_2 = 10^{0.2} = 1.585$$

所以:

$$\frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^3 = 3.98$$

18. 列出你所知道的有关室女座的尽可能多的信息。比如: 在天球中的位置, 有关的神话传说, 在某个特定日期升起和落下的大致时间, 该星座里著名的亮星和特殊天体, 尽可能多的相邻的星座名, 等等。

解答

在希腊神话中, 室女是谷物女神的象征; 黄道星座; 室女座是全天第二大星座; 最亮的星是室女座 $\alpha$ , 中文角宿一, +1等; 室女座区域有著名的室女座星系团; 室女团距地球约5000万光年; M61, M87, M104(草帽星系); M49, 58, 59, 60, [61], 84, 86, [87], 89, 90, [104]; 类星体3C273 离我们最近的类星体, 距离30亿光年; 相邻星座: 狮子, 巨爵, 乌鸦, 天秤, 后发, 牧夫, 长蛇, 巨蛇。赤经、赤纬范围是 $11.5 \sim 15^h$ ,  $-18^\circ \sim +11^\circ$ ; 升起、落下现在1点中天不同季节(有一个时间就成)描述的要正确; 出生日期与星座: 8月24日~9月23日(本题最多16分, 最少0分, 有明显错误则倒扣分)

19.(高年组)未来的某一天, 人们发现了两个地外行星系统, 其中的行星都和地球类似, 而恒星的质量分别为2倍太阳质量和0.5倍太阳质量。

(1)、以地球上的生命演化历史为参照, 你认为这两个地外行星系统中, 哪一个更有可能演化出像人类这样的智慧生命? 为什么? (需要列出必要的公式, 用数值说明原因。)

(2)、如果地球人要移民到这两个地外行星上, 问这两个系统中行星和恒星之间的距离大约为多少时, 行星的温度才最适合我们生存? 可能用到的关系式: 恒星的光度和质量之间的关系为:  $L \propto M^{3.5}$ 。

解答

(1)、恒星的寿命与质量成正比、与光度成反比:

$$t \propto M/L$$

再根据质光关系 $L \propto M^{3.5}$ , 于是有:

$$t \propto M^{-2.5}$$

将这两颗恒星与太阳相比:

$$\frac{t}{t_\odot} = \left(\frac{M_\odot}{M}\right)^{2.5}$$

其中 $t_\odot = 100$ 亿年, 可知 $2M_\odot$ 的寿命约为18亿年,  $0.5M_\odot$ 恒星的寿命约为560亿年。

考虑到地球的年龄约为46亿年, 而人类出现的时间只有几百万年, 所以 $2M_\odot$ 的行星系统很可能由于恒星寿命太短而来不及演化出智慧生命,  $0.5M_\odot$ 的行星系统更可能演化出智慧生命。

(2)两颗行星都和地球相同，当它们的温度也和地球相同时，才最适合人类移民。地球的温度( $T_e$ )与太阳光度( $L_\odot$ )和地球与太阳的距离( $D_\odot$ )有关，考虑到(黑体)辐射是与 $T_e^4$ 成正比的，于是有：

$$T_e \propto \sqrt[4]{L_\odot / D_\odot^2}$$

当地外行星温度 $T = T_e$ (地球温度)时，最适合人类移民，即：

$$L/D^2 = L_\odot / D_\odot^2$$

根据质光关系，带入数据可以算出对 $2M_\odot$ 和 $0.5M_\odot$ 的系统，行星的距离应分别为：3.4AU和0.3AU。

20.(高年组)假设地球与火星的公转轨道都是正圆，当地球距离火星最近时：

(1)在地球上观测火星，火星在24小时中相对于恒星背景的移动角度为多少，方向应该是什么？

(2)如果在这个时候从火星上观测并发现了地球凌日的现象，问地球凌日的最长时间不会超过多少(以小时为单位)？

**解答**

1)方法I：计算火星与地球的轨道速度，假设圆轨道，可用开普勒第三定律算出火星的公转周期 $P_m = 1.874$ 年(也可直接引用687天的火星周期)。地球与火星的轨道速度分别为：

$$V_e = 2\pi/365(\text{AU/天}), V_m = 2\pi \times \frac{1.52}{365 \times 1.874}(\text{AU/天})$$

二者的切向速度的差别导致了火星在恒星背景上沿黄道的西移。24小时内的移动角度为：

$$\theta = \frac{V_e - V_m}{a_m - a_e} = \frac{2\pi(1 - 1.52/1.874)}{365 \times 0.52} = 0.358^\circ, \text{ 方向向西}$$

方法II：如图所示， $E_1$ 、 $M_1$ 表示地球、火星在大冲时的位置； $E_2$ 、 $M_2$ 表示地球、火星在大冲后24小时的实际位置； $M_3$ 为火星以同地球同样的角速度转动24小时后的位置； $SD_0$ 为角度基准方向，即恒星背景的基准方向。可以求出：

$$\theta_3 = 360/365 = 0.986^\circ, \text{ 方向向东；}$$

$$\theta_1 \approx SE_1/E_1 M_1 \times \theta_3 = 1.897^\circ, \text{ 方向向西。}$$

$E_2 D_2$ 与 $SD_0$ 之夹角为所求角度，即 $\theta_2$ ，则： $\theta_3 = 0.986^\circ$ ， $\theta_1 = 1.897^\circ$ ，根据三角形正弦定理：

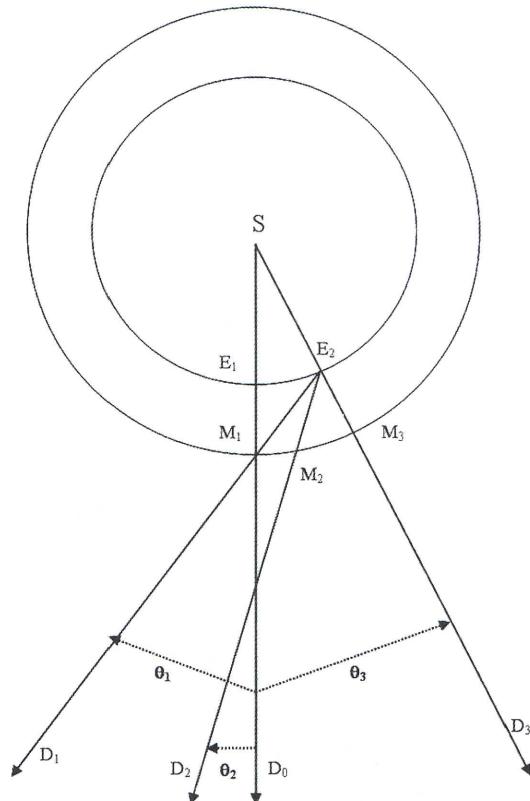
$$\frac{M_1 M_2}{\sin(\theta_1 - \theta_2)} = \frac{M_1 M_3}{\sin(\theta_1 + \theta_3)} = \frac{E_2 M_3}{\sin \angle E_2 M_1 M_3}$$

这里的角度均很小，根据小角近似 $\sin \theta \approx \theta$ ，可得：

$$\frac{M_2 M_1}{M_3 M_1} = \frac{P_e}{P_m}, \theta_2 = \theta_1 - \frac{P_e}{P_m} \times (\theta_3 + \theta_1) = 0.359^\circ$$

从图上可以看出， $\theta_2$ 的方向与 $\theta_3$ 相反，所以在地球上看，火星相对于恒星背景向西移动。

2)在火星上看地球移动的角速度与在地球上看火星的移动角速度相等(相对于恒星背景)，且方向均为沿黄道向西：



0.358°/24小时。再考虑在火星上看太阳，太阳在恒星背景上的移动角速度为：

$$\omega_1 = \frac{360}{1.874 \times 365} (\text{°}/24^h) = 0.526 (\text{°}/24^h)$$

移动方向为沿黄道向东。

在火星上看地球凌日时，地球相对于太阳的移动角速度为：

$$\omega_2 = 0.358 + \omega_1 = 0.884^\circ/24^h$$

太阳的视角为：(0.5/1.52)°，故最大地球凌日时间为地球横穿太阳角直径时：

$$t_{max} = \frac{0.5/1.52}{0.884^\circ/24^h} = 8.93^h$$

若考虑到地球本身视直径的贡献，则最大凌日时间则变为9.11小时。

# 2008年全国中学生天文奥林匹克竞赛试题

## 预赛试题

全国天文奥赛组委会 供稿

考试时间：2008年3月8日。对于未说明观测地点的观测，可以认为是在北京(东经120度，北纬40度)进行的。

01. 中国第一颗月球探测卫星“嫦娥一号”的发射日期是( )。  
(A) 2006年10月30日 (B) 2007年4月15日 (C) 2007年10月24日 (D) 2008年2月22日

02. 伽利略的国籍是( )。  
(A) 美国 (B) 德国 (C) 荷兰 (D) 意大利

03. 对于地球上的观测者，肉眼可见的恒星大概是( )颗。  
(A) 6000 (B) 12000 (C) 24000 (D) 36000

04. 岁星指的是( )。  
(A) 水星 (B) 金星 (C) 木星 (D) 土星

05. 小明晚上在阳台观星时发现有一个亮点在星空中划过，亮度逐渐变亮，达到最亮时突然完全消失，整个过程持续了2分钟左右。小明看到的最可能是( )。  
(A) UFO (B) 国际空间站 (C) 流星 (D) 彗星

06. 中国天文日是每年的( )。  
(A) 3月3日 (B) 5月19日 (C) 8月15日 (D) 10月30日

07. 到目前为止在中学阶段获得小行星命名的中国学生大约有( )。  
(A) 1人 (B) 3-5人 (C) 10人左右 (D) 超过20人

08. 在2007年的IAO, IOAA和APAO三大国际天文奥林匹克竞赛中，中国选手总共获得( )块奖牌。  
(A) 7 (B) 15 (C) 28 (D) 34

09. 人类宇航员第一次进行太空漫步的时间是( )年。  
(A) 1965 (B) 1978 (C) 1992 (D) 2003

10. 近年发现的被称为“世纪大彗星”的彗星的编号是( )。  
(A) 17P/Holmes (B) C/2006 P1 麦克诺特 (C) P/2007 R5 SOHO (D) C/2007 T1 麦克诺特

11. 2007年10月24日在( )座有一颗彗星亮度突然增亮100万倍左右。

- (A) 天鹅 (B) 英仙 (C) 御夫 (D) 船帆

12. 下述2007年的四次天象在中国观测不到的是( )。  
(A) 3月4日月全食 (B) 3月19日日偏食 (C) 8月28日月全食 (D) 9月11日日偏食

13. 太阳的直径相比于地球到月球的距离( )。  
(A) 远大于地月距离 (B) 大约是地月距离的4倍 (C) 大约是地月距离的1/20 (D) 远小于地月距离

14. 使用地面光学望远镜观测多数近地小行星的最佳时机一般是当它位于( )附近的时候。  
(A) 近日点 (B) 近地点 (C) 冲日 (D) 大距

15. 在澳大利亚的悉尼市当地时间中午12点面向太阳站立，太阳未来一小时的视运动方向是( )。  
(A) 向东 (B) 向南 (C) 向西 (D) 向北

16. 后发座流星雨发生在每年的( )月。  
(A) 3 (B) 6 (C) 9 (D) 12

17. 显微镜座距离地球的距离是( )。  
(A) 小于20光年 (B) 33光年 (C) 大于50光年 (D) 没有意义

18. 在月球表面的宇航员肯定看不到的是( )。  
(A) 地偏食 (B) 日偏食 (C) 日环食 (D) 日全食

19. 与中国传统的24节气关系最大的是( )。  
(A) 月球自转 (B) 月球公转 (C) 地球自转 (D) 地球公转

20. 在我国北方地区流传的“三星正南，家家拜年”说的是某天北京时间( )时左右的天象。

- (A) 0 (B) 3 (C) 18 (D) 21

21. 在一年时间里，地球上的观测者能够看到的月面部分占实际月球表面的约( )%。  
(A) 50 (B) 60 (C) 80 (D) 100

22. 以下没有在2007年发生的天文事件是( )。  
(A) 第二届国际路边天文之夜活动 (B) 金秋览月活动 (C) 北京天文馆建馆50周年 (D) 中国自然科学博物馆协会天文馆专业委员会成立

23. 以下有关2007年的哪条天文新闻说的有错误( )。

- (A) 3月份叶泉志获得苏梅克近地天体奖 (B) 7月份叶泉志、林启生发现鹿林彗星 (C) 9月份日本成功发射了一颗月球探测卫星 (D) 12月份陈滔、高兴发现陈-高彗星

24. 一位天文系的老师晚上在天文台观测，把自己的手表调成了恒星时，但忘了在观测结束的时候调回去。结果他第二天上课的时候迟到了半个小时。这件事发生在某年的( )月。

- (A) 3 (B) 6 (C) 9 (D) 12

25. 假设天气晴朗，2008年的以下日期中最适于梅西叶天体马拉松的观测的是( )。

- (A) 2月7日 (B) 3月21日 (C) 4月22日 (D) 5月17日

26. 以下地方的射电天文望远镜没有参与嫦娥一号的定轨观测的是( )。

- (A) 北京密云 (B) 上海佘山 (C) 云南昆明 (D) 青海德令哈

27. 以下命题比较正确的是( )。

- (A) 流星体受地球引力作用坠入地球大气层产生流星现象 (B) 月球只能挡住极小比例的撞向地球的流星体 (C) 多数的火流星发生时伴有声音或产生碎裂的现象 (D) 多数的火流星会伴随陨石的降落事件

28. 以下哪两个星座不是相邻的星座( )。

- (A) 白羊座和三角座 (B) 天琴座和天鹰座 (C) 双子座和猎户座 (D) 仙女座和飞马座

29. 口径相同的两台折射望远镜焦距分别是600毫米和1000毫米，分别配置焦距15毫米和25毫米的目镜，这两台望远镜观测效果最有可能不同的是( )。

- (A) 倍数 (B) 分辨率 (C) 视场 (D) 极限星等

30. 与北京和兴隆相比，在南极冰穹A开展光学天文观测的不利之处是( )。

- (A) 温度太低 (B) 连续可观测时间短 (C) 可观测天体范围小 (D) 大气宁静度不好

31. 以下四位观测者都报告说在11月下旬的某天的一个小时的时间里观测到3颗狮子座流星雨的群内流星。谁的报告最不可信？( )

- (A) 北京时间16日凌晨2-3时，在天津 (B) 北京时间19日23-24时，在乌鲁木齐 (C) 北京时间22日早上6-7时，在北京 (D) 世界时24日18时，在悉尼(东经151度，南纬34度)

32. 以下星座中距离M13角距离最近的是( )座。

- (A) 天琴 (B) 飞马 (C) 双鱼 (D) 狮子

33. 以下梅西叶天体里距离地球最远的是( )。

- (A) M22 (B) M31 (C) M42 (D) M45

34. 月全食发生在农历正月十五附近的概率是( )。

- (A) 大于或等于1/2 (B) 1/10左右 (C) 1/1000左右 (D) 小于十万分之一

35. 某彗星的近日距和远日距分别约为1天文单位和10万天文单位。它绕太阳一圈的时间约为( )万年。

- (A) 小于1 (B) 10 (C) 100 (D) 1000

答案：CDACB DDCAB BDBCC DDCDD BADCA DBBCC BABBD

## 决赛暨杭州邀请赛试题

全国天文奥赛组委会 供稿

考试时间：2008年5月2日，考试地点：杭州

一、选择题(低年组做第01-10题，高年组做第04-13题)

01. 最早发明的天文望远镜是( )式望远镜。

- (A) 折射 (B) 反射 (C) 折反射 (D) 反折射

02. 本次邀请赛期间最活跃的流星群与( )彗星有关。

- (A) 恩克 (B) 哈雷 (C) 55P (D) 海尔-波普

03. 如果把地球的大小4成是一个篮球，那月球的大小相当于一个( )。

- (A) 小米粒 (B) 乒乓球 (C) 足球 (D) 大教室

04. 光线从银河系的一端传到另外一端需要的时间大概是( )年。

- (A) 不到5千 (B) 10万 (C) 200万 (D) 超过1000万

05. 如果天荒坪最近几天都是晴天，那理论上在以下哪个时间附近能够观测到最多的流星( )。

- (A) 5月4日22时 (B) 5月5日4时 (C) 5月5日22时 (D) 5月6日4时

06. 中国今年最可能发射的人造天体的名称是( )。

- (A) 嫦娥二号 (B) 东方红三号 (C) 风云四号 (D) 神舟七号 (E) 不知道

07. 今年是望远镜发明( )周年。

- (A) 125 (B) 280 (C) 400 (D) 750

08. 以下哪些名称不位于月球朝向地球的这一面？( )

- (A) 祖冲之环形山 (B) 第谷环形山 (C) 雨海 (D) 风暴洋

09. 以下有关小行星命名的说法哪句话最为准确？( )

- (A) 小行星命名主要是发现者个人意愿的体现 (B) 小行星一般以发现者的名字命名 (C) 不能以抽象的名词命名小行星 (D) 小行星命名是一项崇高的国际荣誉

10. 不借助望远镜，理论上单凭肉眼视观测可能看到的最远的天体或天文现象离我们的距离大概是( )。

- (A) 不超过一百天文单位 (B) 几千光年 (C) 几千万光年 (D) 几十亿光年

11. 北黄极附近的某恒星，某日发现其和两月前相比相对于遥远恒星背景移动了0.04角秒。那么它相对于我们的距离是( )秒差距。

- (A) 12.5 (B) 25 (C) 50 (D) 100

12. 在杭州观测，赤经3小时、赤纬15度的天体哪天半夜12点左右位于正南方？( )

- (A) 2月5日 (B) 5月5日 (C) 8月5日 (D) 11月5日

13. 在杭州用小型望远镜观测以下哪个梅西叶天体时最有可能碰巧观测到同步卫星？( )

- (A) M2 (B) M31 (C) M42 (D) M81

答案：A、B、B、B、B、D、C、A、A、D、B、D、C

二、简答题(低年组做第14-18题，高年组做第16-23题。其中21-23题为高年组IOAA选拔题目，分数另计)

14. (低年组) 肉眼和望远镜。某人肉眼的瞳孔直径在黑暗时能放大到6毫米，他使用一台口径10厘米的天文望远镜，请问他用望远镜观测时的分辨率是肉眼的多少倍，观测到的恒星比肉眼要暗多少倍？

**解答** 根据望远镜分辨率公式：分辨率 $\theta = 1.22\lambda/D$ ，可知分辨率与探测器口径成正比，因此，此倍率为： $100\text{mm}/6\text{mm} = 16.67$ 倍。

因为极限星等 $m_l = 6.9 + 5 \lg D$ ， $D$ 的单位为厘米，所以两者极限星等之差为：

$$m_1 - m_2 = 5 \lg \frac{D_1}{D_2} = 6.1092$$

因此，观测到的恒星视亮度之比为： $2.512^{6.1092} = 278$ 倍。

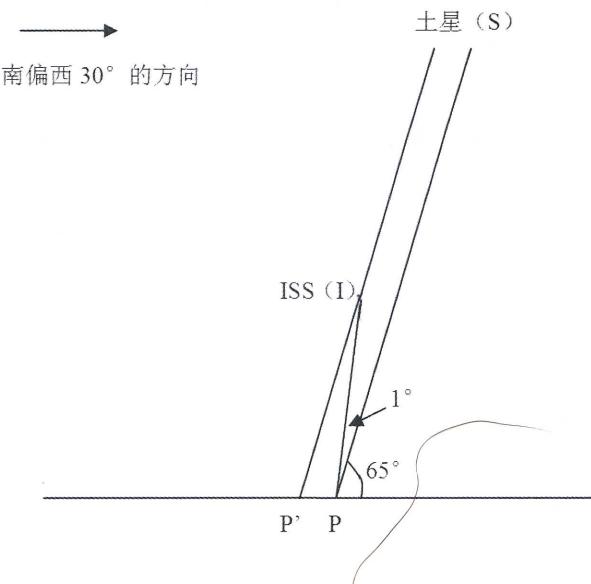
15. (低年组) 卫星掩土星。一名人造天体观测者在北京某地(东经 $116^{\circ}0'0''$ ，北纬 $40^{\circ}0'0''$ )观测一次某卫星掩土星的天象。当时，土星位于南偏西 $30^{\circ}$ ，地平高度 $65^{\circ}$ 。观测的实际情况是，该卫星从西北方低空出现，逐渐升高并往西南高空的土星飞去，可惜并未掩上土星，而是从土星旁边飞过。它离土星最近时正好也飞到最高处，此时它的方位角为南偏西 $30^{\circ}$ ，地平高度 $66^{\circ}$ 。然后它逐渐下降，消失在东南方低空。

根据预报，最高点时该卫星到观测地的距离是400千米，如果这个预报是正确的，试问这次该观测者若想观测到该卫星掩上土星，且要保证移动的距离最短，那么应往哪个方向移动多远？请给出必要的计算步骤。

**解答** 如图所示：原观测点为P，土星很远，射过来的光可考虑为平行光。ISS在I点，角IPS为 $1^{\circ}$ 。因此，我们距离最短的移动方式是向南偏西 $30^{\circ}$ 的反方向，即北偏东 $30^{\circ}$ 的方向移动到P'点进行观测。

欲求PP'，就是要解IPP'这个三角形。其中 $\angle PIP'$ 为 $1^{\circ}$ ， $\angle IIP'$ 为 $65^{\circ}$ ，IP为400千米， $\angle IPP'$ 为 $(180-65-1)^{\circ}=114^{\circ}$ ，由正弦定理得：

$$\frac{PP'}{\sin \angle PIP'} = \frac{IP}{\sin \angle IPP'}$$



因此有：

$$PP'/\sin 1^{\circ} = 400\text{km} / \sin 65^{\circ}$$

求得： $PP' = 7.7\text{km}$

16. (低年组+高年组) 星座。列出你所知道的有关双子座的尽可能多的信息。比如：在天球中的位置，有关的神话传说，星座大致的形状(画图)，在某个特定日期或者月份升起和落下的大致时间，该星座里著名的亮星和特殊天体，尽可能多的相邻的星座名称，等等。

17. (低年组+高年组) 日食。以2008年日全食为例，按发生时间的先后顺序详细描述日食整个过程中五个时期的名称、概念和位于日食带中心某观测地点看到的观测现象。如果同时在月球表面也有观测者观测地球的话，参照地球上观测月食过程的不同时期的名称和概念，月面观测者在前述日食过程的五个时期的同时看到的应该是什么情况(名称和观测现象)？

**解答** 一次日全食的过程可以包括以下五个时期：初亏、食既、食甚、生光、复圆。

**初亏：**由于月亮自西向东绕地球运转，所以日食总是在太阳圆面的西边缘开始的。当月亮的东边缘刚接触到太阳圆面的瞬间(即月面的东边缘与日面的西边缘相外切的时刻)，称为初亏。初亏也就是日食过程开始的时刻。

**食既：**从初亏开始，就是偏食阶段了。月亮继续往东运行，太阳圆面被月亮遮掩的部分逐渐增大，阳光的强度与热度显著下降。当月面的东边缘与日面的东边缘相内切时，称为食既。此时整个太阳圆面被遮住，因此，食既也就是日全食开始的时刻。

**食甚：**食既以后，月轮继续东移，当月轮中心和日面中心相距最近时，就达到食甚。对日偏食来说，食甚是太阳被月亮遮去最多的时刻。

**生光：**月亮继续往东移动，当月面的西边缘和日面的西边缘相内切的瞬间，称为生光，它是日全食结束的时刻。

**复圆：**生光之后，月面继续移离日面，太阳被遮蔽的部

分逐渐减少，当月面的西边缘与日面的东边缘相切的刹那，称为复圆。这时太阳又呈现出圆盘形状，整个日全食过程就宣告结束了。

对月球上朝向地球这面的观测者，对应于月食的过程，在2008日全食期间将会看到“地环食”的情况：半影食始：地球刚刚和月球半影区接触。此时地面上全食带起点处开始日全食的“初亏”。

初亏：标志地偏食开始。地球由东缘慢慢进入月影，地球与月球本影第一次外切。此时地面上全食带起点处开始“食既”。

食既：地球的西边缘与月球本影的西边缘内切，地球刚好全部进入月球本影内。“地环食”开始。

食甚：地球的中心与月球本影的中心最近。对应地面全食带中心点某处的“食甚”。

生光：地球东边缘与月球本影西边缘相内切，这时“地环食”阶段结束。

复圆：地球的西边缘与月球本影东边缘相外切，这时地偏食全过程结束。此时地面上全食带终点处开始“生光”。

半影食终：地球离开月球半影。此时地面上全食带终点处“复圆”，日全食结束。

18. (低年组+高年组)流星雨。代号为XYZ的某流星群为反太阳源的一部分(辐射点位于黄道上，与太阳的黄经差为 $180^\circ$ )，某位同学在6月22日晚对其进行了目视观测。

观测地点坐标为东经 $112.5^\circ$ ，北纬 $23.5^\circ$ 。目视极限星等5.8。在北京时间19:30至23:30期间观测到44颗流星，记录如下页上表所示。

请根据表中的数据完成下列问题(低年组只需完成a、b、c；高年组需完成a、b、c、d、e)。

a) 完成下面目视流星观测报表表格(见下页中表)

b) 画出XYZ流星雨在本观测时段观测流量随时间变化的曲线(横坐标UTC，纵坐标为流量)。

c) 从数据中我们可以推测出该流星群的极大时间大约发生在何时？

d) 假设由于遮挡、视力等因素的影响，该同学漏掉了40%的流星，请计算ZHR值。

e) 流星雨的r值是指该流星雨的群内流星星等每暗一等，流星数目增加的倍数，这是衡量某个流星体群成员大小分布的重要参数。请根据观测数据计算该流星雨的r值。

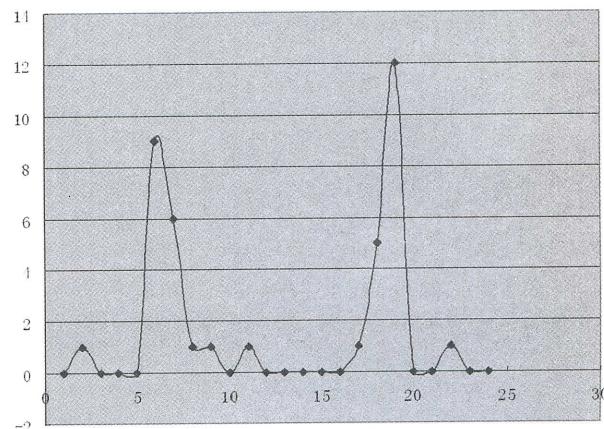
**解答**

a) 观测表格如下页下表所示。

b) 求解此题，我们需要将观测到流星数的时间划为每5分钟或10分钟一个小段，并且要将北京时间换算成世界时UTC(UTC=北京时间- $8^h$ )，可以画出下图(见右上图)，横坐标为世界时、纵坐标为流星数量：

c) 从b)的图中可以看出，极大值发生在UTC14:30，但对于我们的观测地点(E $112.5^\circ$  N $23.5^\circ$ )来说，两个峰值分别发生在20:20~20:40(15颗)和22:20~22:40(17颗)。

由于辐射点为反太阳源，观测地点又在北回归线附近，6月22日晚(夏至日附近)辐射点的周日视运动应在卯酉圈上，即： $120^\circ - 112.5^\circ = 7.5^\circ$ ，地方平时比北京时间晚约30分钟，因此20:30时辐射点地平高度约为 $30^\circ$ ，22:30时约为 $60^\circ$ 。这里需要进行地平高度改正，实际(天顶)应观测到的流星数如



下：

$$20:30 \text{ 为: } 15 / \sin 30^\circ = 30 \text{ 颗;}$$

$$22:30 \text{ 为: } 17 / \sin 60^\circ = 20 \text{ 颗,}$$

因此该群流量极大时间发生在北京时间20:30左右。

d) 因为遮挡、视力等因素的影响，该同学漏掉了40%的流星，在20分钟内的理论流量为 $30/60\% = 50$ 颗，极大每小时天顶流量：ZHR= $50 \times 3 = 150$ 颗。

e) 应根据最小二乘法线性拟合(画图、求平均值均可)，可以求出或从图中读出直线方程为： $y = 2.286 + 1.643x$ ，因此斜率即 $r = 1.643$ 。

19. (高年组) 双星。天文学家发现一颗恒星的亮度呈周期性(周期约为8天)的下降，降幅最大为1.5%，亮度下降持续约3.84小时后，又恢复正常。它的视向速度变化非常接近于正弦曲线，变化幅度约为20m/s。天文学家据此推断这颗恒星有一颗小质量伴星，

a) 求伴星的半径(以 $R_\odot$ 为单位)；

b) 求伴星的质量(以 $m_\odot$ 为单位)。天文学家已通过光谱观测得出主星的半径为 $1.2R_\odot$ 。提示：可能用到的质光关系：对于 $L < L_\odot$ 的恒星， $L/L_\odot \approx (m/m_\odot)^{2.8}$ ；对于 $L > L_\odot$ 的恒星， $L/L_\odot \approx (m/m_\odot)^4$ 。(应列出必要的计算式并画出示意图)

**解答**

这是一个食双星系统，可以认为它们的轨道面和视线方向几乎平行。设主星的质量为 $M$ ，半径为 $R$ ，伴星质量为 $m$ ，半径为 $r$ ，伴星到质心的距离为 $c$ ，主星到质心的距离为 $b$ 。

(1) 设主星的光度为 $L_1$ ，伴星的光度为 $L_2$ 。凌食前的总光度为：

$$L_1 + L_2$$

凌食后的总光度为：

$$L_2 + \frac{R^2 - r^2}{R^2} L_1$$

所以：

$$(L_1 + L_2) \times 98.5\% = L_2 + \frac{R^2 - r^2}{R^2} L_1$$

.....(1)

根据质光关系， $L_2/L_1 \approx (m/M)^{2.8}$ ，当 $L_2/L_1 \approx 0.1$ 时，

北京时间	星等	群属	速度	北京时间	星等	群属	速度
19:47:15	4	群内	2	22:19:58	-2	偶发	4
20:15:18	2	偶发	1	22:27:10	3	群内	1
20:23:20	2	群内	2	22:27:53	5	群内	1
20:23:55	5	群内	2	22:28:41	4	群内	1
20:24:00	4	群内	3	22:28:50	5	群内	1
20:26:11	0	群内	2	22:29:17	4	群内	2
20:26:33	3	群内	1	22:29:30	0	偶发	5
20:27:23	5	群内	2	22:30:46	5	群内	1
20:27:39	-1	群内	1	22:30:57	5	群内	2
20:28:41	1	群内	1	22:31:09	4	群内	1
20:29:04	2	群内	2	22:31:28	3	群内	2
20:30:23	3	群内	2	22:31:40	4	偶发	5
20:30:54	4	群内	2	22:32:25	5	群内	2
20:31:39	5	群内	1	22:32:59	4	群内	1
20:32:10	2	群内	2	22:33:41	1	群内	2
20:36:01	5	群内	2	22:34:13	-2	群内	2
20:39:30	3	群内	1	22:34:48	0	群内	2
20:49:12	4	群内	2	22:35:28	4	群内	2
20:55:43	5	群内	2	22:36:39	3	群内	2
20:59:06	1	偶发	5	22:36:53	5	群内	2
21:17:35	2	群内	3	22:49:15	-3	偶发	4
22:15:41	5	群内	2	23:02:49	5	群内	2

C	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	总	星等
XYZ													数目
偶发													

C	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	总	星等
XYZ	0	0	1	1	2	2	4	6	9	13	0	0	38	
偶发	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	6	数目

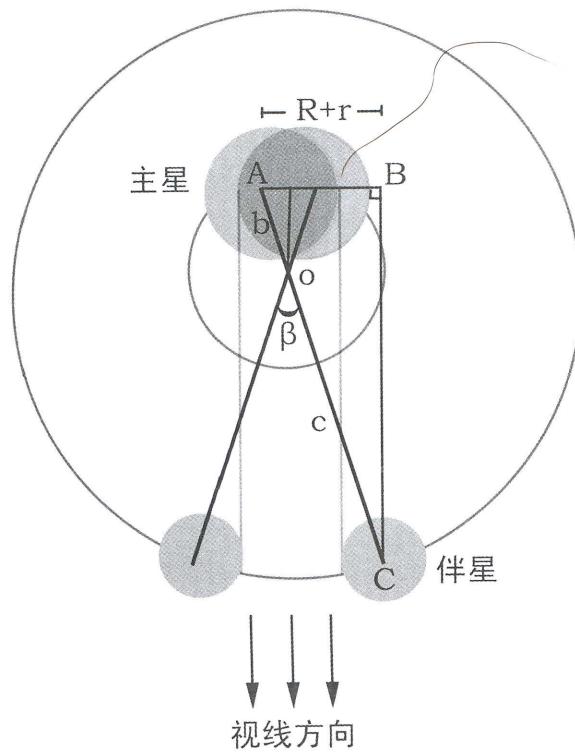
即当 $m/M < 0.45$ 时，在上式中可忽略 $L_2$ 的影响。从题干可初步判断出伴星的质量较小，我们在此先假设 $L_2$ 可以忽略不计，求出 $m$ 后再对这个假设进行检验。于是(1)可化为：

$$L_1 \times 98.5\% = \frac{R^2 - r^2}{R^2} L_1 \quad \dots \dots (2)$$

可以求得 $r/R \approx 0.12$ 。所以 $r \approx 0.144 R_\odot$ 。

(2)先求主星到质心的距离 $b$ 。主星的视向速度变化接近于正弦曲线，表示它绕质心的运动接近正圆。因此，主星绕质心运动的速度为 $v = 2\pi b/T$ ，有：

$$b = V \times \frac{T}{2\pi} = 5 \times 8 \times 24 \times 3600 / \pi \approx 0.00735 \text{ AU} \quad \dots \dots (3)$$



然后求伴星到质心的距离 $c$ 。凌食时间为3.84小时，占整个轨道周期(8天)的2%，如图所示，凌食期间，伴星运行的角度为 $\beta = 4\pi/100$ 弧度，直角三角形ABC的斜边 $AC = c+b$ ，直角边 $AB = R+r$ ，所以：

$$\sin \frac{\beta}{2} = \frac{R+r}{c+b} \approx 0.0628 \text{ 弧度}$$

因此 $c \approx 0.0774 \text{ AU}$ 。根据质心的定义，有：

$$b/c = m/M$$

……(4)

根据开普勒第三定律，

$$\frac{(b+c)^3}{T^2} = M + m \quad \dots \dots (5)$$

联立(4)、(5)，代入 $b = 0.00735 \text{ AU}$ ， $c = 0.0774 \text{ AU}$ ， $T = 0.022 \text{ 年}$ ，解得： $M = 1.15m_\odot$ ， $m = 0.11m_\odot$ 。

根据质光关系可以看出，伴星的光度还不到主星的1%，与(1)中将伴星的光度 $L_2$ 忽略掉相洽。注：由于两星的有效温度未知，而且并不相等，因此不能用题干所给出的质光关系直接求它们的质量。

20. (高年组) 深度巡天。国际上有两个观测小组，他们分别对不同的天区进行深度观测：法国的CFHTLS-Deep小组的主要科学目标是寻找超新星，当观测完成时他们能在直径为1.16角秒的天区内，探测到相当于28.2等恒星的流量(28.2等/1.16角秒)；美国国家天文台Deep Wide-Field Survey (NDWFS)巡天的主要目标是研究宇宙大尺度结构的形成与演化，他们的探测器能在直径为2角秒的天区内，探测到相当于26等恒星的流量(26.0等/2角秒)。

通过计算说明哪个巡天的深度更深。

解答

令 $F_A$ 、 $m_A$ 、 $s_A$ 、 $F_B$ 、 $m_B$ 、 $s_B$ 分别表示CFHTLS-Deep和NDWFS的极限流量、极限星等、面积，令 $F_A'$ 、 $F_B'$ 分别表示两个巡天在每平方角秒面积内能探测到的极限流量，C为定标常数。有：

$$\begin{aligned} m_A &= -2.5 \lg F_A + C, \quad m_B = -2.5 \lg F_B + C \\ F_A' &= F_A/s_A, \quad F_B' = F_B/s_B \\ m_A' &\sim -2.5 \lg F_A', \quad m_B' \sim -2.5 \lg F_B' \end{aligned}$$

所以：

$$\begin{aligned} m_A' - m_B' &= -2.5 \lg \frac{F_A'}{F_B'} = m_A - m_B - 2.5 \lg \frac{s_B}{s_A} \\ &= 28.2 - 26 - 0.48 = 1.7 \text{ 等/平方角秒} \end{aligned}$$

可见法国的CFHTLS-Deep小组巡天深度更深。

21. (高年组附加) 后羿射日。在中国古代的神话传说中，有后羿射日的故事——那时天上有九个太阳，由于地上过于炎热，后羿便射掉了其中的八个，只留下一个。现在我们假设这个神话故事是真的，即当时天上真的有九个太阳，且每颗太阳的一切的物理、化学性质(如质量，光度等等)都与现在我们头顶上的太阳完全相同。

当时的九个太阳都在距离现今的太阳很近的地方运动(你不必考虑它们之间复杂的运动关系及可能存在的物质交流，只需建立一个这样的模型：这九颗太阳紧密地分布在太阳系的中心)。那时地球的轨道为圆轨道，且那时地球上一年的长度和现在是一样的。太阳常量 $W = 1369 \text{ W/m}^2$ ，太阳质量 $m = 1.9891 \times 10^{30} \text{ kg}$ 。

(1)如题干所说，有九个太阳的时候，地球上真的比现在要热吗？通过计算证明你的观点是正确的。

(2)如果后羿在几秒钟内就一气射下了八颗太阳(这里的“射下一个太阳”应理解为“在一瞬间让一个太阳连同它的物理化学性质等彻底的消失”，而且我们做出假设，如果射下若干个太阳，那么余下的太阳仍旧集中在它们先前的位置附近)，那么，天上确实是只有一颗太阳了。请你通过计算以及必要的分析，简要描述一下当时后羿这样做之后、以及几千年后地球的气候将是什么样子。

(3)如题干，倘若后羿当时在几秒钟内一口气射掉了若干颗太阳：讨论剩下的太阳的数量与射掉太阳之后地球上一年的长度的关系；为了使地球上具有和今天相对接近的适合人类居住的温度，他当时可以选择射下几颗太阳？

**解答**

1)当天上有九颗太阳时，地球绕日公转周期与现在相同（均为 $T$ ）。由于中心天体的质量为 $9M_{\odot}$ ，设此时地球公转圆轨道半径为 $r_1$ 、地球质量为 $m$ ，根据开普勒第三定律定律有：

$$\frac{r_1^3/(1 \text{ AU})^3}{T^2/(1 \text{ 年})^2} = \frac{9M_{\odot} + m}{M_{\odot} + m}$$

忽略地球质量 $m$ ，解得： $r_1 = 2.08 \text{ AU}$ 。我们以太阳常量 $W$ 作为考察地球气温的参数，当有九颗太阳时：

$$W' = \frac{9L}{4\pi r_1^2} = 2.08W$$

可知此时地球上确实比现在要热。

2)题中射日的过程，意味着中心天体质量突然减小，因此有地球的运动速度 $v_1$ 大于此处第二宇宙速度的可能性。果真如此的话，地球将以过高的速度被“甩离”太阳，沿一抛物线或双曲线轨道远离太阳而去。

当有9个太阳时，地球公转速度 $v_1$ 满足：

$$\frac{v_1}{v_0} = \frac{2\pi r_1/T}{2\pi r_0/T}$$

其中 $r_0$ 为现在的日地距离（1AU）， $v_0$ 为现在的公转速度，解得：

$$v_1 = 61.95 \text{ km/s}$$

后羿一口气射掉八颗太阳，故八颗太阳消失时，地球相对太阳依旧以 $v_1$ 运动；当只有一颗太阳时，距太阳 $r_1 = 2.08 \text{ AU}$ 处第一宇宙速度为 $v_{11}$ ，而第二宇宙速度 $v_{21} = \sqrt{2}v_{11} = 29.2 \text{ km/s}$ ，由于 $v_1 > v_{21}$ ，因此地球将被“甩离”太阳。

在八颗太阳刚刚被射落时，太阳常量突变为：

$$W'' = W'/8 = 0.23W$$

由于地球大气及水体的恒温作用，地球的气温在很短的时间内还能保持相对稳定。但由于太阳辐照的突变以及地球离太阳的远去，地球的气温隨即便会明显下降。过了数千年，地球将会成为一颗在宇宙中漂泊的行星。

3)若要满足题意，至少地球不能在若干颗太阳被射下后而被甩离太阳。若余下 $k$ 颗太阳，设 $(9 - k)$ 颗太阳被射下

后，满足条件的 $k$ 所对应的轨道第一宇宙速度为 $v_{10}$ ，必须有： $\sqrt{2}v_{10} > v_1$ ，即：

$$\sqrt{2} \times \sqrt{\frac{k \times GM}{r_1}} > \sqrt{\frac{G \times 9M}{r_1}}$$

容易求出 $k > 4.5$ ，因此至多只能射下四颗太阳。

在射下 $(9 - k)$ 颗太阳的瞬时，地球位于新轨道的近日点，根据活力公式：

$$G \times kM \left( \frac{2}{r_1} - \frac{1}{a_k} \right) = G \times 9M \left( \frac{2}{r_1} - \frac{1}{r_1} \right)$$

可求出新轨道的半长轴为：

$$a_k = k \times \frac{r_1}{2k - 9}$$

若 $k \leq 4$ ，则轨道为双曲线，地球将不会绕太阳运动，“年”将没有意义。我们不妨先讨论射下两颗太阳时的情况，由上式知，在射下两颗太阳的瞬时：

$$a_7 = 7 \times \frac{r_1}{2 \times 7 - 9} = 2.9 \text{ AU}$$

此时近日距 $d_7 = r_1 = 2.08 \text{ AU}$ ，远日距 $d_7' = 2a_7 - r_1 = 3.74 \text{ AU}$ ，因此在近日点时的太阳常量：

$$W_{\text{近}} = 7 \times \frac{L}{4\pi d_7^2} = 1.62W$$

同理，在远日点：

$$W_{\text{远}} = 7 \times \frac{L}{4\pi d_7'^2} = 0.5W$$

如果只射下一颗太阳，则：

$$a_8 = 8 \times \frac{r_1}{2 \times 8 - 9} = 2.4 \text{ AU}$$

此时近日距 $d_8 = r_1 = 2.08 \text{ AU}$ ，远日距 $d_8' = 2a_8 - r_1 = 2.67 \text{ AU}$ 。所以有，近日点：

$$W_{\text{近}} = 8 \times \frac{L}{4\pi d_8^2} = 1.85W$$

远日点： $W_{\text{远}} = 1.2W$ 。

如果射下的太阳多于两个，地球在远日点附近接收的能量将会更少。因此，无论射下一个或者是两个太阳，在每年的相当长时间里，地球都不会接收到与现在相同的热量，故都难以使地球拥有与如今相同的温度。倘若真要尽可能地接近今天的气温，他可以选择射下一颗或者两颗太阳。

22. (高年组附加) 沙罗周期。古代的巴比伦人根据对日食的长期观测，发现日月食的发生有一个223个朔望月的周期，被称为“沙罗周期”。经过一个沙罗周期之后，太阳、月亮、地球的相对位置又回复到和原来几乎相同的位置上，因此地球上就会看到和上次相类似的日、月食。

1991年7月11日，一次日全食发生于黄白交点的降交点附近，地球上全食持续时间最长处的位置是北纬 $\Phi = 21^{\circ}59'N$ 、西经 $105^{\circ}13.0'$ ，当地的食甚时刻为世界时 $19^h 06m 04.7s$ ，此时太阳、月亮的赤经、赤纬分别为： $07^h 22m 12.8s$ 、 $22^{\circ}05'48.5''$ 和 $07^h 22m 12.5s$ 、 $22^{\circ}05'33.3''$ 。

请估算一个沙罗周期后发生日食时，地球上食分最大处的地理经纬度和食甚的时刻，分别给出世界时和当地地方时，并指出可能的误差来源。

**提示：**交点年(太阳从一个黄白交点经过到回到这个交点所需的时间)为346.62003天，朔望月的长度平均为29.530588天，黄白交角取为 $5^{\circ}09'$ 。

**解答**

1) 我们先求食分最大处的经度。

一个沙罗周期的长度为 $29.530588 \times 223 = 6585.321124$ 天，相当于18年11.321124天，即下次的日全食将发生在2009年7月22日，食分最大处的食甚时刻应为世界时02: 48: 29.8。

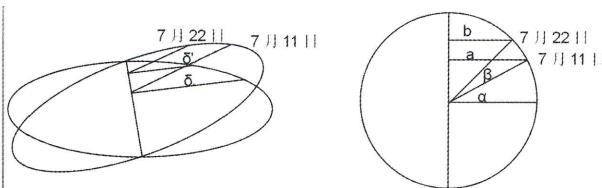
考虑到沙罗周期不是整数日，在0.321124天里，地球自西向东自转了：

$$\omega = 0.321124 \times 24 \times 15^{\circ} = 115^{\circ}36'$$

所以，最大见食地点的地理经度变为：东经 $139^{\circ}11'$ 。

2) 求7月22日的太阳赤纬。要知道一个沙罗周期过后见食地点的纬度变化是由于月影变化与太阳赤纬变化的共同作用造成的(如右上图所示)。因此首先要求7月22日的太阳赤纬。两次日全食的时间间隔为18年11.321124天，太阳在黄道上运行了：

$$\beta = 11.321124 \times 0.9856^{\circ} = 11.158^{\circ}$$



7月11日太阳的赤纬记为 $\delta$ ，7月22日的赤纬记为 $\delta'$ 。如上图所示， $\alpha$ 为从夏至(6月23日)至7月11日太阳在黄道上走过的角度： $\alpha = 0.9856^{\circ}/\text{天} \times 18\text{天} = 17.74^{\circ}$

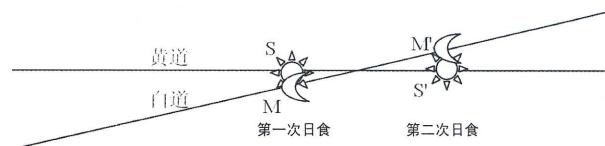
$$\frac{\delta'}{\delta} = \frac{b}{a} = \frac{\cos(\alpha + \beta)}{\cos \alpha} = 0.92$$

因此：

$$\delta' = 22.0968^{\circ} \times 0.92 = 20^{\circ}19'$$

3) 求食分最大处的纬度。如下页上图所示，S、M、N、 $\phi$ 分别表示第一次日食时的太阳、月球、地球北极、月影直射点赤纬， $S'$ 、 $M'$ 、 $N'$ 、 $\phi'$ 分别表示第二次日食时的太阳、月球、地球北极、月影直射点赤纬。

19个交点年的长度为 $346.62003 \times 19 = 6585.78057$ 天，比沙罗周期长0.459446天。太阳在黄道上自西向东运行，其平均速率为 $360^{\circ}/365.2422$ 天= $0.9856^{\circ}/\text{天}$ ，也就是说第二次



日全食时，太阳离黄白交点的位置比上次偏西 $0.9856^{\circ} \times 0.459446 = 27.2'$ 。

全食时月亮的黄经与太阳相同，因此月亮的黄经也比上次偏西 $27.2'$ 。取黄白交角为 $\theta = 5^{\circ}09'$ ， $SS' = 27.2'$ ，可以算出第二次日全食时，月心的黄纬之差为：

$$M'S' - MS = SS' \cdot \tan \theta = 27.2' \times \tan 5^{\circ}09' = 2.5'$$

即 $\angle MOM' = 2.5'$ 。

两次日食都发生在黄白交点的降交点附近，这将导致月球的影子在地表上向北偏移，最大见食点的纬度由 $\phi$ 变为 $\phi'$ 。地月距离 $OM$ 约为384000千米，因此：

$$MM' = OM \cdot \sin \angle MOM' = 280 \text{ km}$$

$MM'$ 很小，可以认为是平行于 $dd'$ 的直线， $Sd \gg SM$ ， $\phi'd'$ 可视为平行于 $\phi d$ 。所以： $dd' \approx MM' = 280 \text{ km}$ ，而且：

$$\angle O\phi d = \angle SO\phi = \delta - \phi = 6'48.5''$$

因此： $Od = R \times \sin \angle SO\phi = 12.6 \text{ km}$ ， $Od' = dd' - Od = 267.4 \text{ km}$ ，

$$\angle O\phi'd' = \arcsin \frac{Od'}{O\phi'} = 0.042 \text{ 弧度} = 2^{\circ}24'$$

于是 $\angle \phi O\phi' = \angle O\phi'd + \angle O\phi d = 2^{\circ}31'$ ，而且：

$$\begin{aligned} \angle \phi'ON' &= \angle NO\phi + \angle NON' - \angle \phi O\phi' \\ &= 90^{\circ} - 21^{\circ}59' + 22^{\circ}05'48.5'' - 20^{\circ}19' - 2^{\circ}31' \end{aligned}$$

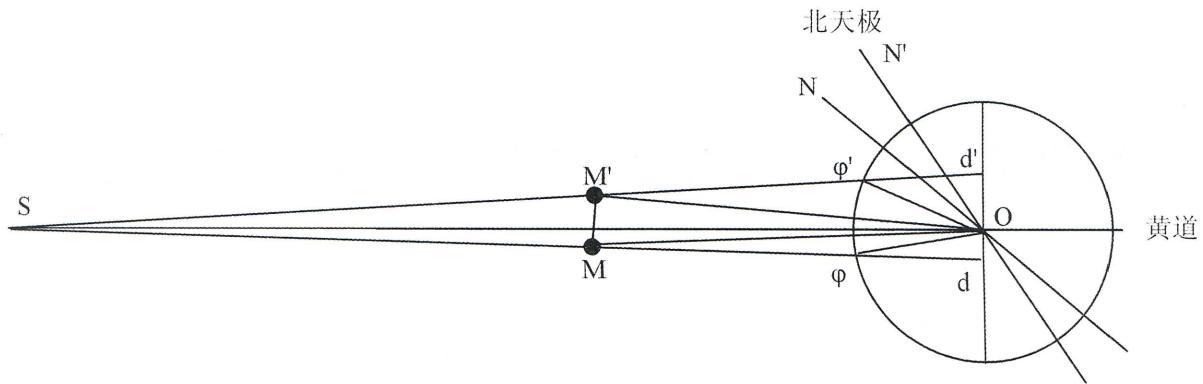
2009年7月22日食分最大处的地理纬度为：

$$\Phi' = 90^{\circ} - \angle \phi'ON' = 22^{\circ}43'$$

综上所述，2009年7月22日食分最大处的地理经纬度分别为东经 $139^{\circ}11'$ 、北纬 $22^{\circ}43'$ ，食甚时刻为世界时 $02^h 48m 29.8s$ ，当地地方平时为：

$$2^h 48m 29.8s + 9^h 16m 44s = 12^h 05m 13.8s$$

4) 主要误差来源：“食甚”是对观察者来说的，当视月球和视太阳的黄经相同时为“食甚”，而“朔”指的是真太阳和真月亮的黄经相同的时刻，因此观测者看到“食甚”的时刻并不就是“朔”，一般要比“朔”后延一段时间 $\Delta t$ 。这是由月亮与太阳的视差造成的(主要是月球地平视差，即 $6378/384000 = 0.95$ 度)，后延时间 $\Delta t$ 的长短与视食甚时刻太阳的天顶距、地平圈和黄道的夹角有关，因此两次日全食时的 $\Delta t$ 并不相同，所以两次视食甚之间的时间间隔并不严格等于一个沙罗周期。最大见食地点的经纬度与根据



沙罗周期计算出的结果有一定的偏差，经度相差大约15分钟(即4度左右)，这一差别同时也导致了见食地纬度的变化(相差约2度)。

此外，对太阳赤纬的估算，也可能带来大约 $10'$ 左右的误差。经过精确计算得出的食分最大处的经纬度为：北纬 $24^{\circ}12.6'$ 、东经 $144^{\circ}06.4'$ ，当地的食甚时刻为：世界时 $2^h35^m21.1^s$ 。

当然，黄白交角的变化(变动于 $4^{\circ}59' \sim 5^{\circ}18'$ )、地月距离、日地距离的变化也会给结果带来误差，不过它们的影响基本可以忽略。

23. (高年组附加) 飞行天文台。有人设想将中等口径的望远镜搭载在客机上，在高空对星体目标进行观测，从而降低大气对望远镜观测的影响。假设现在有一个足够大的客机，巡航速度最高为每小时800千米，上载一固定指向的望远镜，在赤道上空20千米处对某恒星进行飞行观测。

如果单纯靠飞机的巡航跟踪(水平飞行)，该恒星有可能实现保持于望远镜的视野中不动么？如果不能的话，至少要换到多高的纬度才可以实现飞机对星体的巡航跟踪呢？(只考虑被观测的星体不靠近南北天极时的情况)

**解答**

1)不能。望远镜指向固定的话，则必须靠飞机飞行来抵消地球自转，且向西飞行的抵消效率最大。地球在赤道附近的自转线速度为：

$$V = \frac{2\pi R}{t} = \frac{2 \times 3.14 \times 6400}{23^h 56^m 4^s} = 1680 \text{ km/h} > 800 \text{ km/h}$$

注：20000米相对于地球半径来说很小，故略去。

根据计算结果可见，飞机的最大航速也无法抵消赤道上空的地球自转。

2)设可行的最低纬度为 $\phi$ ，此处飞机以最高航速刚好抵消地球自转，则： $V = 2\pi R \cos \phi / t$ ，因此：

$$\phi = \arccos \frac{V \cdot t}{2\pi R} = \frac{800 \times 23^h 56^m 4^s}{2 \times 3.14 \times 6400} = 61^{\circ}34'$$

可见，可以实现跟踪的最低纬度是 $61^{\circ}34'$ 。

# 2009年全国中学生天文奥林匹克竞赛试题

## 预赛试题

全国天文奥赛组委会 供稿

考试时间：2009年2月28日

01. “神舟-7”飞船执行出舱任务的宇航员是( )。  
(A) 景海鹏 (B) 刘伯明 (C) 聂海胜 (D) 翟志刚

02. 今年是望远镜用于天文观测的( )周年。  
(A) 60 (B) 245 (C) 400 (D) 800

03. 国际通用的星座总共有( )个。  
(A) 12 (B) 35 (C) 88 (D) 106

04. 2008年8月日全食食甚的时间大致是( )。  
(A) 上午7点 (B) 中午12点 (C) 下午7点 (D) 午夜0点

05. 2009年全国中学生天文奥林匹克竞赛决赛的举办城市是( )。  
(A) 北京 (B) 天津 (C) 厦门 (D) 广州

06. 2009年全国天文奥赛预赛里出现下面哪种情况被扣的分最多? ( )  
(A) 未涂或涂错准考证号 (B) 未涂或涂错试卷类型 (C) 未涂或涂错科目(分科) (D) 在答题卡上涂错某一道题的答案

07. 2008年中国队在两项国际天文奥赛中获得的金牌数为( )。  
(A) 1 (B) 3 (C) 5 (D) 7

08. 中国即将发射的载人空间站的名称是：  
(A) 神舟 (B) 嫦娥 (C) 夸父 (D) 天宫

09. 2009国际天文年的宣传口号是( )。  
(A) 保护夜空 (B) 以天会友 (C) 从地球到宇宙 (D) 探索我们的宇宙

10. 2009国际天文年活动的全球项目“天文学100小时”举办的时间是( )。  
(A) 4月上旬 (B) 7月中旬 (C) 8月下旬 (D) 10月下旬

11. 假设天气晴朗，2009年的以下日期中最适于进行梅西叶天体马拉松观测的日期是( )。  
(A) 2月7日 (B) 3月28日 (C) 4月5日 (D) 5月17日

12. 银道在以下哪两个星座之间穿过? ( )  
(A) 双鱼和宝瓶 (B) 狮子和小狮 (C) 大熊和小熊 (D) 大犬和小犬

13. 从地球上看，以下哪两个天体在天球上的角距离最近? ( )  
(A) 丹戎和摇光 (B) 南河三和北河三 (C) 牛郎星和织女星 (D) 心宿二和参宿四

14. 以下恒星与所在星座写的不对的是( )。  
(A) 天狼星，大犬座 (B) 南河三，双子座 (C) 参宿七，猎户座 (D) 轩辕十四，狮子座

15. 夜空中以下哪个天体看上去最暗? ( )  
(A) 土星 (B) 北极星 (C) 大角星 (D) 牛郎星

16. 在地球赤道地区的观测者肉眼看不到的天体是( )。  
(A) 仙女座大星系 (B) 大麦哲伦星云 (C) 小麦哲伦星云 (D) 室女座星系团

17. 以下年份中哪年可以在中国看到日全食? ( )  
(A) 2012 (B) 2019 (C) 2022 (D) 2035

18. 今年日全食食甚的时间大概是北京时间( )。  
(A) 早上6点半 (B) 上午9点半 (C) 中午12点半 (D) 下午5点半

19. 今年日全食的全食区域从进入我国西部到离开上海附近总共持续的时间约为( )分钟。  
(A) 6 (B) 30 (C) 60 (D) 超过90

20. 麋林彗星现在所在的星座是( )。  
(A) 英仙座 (B) 狮子座 (C) 鹿豹座 (D) 小熊座

21. 以下哪个不是近期的天文发现? ( )  
(A) 发现到目前为止最小的类地行星 (B) 荷兰三名大学生发现一颗太阳系外行星 (C) 中日天文学家合作发现一颗太阳系外行星 (D) 发现太阳系外行星存在生命的初步证据

22. 以下不是本月天文事件的是( )。  
(A) 土星冲日 (B) 月掩木星 (C) 美俄卫星相撞 (D) 麋林彗星过近地点

23. 在木星的4颗伽利略卫星中直径最大的是( )。  
(A) 木卫一 (B) 木卫二 (C) 木卫三 (D) 木卫四

24. 到目前为止国际上已经发现的获得永久编号的小行

星大约有( )颗。

- (A) 接近5万 (B) 10万 (C) 20万 (D) 超过30万

25. 最近几天在天球上相距最近的两颗行星是( )。

- (A) 金星和火星 (B) 火星和木星 (C) 木星和土星 (D) 土星和金星

26. 2009年相对来说观测条件不太好的流星雨是( )流星雨。

- (A) 英仙座 (B) 猎户座 (C) 狮子座 (D) 双子座

27. 最近两年里没有发射月球探测器的国家是( )。

- (A) 日本 (B) 中国 (C) 印度 (D) 美国

28. 一光年大约是( )天文单位。

- (A) 小于10 (B) 3百 (C) 6万 (D) 大于1百万

29. 在北京可以看到的月球的地平高度最高约为( )度。

- (A) 32 (B) 55 (C) 78 (D) 90

30. 某望远镜口径为120毫米, 物镜焦距为1500毫米, 目镜焦距60毫米, 则它的放大倍数为( )倍。

- (A) 2 (B) 12.5 (C) 25 (D) 750

31. 2009年2月9日晚上, 在嫦娥一号飞船上有可能看到( )。

- (A) 日偏食 (B) 日环食 (C) 日全食 (D) 半影地食

32. 以下哪个不是近期的天文发现? ( )

- (A) 发现一颗火星共轨小行星 (B) 首次观测到一颗恒星绕银心走完一圈 (C) 首次在γ爆所处星系发现气体分子 (D) 山东大学威海天文台发现的一颗小行星获得国际永久编号和命名权

33. 2009年在我国发生日全食时月亮位于( )附近。

- (A) 摩羯座 (B) 白羊座 (C) 巨蟹座 (D) 天秤座

34. 以下哪句话最能够反映真实的情况? ( )

- (A) 2009年元宵节的月亮是1957年以来满月里面最大的 (B) 2009年元宵节的月亮是1957年以来元宵节的月亮里面最大的 (C) 2009年元宵节的月亮在过去10年的元宵节的月亮里面也不是最大的 (D) 2009年元宵节的月亮是近一两年的满月里面最大的

35. 冬至日在澳大利亚某地(南纬32.0度, 东经141.5度)看日出, 太阳应该是从( )方向升起来。

- (A) 东南 (B) 东北 (C) 西南 (D) 西北

答案: DCCCD ABDDA BDDBB DDBBB DACCB  
ADCCC AACCA

## 决赛暨广州天文邀请赛试题

全国天文奥赛组委会 供稿

考试时间: 2009年4月3日, 考试地点: 广州

一、选择题(低年组做第01-10题, 高年组做第03-12题)

01. 某高校天文协会准备组织以用天文望远镜观测月球为主的路边天文活动。比较合适的时间是在农历的( )。

- (A) 新月 (B) 上弦月 (C) 满月 (D) 下弦月

02. 以下哪两个星座是相邻的? ( )

- (A) 猎户座和金牛座 (B) 大熊座和仙后座 (C) 天鹰座和小熊座 (D) 天琴座和仙后座

03. 以下哪位同学不是2008年第13届国际天文奥赛的获奖者? ( )

- (A) 宫郑 (B) 马皓南 (C) 郑宜婷 (D) 罗连通

04. 未来几个月里我们最先可以看到的流星雨是( )座流星雨。

- (A) 象限仪 (B) 猎户 (C) 天琴 (D) 英仙

05. 我们最不可能在以下哪个星座中观测到月球? ( )

- (A) 金牛座 (B) 猎户座 (C) 双鱼座 (D) 大熊座

06. 本周夜间观测看不到的行星是( )。

- (A) 水星 (B) 火星 (C) 木星 (D) 土星

07. 以下有关流星雨的论断哪个最不正确? ( )

- (A) 同一个流星雨在每年差不多相同的日期都会发生 (B) 几乎每天都有处于活跃期当中的流星雨 (C) 夏天和冬天出现的偶发流星数目差不多 (D) 一般来说在同一个地点单位时间里在黎明之前看到的偶发流星比天刚黑不久看到的要多

08. 秋分时, 位于南纬45度某地当地时间下午3时太阳的方位是( )。

- (A) 东南 (B) 西南 (C) 西北 (D) 东北

09. 以下人名中以天体摄影方面最为著名的大师级人物是( )。

- (A) 小龙哈勃 (B) 藤井旭 (C) 加贺谷穰 (D) 麦克诺特

10. 日全食时, 造成月影在地面移动的主要原因是( )。

- (A) 地球自转 (B) 地球公转 (C) 月球自转 (D) 月球公转

11. 在以下哪个月份在北京能观测到天狼星在黎明前升起地平? ( )。

- (A) 1月 (B) 4月 (C) 7月 (D) 10月

12. 在今年发生日全食的区域, 我国境内的经度相同而纬度相差1度的两个观测点的距离大概是( )千米。

- (A) 不到30 (B) 100 (C) 500 (D) 至少1000

答案：B、A、B、C、D、A、C、C、B、D、B、B

## 二、简答题(低年组做第13-17题，高年组做第16-20题。)

13. (低年组) 星座。列出你所知道的有关天鹅座的尽可能多的信息。比如：在天球中的位置，有关的神话传说，星座大致的形状(画图)，在某个特定日期或者月份升起和落下的大致时间，该星座里著名的亮星和特殊天体，尽可能多的相邻的星座名称，等等。

14. (低年组) 时间。写出你知道的尽可能多的古代和近代测量时间的方法。

**解答**

古代和现代测量时间的方法和仪器：漏刻、日晷、水运仪象台、观察北斗七星、圭表、利用烛火计时、观察太阳的方位和高度估计时间、利用月相估计日期和时间、焚香计时；钟表计时、单摆计时等等。

15.(低年组) 火星日食。从地球上看，太阳和我们的月亮看上去恰好差不多大，这样才能形成恰到好处的日全食。而在其他行星上可能就没这么幸运了。以火星为例，火星有两颗卫星，火卫一可视为半径11.3千米的球体，其轨道可视为半径9380千米的圆轨道；火卫二可视为半径6.3千米的球体，轨道可视为半径23460千米的圆轨道。

已知火星半径为3400千米，试问如果有一位宇航员在火星上观测日食，他能观测到的日食其食分大约为多少？

**解答**

根据定义，食分指日食或月食时，太阳或月亮被遮蔽的程度，以太阳或月亮的直径为单位来计算。例如日食的食分为0.6，就是说太阳的直径被月球遮住了 $6/10$ ，食分为1.02意味着太阳被完全遮蔽，而且月球的视直径与太阳的视直径之比为1.02。本题中，火卫二个头很小，离火星又远，因此火星上日食的最大食分不可能由它造成，故不予考虑，只考虑火卫一。

火卫一在火星表面上看去的最大视直径为：

$$\alpha = \frac{2 \times 11.3}{9380 - 3400} = 2 \times 0.0018896 \text{ 弧度} = 13 \text{ 角分}$$

根据提丢斯-波得定则，火星应距太阳1.6AU，而太阳在地球上看上去大约为32角分，因此在火星上看上去应为： $32 \times 1/1.6 = 20$ 角分，因此最大食分为： $13/20=0.65$ 。

注：在地球上看，太阳的视直径也经常取为30角分算，而且火星到太阳的距离的精确数为1.52AU，因此本题答案在0.61-0.65之间应该都算对。

16.(低年组+高年组) 小说。请阅读下面一部经典的小说中的关于星辰的描述，回答后面的问题。

“天色黑下来了。穿过桦树枝的空隙可以看见银光灿烂的金星在西方闪耀着温柔的光辉；而阴沉的大角星在东方发出红色的光芒。列文望见头上的北斗星，但接着又找不着了。山鹬不再飞了，不过列文还是决定再等一会儿，等金星从桦树枝下升到树梢上空，北斗星全部出现，斗和斗柄在苍茫的天空中已经十分清楚了，可是他还在等待。”

(1)上文中有天文错误，请指出并说明原因。

(2)请根据原文的叙述，判断事件发生的大概地理纬度并说明原因。

(3)请根据叙述，判断事件发生的大概日期和时间。(不必估计年份)

(4)这样的景象，可能在你参加理论考试的地方和时间看到吗？为什么？请分别就地点和时间加以说明。

**解答**

(1)群星永远东升西落。所以当金星是昏星时，从看到它开始它的高度就一直降低，不可能升高，所以说金星从树枝下升到树梢上空是不对的。

(2)北斗七星在我国的黄河流域(北纬35度左右)看来是永不下落的天体，即它们下中天的地平高度满足：

$$h = \phi + \delta - 90^\circ \geq 0^\circ$$

其中 $\phi$ 为观测地的地理纬度， $\delta$ 为天体的赤纬，由此可以推断出北斗七星的赤纬大致在 $55 \pm 5$ 度，它们出现在头顶上时应该位于上中天，地平高度为90度左右，在低纬度地区，它们上中天时位于天顶以南，根据：

$$h = 90^\circ + \phi - \delta$$

其中 $h$ 为天体上中天(位于天体以南)时的地平高度，因此在 $h < 90^\circ$ 的地区，也就是 $\phi < \delta$ 的地区，北斗七星不可能出现在头顶，所以文中所述的观测地的地理纬度：

$$\phi \geq \delta \approx 50^\circ N$$

(3)大角在东方又刚好是傍晚(18~19时)，只能是四月下旬。

(4)不能。广州的纬度大致为北纬23度所以地点上不可能。2009年3月28日金星下合，由昏星变为晨星，所以考试日(4月3日或4日)即使在高纬地区也不可能在傍晚看到金星。

17. (低年组+高年组) 日月食。分别定性说明以下各情况对地面所观测到的日月食的发生频率的影响：地球自转轴方向的变化；月球自转轴方向的变化；月球公转平面相对于地球自转平面的变化；地月距离增加一倍；日地距离减少一半。

**解答**

1、地球自转轴变化对日月食频率无影响；

2、月球自转轴方向变化无影响；

3、月球公转平面即为白道，地球自转平面为赤道，白道相对于赤道发生变化，实际上就是黄道、白道夹角的变化。若黄白交角变小，日月食频率增加，黄白交角变大，则频率降低；

4、地月距离增加一倍，月球的公转周期变长，日月食频率降低，另外由于月球视直径变为现在的一半，只有15角分，日全食不再可能发生，只能发生偏食和环食；

5、日地距离减少一半，地球的公转周期将变小，而且太阳的视直径增大，显然发生日月食的频率也将增加。

18. (高年组) 类地行星。2009年3月6日发射的“开普勒”空间望远镜将对10万颗恒星进行为期3.5年的不间断观测，并且通过观测行星凌星来寻找太阳系外的类地行星。问题：

(1) 请简述利用行星凌星方法寻找太阳系外“地球”的原理。尽可能多地列出你所知道的其他可以用来寻找系外行星的方法。

(2) “开普勒”对于12等恒星的测光精度为 $1/50,000$ ，若对于一颗亮度为12等的类太阳恒星，“开普勒”所能探测的其周围行星的最小半径是多少？

(3) 对于(2)中的行星系统，若这颗行星距离其恒星的距离正好为1个天文单位，且以圆轨道绕恒星转动，那么凌星现象最长可持续多少时间？

解答

(1) 由于行星经过恒星视面阻挡星光，凌星方法通过测量恒星光度变化来发现行星的存在。系外行星探测方法主要有多普勒视向速度、凌星、微引力透镜、天体测量、直接成像。

(2) 根据星等的定义：

$$m + \Delta m - m = \Delta m = -2.5 \lg \frac{F_1}{F_2} \quad \dots \dots (1)$$

流量之比与恒星、行星的关系为：

$$\frac{F_1}{F_2} = 1 - r^2/R^2 \quad \dots \dots (2)$$

将 $\Delta m = 1/50000 = 0.00002$ 带入(1)，可得： $F_1/F_2 = 0.9999816$ ，根据(2)即可求出

$$r = 0.0429R = 2987 \text{ km}$$

(3) 最长凌星时间出现在行星的凌星轨迹与恒星直径重合时，持续时间正比于恒星直径在行星轨道上所截弦的长度相对于行星轨道圆心的张角：

$$\theta = \pi - 2 \arctan \frac{a}{R}$$

其中 $a$ 为1个天文单位，即 $1.5 \times 10^8$ 千米，所以 $\theta = 0.00928$ 弧度，最长凌星时间为：

$$\Delta t = \theta / 2\pi \times T = 12.9 \text{ 小时}$$

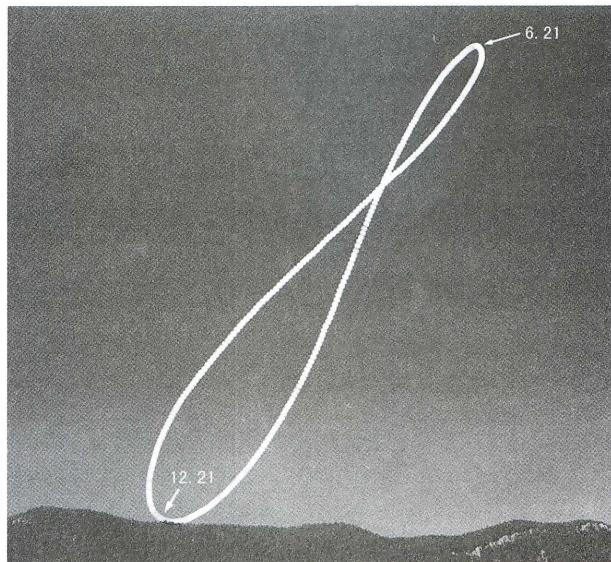
其中 $T$ 为行星的公转周期(1年)。

19. (高年组) 太阳视运动。如果我们把照相机对准选定的方向固定好，在一年中选取若干天(例如每个周一)，在这些天的同一时刻(例如上午9点)拍摄太阳，并且所有拍摄都在同一张底片上曝光，那么经过一年之后，就会发现所获得的太阳像组成了一个8字形。这是由于我们平时使用的平太阳与真太阳时的差别(即“时差”)所造成的。

一个位于北半球东经100度某处的观测者，在海拔为1000米的山上(与照片中山峰的高度相同)拍摄太阳8字，获得如下照片。

1、在图中画出“8”字的中轴线(即0时差线)，它与地平线的夹角是多少度？

2、估算作者是在每天的什么时间进行拍摄(换算成北京时间)？拍摄地的地理纬度是多少？需要给出必要的图示和计



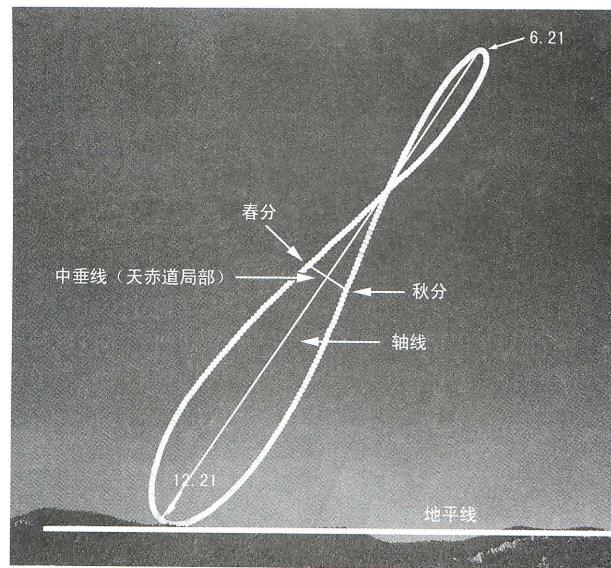
算公式。

提示：可能用到的球面三角公式：在球面三角形ABC中， $\cos A = -\cos B \times \cos C + \sin B \times \sin C \times \cos a$ ， $\cos a = \cos b \times \cos c + \sin b \times \sin c \times \cos A$ ，其中A、B、C为三个角，a、b、c表示相应的边。

解答 设当地地理纬度为 $\phi$ ，太阳赤纬记为 $\delta$ ，拍摄时的地方平时为T时。

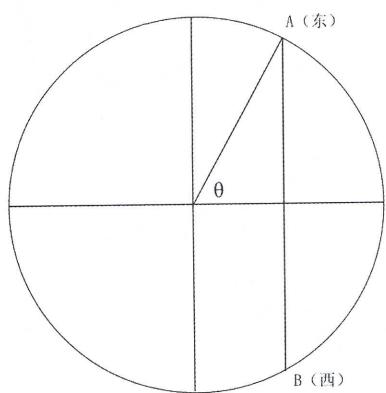
1)8字像是由时差造成的，如果没有时差的话，按这种摄影方式拍摄太阳(也就是拍摄平太阳)，得到的应该是一条直线，即8字像中时差为零的点并且垂直于春、秋分时太阳像的连线，据此可以画出这条轴线(注意，它并不正好经过8字中间的交点)。

从图中可以量出0时差线(即中轴线)与地平线的夹角约为60度(如果根据三角函数公式计算，结果应为 $56.3^\circ$ )。



2)由于拍摄地与照片中山峰的海拔相同，因此从照片中可以看出，8字像下边缘正好与地平线相切，考虑到冬至是北半球一年中白昼最短的一天(不严格地说)，显然拍摄时间应

该是在下午。



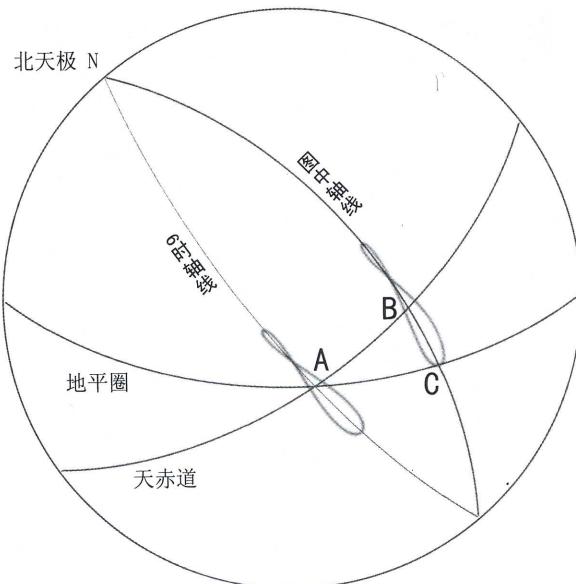
设拍摄时刻为 $T$ (地方平时)，估算时可以认为12月21日(冬至)时、在拍摄照片的时刻，太阳正好位于地平线上。上图所示为冬至日太阳的周日视运动圆，弧AB为白天的太阳运行轨迹，则：

$$\cos \theta = \sin \delta \times \sin \phi = 0.4 \sin \phi$$

其中 $\delta$ 为冬至日太阳赤纬的绝对值，等于23.5度。因此有：

$$T = 12 + \frac{\theta}{15^\circ} = 12 + \frac{\arccos(0.4 \sin \phi)}{15^\circ} \quad \dots \dots (1)$$

3)“轴线”垂直于天赤道，天赤道与地平线的夹角等于 $90^\circ - \phi$ ，所以当轴线、天赤道、地平线正好相交于一点(为西点或东点)时，轴线与地平线的夹角即为当地的地理纬度 $\phi$ ，只有当在地方平太阳时为上午6点或下午6点时拍摄的8字像的轴线(可记为“6时轴线”)才满足这个条件，如下图所示：



根据 $\cos A = -\cos B \times \cos C + \sin B \times \sin C \times \cos a$ ，其中 $A = 90^\circ - \phi$ ， $B = 90$ 度， $C$ 为题图中“8”字的轴线与地平

线的夹角，已量出约为60度， $a$ 为半个8字，即太阳全年赤纬变化的一半，为23.5度。可以求出 $\angle A = 37$ 度，因此

$$\phi = 90^\circ - \angle A = 53^\circ$$

将 $\phi$ 带入(1)式：

$$\cos(15 \cdot T - 180^\circ) = 0.4 \sin \phi$$

可以求出 $T = 16$ 时45分左右，换算成北京时间即为18时05分左右。

20. (高年组) 分辨率。一位观测者使用一架口径20cm，焦距2m的望远镜拍摄月球，拍摄设备为一台数码单反相机，其用于成像的图像传感器尺寸为 $22.3\text{mm} \times 14.9\text{mm}$ ，其有效像素为1510万。

(1)若这架望远镜的制造工艺极佳，光学质量极好，几乎可以达到理论的极限分辨率，请通过计算说明，用这台数码单反相机作为拍摄设备是会浪费该望远镜的分辨率呢还是浪费该数码相机的像素？

(2)任意给定一台口径 $D(\text{mm})$ ，焦距 $f(\text{mm})$ 的望远镜，假设该望远镜的分辨率几乎可以达到理论的极限分辨率，问后端的拍摄设备的像素密度应满足什么条件才能最适合该望远镜的分辨率？

解答

(1)该望远镜理论极限分辨率： $140/200=0.7$ 角秒，其底片比例尺为： $206265/2000=103.1325$ 角秒/mm，相机的像素线密度可设为 $x$ (像素/mm)，则有方程：

$$22.3x \cdot 14.9x = 1510$$

解得 $x = 213.1783$ 像素/mm。所以此系统每角秒对应像素为：

$$213.1783/103.1325 = 2.067 \text{ 像素/角秒}$$

即天空中每角秒对应传感器上2.067像素。而该望远镜的分辨率0.7角秒，则对应传感器上像素为：

$$0.7 \times 2.067 = 1.447 \text{ 像素} > 1 \text{ 像素}$$

如果望远镜的分辨率刚好对应传感器上1像素，那是最佳组合。而此时大于了1像素，则望远镜的分辨率没能满足数码相机如此密集的像素，或曰浪费了该数码相机的像素。

(2)该望远镜理论极限分辨率为： $140/D$ (角秒)，其底片比例尺为： $206265/f$ (角秒/mm)，仍设相机的像素线密度为 $x$ (像素/mm)，所以此系统每角秒对应像素为：

$$\frac{x}{206265/f} = \frac{x \cdot f}{206265} \text{ 像素/角秒}$$

上式乘以分辨率，得：

$$Q = \frac{140 \cdot x \cdot f}{206265 \cdot D} = \frac{x \cdot A}{1473}$$

式中 $A = f/D$ 为焦比或曰光圈。当 $Q = 1$ 时，最合适； $Q < 1$ 时，浪费望远镜的分辨率。此时后端探测器像素密度还有提升空间； $Q > 1$ 时，浪费探测器像素，此时后端探测器像素密度再提升已无意义。

# 2006年俄罗斯天文通讯赛试题

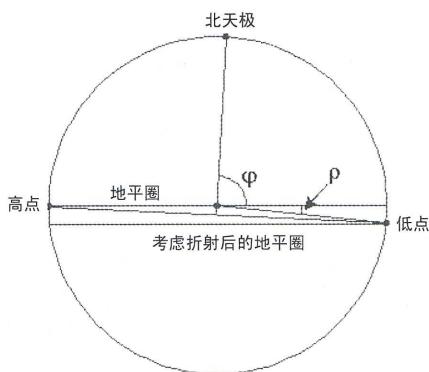
俄罗斯天文通讯赛组委会 供稿/王青 翻译

1、由于大气折射的影响(地平线附近为 $34'$ )，在地球上某地区，本应永不上升的天体反而变为了永不下落天体。在哪个纬度可能发生这种情况？

解答

当某一天体的全部周日运动轨迹都位于地平圈以下，但又离地平很近的情况下(地平高度高于 $-34'$ )，题目中叙述的情况可能出现。这可以分两种情况讨论：一是周日视运动轨迹本身很小；二是这个轨迹与地平圈几乎平行。

在第一种情况下，这样的天体必然靠近南北天极。只有当我们赤道附近观测时，天极才会出现在地平圈附近。注意，赤道本身并不符合我们的条件：在这里，即使没有折射效应也不存在永不上升天体。当我们从赤道稍作移动，比如向北移，那么南天极将沉入地平圈以下；但由于折射效应，直到移至 $34' N$ 时，南天极仍然可见。由此可见，第一种情况适用于赤道两边的窄带，延伸至南北纬 $34'$ 。



第二种情况出现在地球两极附近。当我们位于北极时，这个情况是成立的，此时赤纬为 $0^\circ$ 至 $-0^\circ 34'$ 的天体由于折射将永远位于地平线以上。而当我们离极点一定距离时，这种情况仍然成立。让我们来考虑边界条件：天体的周日轨迹的最高点地平高度为 $0^\circ$ ，最低点地平高度为 $-0^\circ 34'$ (见上图)。由于这两点距北天极的距离相等，我们设 $\varphi$ 为地理纬度， $\rho$ 为折射的角度，则有以下关系：

$$180^\circ - \varphi = \varphi + \rho, \varphi = 90^\circ - \rho/2 = 89^\circ 43'$$

此时天体的赤纬是 $-0^\circ 17'$ 。若离极点更远，那么天体轨迹的倾角更大，题中情况将不会出现。南极情况相似。

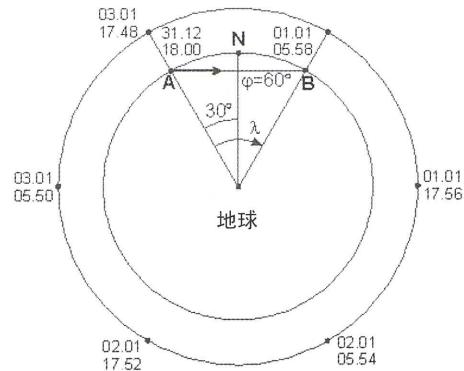
最后结果是：永不上升天体变为永不下落天体的情况出现的地理纬度是： $[-90^\circ, -89^\circ 43']$ ,  $(-0^\circ 34', 0^\circ)$ ,  $(0^\circ, +0^\circ 34')$ ,  $(+89^\circ 43', +90^\circ)$ 。

2、天文爱好者们在圣彼得堡观测到了一颗人造地球卫星。这颗卫星在新年前夜两次经过天顶，时间分别为：12月31日晚18:00; 1月1日凌晨5:58。计算此卫星再次经过天顶的时间。(圣彼得堡纬度为北纬 $60^\circ$ ，假设卫星轨道为正圆。)

解答

由题意可知：卫星两次经过圣彼得堡天顶的时间之差为 $11^h 58^m$ ，或半个恒星日。卫星轨道面包含地球中心和两次圣彼得堡的位置(见下图所示的A、B两点)，并且这个平面过地球的南北两极。北纬 $60^\circ$ 的纬线圈包含圣彼得堡(运动方向如图中箭头所示)，与卫星轨道面相交于A、B两点。只有在这两点时，卫星才会从圣彼得堡的天顶经过。也就是说，卫星轨道每个恒星日会经过圣彼得堡的天顶两次，或是每 $11^h 58^m$ 一次。

在1月1日 $5^h 58^m$ 时与12月31日 $18^h$ 之间，卫星运动如图所示(标明时间的点)，两点夹角 $\lambda$ 等于 $60^\circ$ 。在这期间，卫星可能围绕地球转过了 $1/6$ 圈，经过北极；也可能转过 $5/6$ 圈，经过南极；还可能转过了 $(n + 1/6)$ 或 $(n + 5/6)$ 圈( $n$ 为自然数)。不管怎样，卫星在半个恒星日转过了 $60^\circ$ 。再过半个恒星日后，夹角 $\lambda$ 将变为 $120^\circ$ ，卫星位于赤道面上。此时从圣彼得堡无法见到。



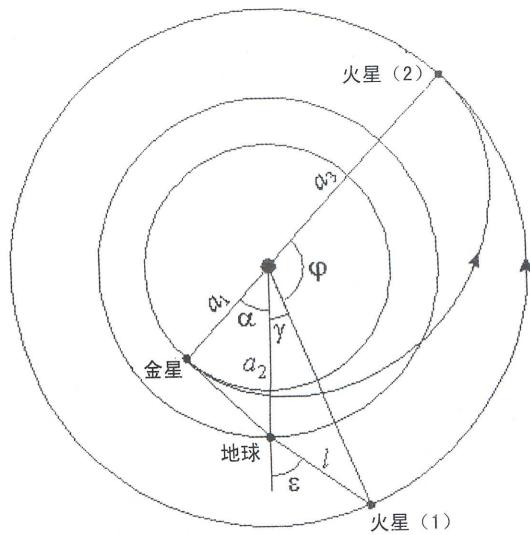
在接下来的两次轨道穿越圣彼得堡的过程中(1月2日 $5^h 54^m$ 和 $17^h 52^m$ ，圣彼得堡位置为A和B)，卫星将出现在南半球；1月3日 $5^h 50^m$ (圣彼得堡在B点)，卫星在赤道上空；1月3日 $17^h 48^m$ ，卫星的位置与12月31日 $18^h 0^m$ 相同，圣彼得堡在A点。卫星将再次出现在圣彼得堡天顶。

3、新年之夜，在地球上观测到金星正位于东大距点。与此同时，一艘宇宙飞船从金星发射，飞向火星，其轨道与金星和火星的轨道均相切。那么，这个新年之夜从地球上观测，火星附近会有什么亮星？

解答

在飞船从金星发射的那个新年之夜，金星和地

球的位置如下图所示。设金星、地球、火星的轨道半径分别为 $a_1$ 、 $a_2$ 和 $a_3$ ，这三个数值分别为0.723、1、1.524 AU。



由于从地球上看，金星处于东大距，金星与地球的连线与金星的轨道相切。此时，金星与地球间所夹的日心角等于：

$$\alpha = \arccos(a_1/a_2) = 43.7^\circ$$

火星轨道上，飞船将要与火星相遇的那一点，其方向与金星现在的位置正相反。要计算火星现在的位置，我们必须计算飞船的飞行周期。飞船的轨道半长径为： $d = (a_1 + a_3)/2$ ，飞行时间为轨道周期的一半。如果以年为单位，我们可以通过开普勒第三定律计算： $T = \frac{1}{2}(\frac{a_1 + a_3}{2})^{3/2}$ ，在此期间，火星移动的角度为：

$$\varphi = 360^\circ \cdot \frac{\frac{1}{2}(\frac{a_1 + a_3}{2})^{3/2}}{a_3^{3/2}} = 113.9^\circ$$

在飞船发射的瞬间，火星与地球之间的夹角为： $\gamma = 180^\circ - \alpha - \varphi = 22.4^\circ$ ，火星与地球间的距离为： $l = \sqrt{a_2^2 + a_3^2 - 2a_2a_3 \cos \gamma} = 0.710$  AU。此时火星与太阳反向点之间的地心角 $\epsilon$ 可以这样计算：

$$\epsilon = \arcsin\left(\frac{a_3}{l} \sin \gamma\right) = 54.9^\circ$$

结论是：在新年之夜，火星位于太阳反向点东面约为55度。太阳反向点在双子座的西边部分，则火星位于狮子座偏西的部分，它的附近有亮星轩辕十四(狮子座α)。

4、在未来的13000年之内，下列恒星中的哪些在莫斯科可见？天狼星、老人星(船底座α)、织女星、五车二(御夫座α)、大角星(牧夫座α)、参宿七(猎户座β)、南河三(小犬座α)、牛郎星(天鹰座α)、角宿一(室女座α)、心宿二(天蝎座α)。

**解答** 由题意可知：13000年恰好是地球自转轴进动周期(岁差周期)的一半。在此期间，北天极会围绕北黄极( $\alpha = 18^\circ, \delta = +66.6^\circ$ )转半圈。到那时，北天极将

位于武仙座内，北天极那时所在的点目前的赤道坐标是 $\alpha = 18^\circ, \delta = +43.2^\circ$ 。

现在位于黄道坐标北半球的星，13000年后在莫斯科仍可见。在列出的星中，织女星(天琴α)、五车二(御夫α)、大角(牧夫α)、牛郎星(天鹰α)符合这个条件，织女星那时将靠近北天极。

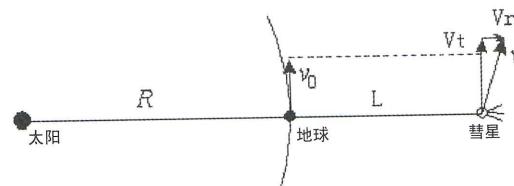
四颗星那时在莫斯科无法看到：老人星(船底α)，靠近南黄极。天狼星(大犬α)、参宿七(猎户β)、南河三(小犬α)的赤经目前接近 $6^\circ$ 。13000年后，北天极会从现在的位置远离它们 $47^\circ$ 。那时，南河三只有在俄罗斯南部可见，天狼星和参宿七在俄国无法看到。

恒星的自行不会改变这一结果。在列出的星中，只有3颗的自行大于每年 $1''$ ：大角( $2.3''/\text{年}$ )、天狼和南河三(都是 $1.3''/\text{年}$ )。那么13000年后它们共移动了 $8.3^\circ$ 和 $4.7^\circ$ 。注意天狼和南河三是向南移动，在北部地区就更加不可见了。

5、一颗亮彗星出现在与太阳相对的方向，沿着黄道逆向运动(自西向东)。估算此刻这颗彗星与地球间可能的最大距离。

### 解答

由于彗星出现在与太阳相对的方向，因此它距离太阳比地球更远。彗星沿黄道运动，因此它的轨道在黄道面内。从地球上看来，彗星相对于恒星自西向东运动，与地球绕日公转的方向相同。这说明彗星的切向速度(相对太阳) $V_t$ 大于地球的轨道速度 $V_0$ 。再考虑到彗星存在径向速度 $V_r$ ，则它的实际速度远超过地球。



彗星轨道通常是偏心率较大的椭圆或抛物线。有时彗星轨道甚至是双曲线的，但十分接近抛物线(偏心率不大于1.001)。由此我们可以假设：彗星此时的空间速度不超过相对于太阳的抛物线轨道速度。因为地球的轨道接近正圆，我们可以得到：

$$v_0 = \sqrt{\frac{GM}{R}} < v \leq \sqrt{\frac{2GM}{R+L}}$$

这里 $M$ 是太阳质量， $R$ 是地球轨道半径， $L$ 是在日地反向延长线上彗星与地球的距离。由上式可以算出： $L \leq R = 1$  AU。

6、一颗白矮星的半径为6000千米，表面温度10000K，质量与太阳相等。当它穿过一团星际彗星云时，会因为彗星落在表面上而亮度增大。如果云中的每颗彗星半径为1千米，密度为 $1\text{g}/\text{cm}^3$ 。那么如果白矮星的亮度增加为原来的两倍，每天有多少颗彗星落到白矮星上？

### 解答

我们首先计算白矮星的光度：

$$L = 4\pi\sigma R^2 T^4 = 2.56 \times 10^{23} \text{ W} = 6.6 \times 10^{-4} L_\odot$$

这里 $R$ 和 $T$ 分别是白矮星的半径和表面温度,  $\sigma$ 是斯特藩-波尔兹曼常数。在一天(86400秒)之内, 白矮星辐射的能量为:  
 $E_0 = 2.21 \times 10^{28} \text{ J}$

彗星核的质量为:  $m = \frac{4}{3}\pi\rho r^3 = 4.19 \times 10^{12} \text{ kg}$ 。再落到白矮星上时, 彗核释放的能量为:

$$E = GMm/R = 9.2 \times 10^{25} \text{ J}$$

这里 $M$ 是白矮星质量。要提供与白矮星光度相等的能量, 每天落到白矮星上的彗星数量约为:  $E_0/E \approx 240$  颗。

这是在最好的情况下作出的估算, 实际上白矮星的亮度受到两种相反的效应的影响。一方面, 彗核落下的能量不能完全转化为可见光辐射; 另一方面, 不断增加的质量会使白矮星进一步收缩并使其亮度增大。如果质量到达了1.4个太阳质量的质量上限, 那么这颗白矮星就会爆发成为一颗I型超新星了。

7、一团密度与地面大气相等, 温度为1000K的分子氢云若能形成恒星, 那么这块云的大小是多少?

**解答** 氢元素在自然界中最常见的同位素是 ${}^1\text{H}$ 。由于电子的质量与质子相比要小得多, 则氢分子 $\text{H}_2$ 的质量与两个质子的质量基本相等:  $3.3 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 。

现在考虑一块球状氢分子云, 半径为 $R$ , 温度为 $T$ , 密度为 $\rho$ 。要使这个云块稳定不致消散到空间中, 那么云块边缘粒子的热运动速度必须小于逃逸速度。公式如下:

$$\frac{3kT}{m} < \frac{2GM}{R} = \frac{8\pi G\rho R^2}{3}$$

此处 $k$ 是玻尔兹曼常数,  $M$ 是云的质量。由此可以推出云块半径的表达式:

$$R > \sqrt{(9kT)/(8\pi Gm\rho)}$$

当温度 $T$ 为1000K, 密度 $\rho$ 为 $1.23 \text{ kg/m}^3$ 时, 我们得到了云块的最小半径:  $135000 \text{ km}$ 。

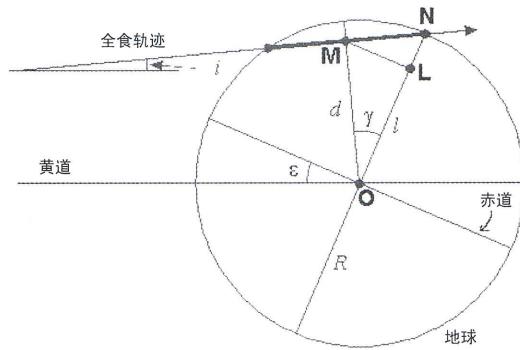
这看来似乎是最后答案。但如果我们计算一下此时云块的质量, 结果是 $1.27 \times 10^{25} \text{ kg}$ , 约为地球质量的2倍。在这种情况下, 分子云只可能形成行星, 而不是恒星。如果使用金斯判据计算, 可以得到最小半径为260000km, 质量为 $9 \times 10^{25} \text{ kg}$ , 但这仍不足以形成恒星。

要正确地解答这个问题, 我们必须从恒星的质量下限 $M_* = 0.08M_\odot = 1.6 \times 10^{29} \text{ kg}$ 入手。这是氢核聚变需要的最小质量。此时云块半径为:

$$R_* = \sqrt[3]{3M_*/(4\pi\rho)} = 3140000 \text{ km}$$

这样大的云块无疑可以在宇宙空间中保持稳定并塌缩成恒星。

8、(关于春季日食的题目)日全食发生于春分日。日全食带经过地球北极。在地球上哪个纬度可以见到中心食出现在地平线上的高度最高? 请求出这个高度值。日食期间月球位于其轨道升交点附近。



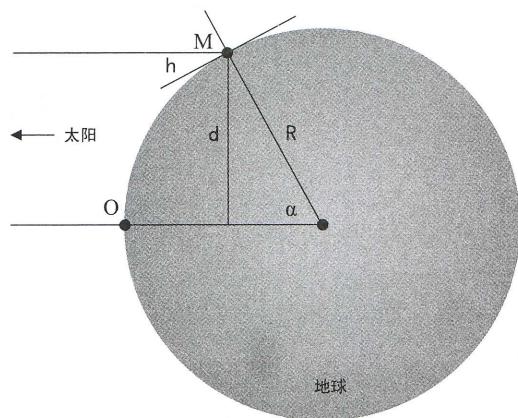
**解答** 首先我们来看日食发生时地球、月球和太阳的位置关系(图1), 见上图。

这幅图是从阳光照来的方向观察。图中 $\angle\varepsilon = 23.4^\circ$ , 是黄赤交角。“地月系”沿黄道绕太阳运动, 但这与本问题无关。重要的是月球的运动, 以及月影相对于地心的运动(图1中用箭头表示)。箭头指向右是因为从北极看时, 月球是逆时针绕地球运动。月球位于轨道升交点附近, 此时它和影子的运动并不平行于黄道, 而是存在一个夹角:  $i = 5.2^\circ$ 。

由于日全食带穿过北极点(N点), 图中 $\angle\gamma$ 等于赤道与全食轨迹的夹角:

$$\gamma = \varepsilon + i = 28.6^\circ$$

在图中的M点, 我们可以看到地平高度最高的中心食, 也就是日食轨迹上与O点距离最近的点。O点处, 太阳位于天顶。线段MO长度是:  $d = R \cos \gamma$ ,  $R$ 是地球半径。要求M点的太阳高度, 我们需要太阳光线的侧视图(图2), 见下图:



由此图我们可以计算太阳的地平高度 $h$ :

$$h = \arccos(d/R) = \gamma = 28.6^\circ$$

现在求M点的地理纬度。看图1, 过M做赤道的平行线。这是赤纬圈的投影, 与子午圈ON相交于L, 线段OL长为:  
 $l = d \cos \gamma = R \cos^2 \gamma$

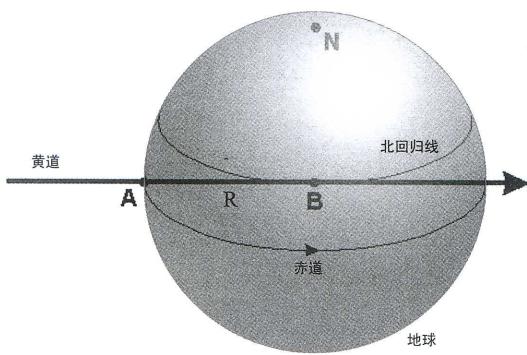
纬度的计算方法与地平高度相似, 见图2中的 $\angle\alpha$ :

$$\alpha = \varphi = \arcsin(l/R) = \arcsin(\cos^2 \gamma) = 50.4^\circ$$

注意：日食的最大地平高度( $28.6^\circ$ )并不是在纬度 $50.4^\circ$ 处太阳上升到最高点时的高度。因为中心食发生时并非正午，而是上午时段。地球自转只会影响M点的经度，本题的结果不受影响。

9、(夏季日食)日全食发生于夏至日，月影最早接触地球表面的那一点恰是纬度和经度均为 $0^\circ$ 。全食在这一点持续的时间为1分钟。请求出地球上全食持续时间最长的地点的坐标，并计算这个最长全食中点的世界时。月球轨道倾角，大气折射，时差都可以忽略。

**解答** 和第8题类似，我们先从太阳的方向看地球(图1)，见下图：



由于日食发生在夏至，因此图示与第8题有很大不同。注意黄道的两端，日食开始于其中的A点。由于忽略月球轨道与黄道的夹角，日食轨迹将与黄道线重叠，正经过地球的直径。日食在B点持续时间最长，也就是从这个方向看地球圆面的中心。此处，中心食出现在天顶，地理纬度为 $+23^\circ 26'$ ，位于北回归线上。

图2(见右上图)是从北黄极观察地球。太阳距离地球比月球远得多，月球的影锥顶角等于太阳的角直径 $\rho$ (夏至日时为 $31.5'$ )。影锥与地球的相对速度与月球与地球的相对速度相同： $v = 1.02 \text{ km/s}$ 。A点附近的影锥宽度为： $d_1 = v \cdot T_1 = 61.2 \text{ km}$ 。此处 $T_1$ 为全食在A点持续的时间。当月影到达B点，全食过程将会加长，其中原因有二：这一点离月球更近，影子的宽度为：

$$d_2 = d_1 + \rho R = 119.6 \text{ km}$$

R是地球半径， $\rho$ 的单位是弧度。二是因为B点的观测者随地球一起自转，速度为：

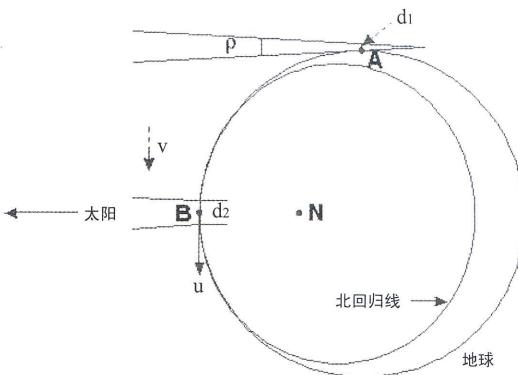
$$u = 2\pi R \cos \varphi / T_0 = 0.43 \text{ km/s}$$

这个速度与影子移动的速度相同( $T_0$ 时平太阳日的长度)。因此，B点的日全食长度为：

$$T_2 = d_2 / (v - u) = 203 \text{ s} = 3^m 23^s$$

接下来求B点的经度和中心食的世界时。当月影于A点( $0^\circ, 0^\circ$ )接触地球时，正是日出时刻。由于忽略大气折射和时差，日出的时间是早6点也就是世界时 $6^h$ 。从A到达B点处，需用时：

$$\tau = \frac{R + d_1/2}{v} = 1^h 45^m$$



所以，中心食发生于世界时 $7^h 45^m$ ，位于天顶。忽略时差，B点的经度为 $4^h 15^m$ 或 $+63^\circ 45'$ 。地理纬度上面已经求出，为 $+23^\circ 26'$ 。

10、(有关日冕)已知自由电子(半径为 $4.6 \times 10^{-15} \text{ 米}$ )能够像金属球一样各向同性地将辐射散射，但重子(质子、离子、原子)散射光的能力要差得多。日冕的成分几乎为纯氢，底层日冕的大气压强为0.003帕斯卡，日冕平均温度为 $1000000 \text{ K}$ 。试估计日全食时地面观测到的太阳星等。

**解答** 日冕的温度很高。在这样的温度下，日冕中的氢已经全部电离，所有的电子都成为自由电子。日冕的亮度主要由内冕区提供。如果忽略重力加速度 $g$ 由于高度而产生的变化，那么日冕内边缘的大气压强可以表示为：

$$p = \mu g = \frac{GM\mu}{R^2}$$

M、R分别是太阳的质量和半径， $\mu$ 是日冕的柱质量(太阳表面每平方米对应的日冕质量)。日冕质量近似于其中质子的质量，每个“平方米柱”中的质子数为：

$$n = \frac{\mu}{m_p} = \frac{pR^2}{GMm_p}$$

$m_p$ 为质子质量。电子数等于质子数，每个电子可以认为是一个半径为 $r$ 的金属球，吸收和辐射光的方向是随机的。那么每个柱中的电子散射截面为：

$$\tau = n \cdot \pi r^2 = \frac{\pi p R^2 r^2}{GM m_p} = 4 \times 10^{-7}$$

散射能量与太阳辐射能量之比为： $\tau/1 = \tau$ 。这里的散射能量就是我们观测到的日冕辐射。所以，日冕的视星等为：

$$m = m_0 - 2.5 \lg \tau \approx -11 \text{ 等}$$

其中 $m_0$ 是太阳的视星等。

注：这是相当好的估算，与真实值很接近。实际上，日冕的亮度会因为月球的遮挡减弱一些，但并不显著，因为日冕亮度主要来自切线方向。另一方面，日冕亮度会因为其他的辐射机制而增强(如重元素离子的禁线辐射)、重力加速度 $g$ 的减小以及外冕的贡献也会使日冕进一步增亮。

# 2008年俄罗斯天文通讯赛试题

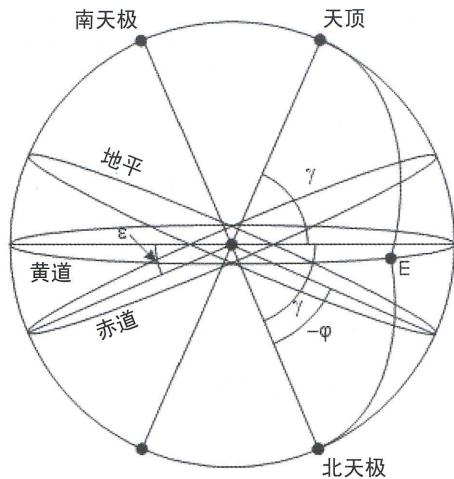
俄罗斯天文通讯赛组委会 供稿/蒋鹏飞 翻译

1、位于地表某处的观测者，在某一时刻，他注意到黄道上的每一点都有一种奇异的性质：这一点和北天极的角距离等于这一点的天顶距。不考虑大气折射，求出观测者的纬度。

解答

这种情况一般会在地球北极点(纬度+90°)上发生，在这里北天极与天顶重合，天球上每一点与北天极间的角距离等于其天顶距，当然也包括黄道上的点。

但这并不是唯一的答案。若不在北极点观测，北天极与天顶不会重合，但当北天极与天顶对称分布在黄道两侧时，题中所述情况又会出现，例如下图黄道上的E点：



黄赤交角为 $\varepsilon = 23.4^\circ$ ，则北极轴(垂直于赤道面)与黄道面的夹角为： $\gamma = 90^\circ - \varepsilon = 66.6^\circ$ ，北天极和天顶分别与黄道面所成的夹角相等，故天顶与北天极的角距离为： $Z_P = 2\gamma = 133.2^\circ$ 。北天极在地平面以下，故观测点位于南半球，纬度为负值，且其纬度的绝对值与北天极地方纬度的绝对值相等：

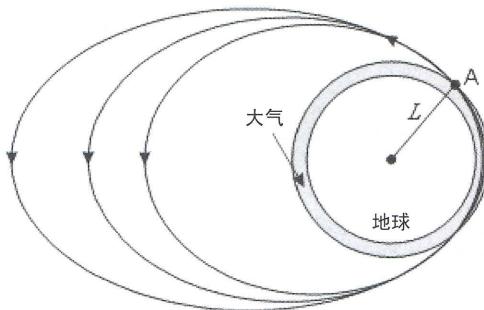
$$\varphi = -(Z_P - 90^\circ) = -43.2^\circ$$

综上所述，观测点的纬度为 $+90^\circ$ 或 $-43.2^\circ$ 。

2、一颗质量为100千克的人造地球卫星沿着黄道运动，近地点距为200千米，远地点距为10000千米。在靠近近地点时，卫星被地球大气减速。请估计卫星轨道变成圆形所需要的时间。大气阻力可以视为常数，大小为0.01牛顿。每个周期里，卫星在大气中经过的距离等于地球的半径。

解答

先要弄清楚为何人造卫星轨道会变为圆形。当卫星在远地点附近，离地球较远，不会受大气层影响，故其运行遵循开普勒第二定律，当卫星接近近地点时，速度逐渐增大，其值大于运行轨道为圆形的卫星在此处的速度值。但卫星在此时又受大气层阻力影响，虽不足以使卫星在其第一个周期在大气层中燃烧或坠落，却会使卫星在每个周期逃离大气层前损失部分动能及能量。



设地心与稠密大气层上边界间的距离为 $L$ ，且卫星在此边界以外受大气阻力的影响可忽略，则卫星在此边界上的速度为： $v^2 = GM(2/L - 1/a)$ ( $M$ 为地球质量， $a$ 为卫星轨道的半长轴)，在每个周期里 $v$ 和 $a$ 的值都会不断减小。

当卫星轨道为椭圆且卫星能脱离大气层时，轨道近地点的高度变化不大，故变化后的圆形轨道的半径与最初近地点距地心的距离近似相等。当卫星不能脱离大气层时，它的轨道变为螺线形，卫星逐渐靠近地球直至在大气层中燃烧或坠落，但这种情况本题不考虑。

下面的解答是计算轨道变化所需时间的简单方法，在实际情况中的问题要复杂得多。让我们考虑卫星逃离稠密大气层的相邻的两个时刻(图中A点)。当然，逃离点是不同的，但它们距地心的距离 $L$ 相等。卫星在第*i*和第*i*+1周期逃离大气层时的速度与其轨道半长轴的关系为：

$$v_i^2 = GM\left(\frac{2}{L} - \frac{1}{a_i}\right), v_{i+1}^2 = GM\left(\frac{2}{L} - \frac{1}{a_{i+1}}\right)$$

又由能量守恒定律得：

$$\frac{m}{2}(v_{i+1}^2 - v_i^2) = -F \cdot D$$

其中 $m$ 为卫星质量， $F$ 为大气层阻力， $D$ 为卫星经过大气层的路径的长度)，由题意知 $F$ 、 $D$ 的值恒定，其乘积为64 kJ，远小于卫星在近地点的动能，但卫星会轨道在多个周期后逐渐变为圆形。又因为半长轴和轨道周期的改变量 $\Delta a_i$ 、 $\Delta T_i$ 远

小于其自身值 $a_i$ 、 $T_i$ ，故由上述公式推知：

$$\frac{2FD}{GMm} = \frac{1}{a_{i+1}} - \frac{1}{a_i} \approx \frac{-\Delta a_i}{a_i^2}, \Delta a_i = -\frac{2FDa_i^2}{GMm}$$

由开普勒第三定律知： $a_i^3 = T_i^2 \cdot GM / (4\pi^2)$ ，半长轴在第*i*周期的变化量 $\Delta a_i$ 与轨道周期的比值为：

$$\Psi_i = \frac{\Delta a_i}{T_i} = -\frac{FD\sqrt{a_i}}{\pi m \sqrt{GM}}$$

我们可假设半长轴变化量与时间存在乘幂关系，并找一数值*n*，使下式成立：

$$\Psi_{in} = \Delta(a_i^n) / T_i = \text{常数}$$

下面来求*n*的数值。上式中：

$$\Delta(a_i^n) = a_{i+1}^n - a_i^n = (a_i + \Delta a_i)^n - a_i^n \approx n\Delta a_i \cdot a_i^{n-1}$$

这里我们运用了近似关系：对于一个很小的值 $\rho$ ： $(1 + \rho)^n \approx 1 + n\rho$ ，所以 $a_i^n$ 的变化率为：

$$\Psi_{in} = \frac{\Delta(a_i^n)}{T_i} = \frac{\Delta a_i}{T_i} n a_i^{n-1} = -\frac{FD n a_i^{(n-1)/2}}{\pi m \sqrt{GM}}$$

由上式可知，当*n*的值取为1/2时， $\Psi_{in}$ 为与时间无关的常数，又轨道变化所需时间远大于轨道周期，我们就可假设半长轴的减小为连续过程。半长轴的二次方根的减小与时间符合以下线性关系：

$$\sqrt{a} = \sqrt{a_0} - \frac{FD}{2\pi m \sqrt{GM}} \cdot t$$

这里 $a_0$ 为最初的半长轴长： $a_0 = R + (h_P + h_A)/2 = 11470$  km， $R$ 为地球半径， $h_P$ 为近地点高度， $h_A$ 为远地点高度，在轨道变化中 $h_P$ 的值变化不大，故圆形轨道的半径为： $a_c = h_P + R = 6570$  km，因为 $D = R$ ，所以轨道变化所需时间为：

$$\Delta t = \frac{2\pi m \sqrt{GM}}{FD} (\sqrt{a_0} - \sqrt{a_c}) = 1.6 \times 10^8 \text{ 秒}$$

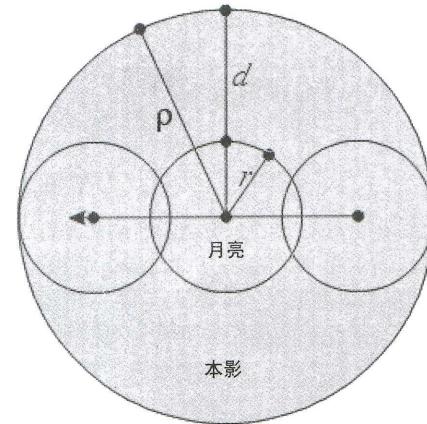
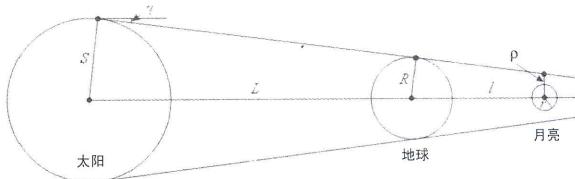
即约为5年。

3、月全食时的视星等为1.865等。求全食的持续时间。忽略由于大气原因导致的本影增大。

**解答** 蚀星等的值很大，需要确定太阳与地球的距离( $L$ )及地球与月球的距离( $l$ )使此值成立。假定月食食甚时三天体共线，则它们的位置如图所示：

让我们用 $L$ 、 $r$ 表示本影半径 $\rho$ ：本影圆锥的母线与太阳、地球边缘相切且与太阳、地球中心连线呈角： $\gamma = (S-R)/L$ ，此角近似等于太阳的角半径( $0.26^\circ$ )，由于很小，我们可以利用三角知识取其正弦值为其弧度值而其余弦值近似为1，则本影半径为：

$$\rho = R - \gamma \cdot l = \frac{R(L+l) - S \cdot l}{L}$$



由下图可知，食甚时的星等为：

$$F = 1 + \frac{d}{2r} = 1 + \frac{\rho - r}{2r} = \frac{\rho + r}{2r}$$

显然，太阳—地球间距 $L$ 越大且太阳—月球间距 $l$ 越小，食星等越大。让我们假设 $L$ 值达到最大(1.017AU)，即地球位于远日点，又假设 $l$ 为其平均值(384400km)，则蚀星等不会超过1.832等，题中情况不会出现；但若假设 $l$ 达到最小，我们就可观测到最大的蚀星等1.868等(不考虑大气影响)，这几乎与题中情况一致。故月食是月球在近地点附近穿过本影的，本影半径应为4757km。月球在距地心 $l$ 处的运行速度为：

$$v = \sqrt{GM(2/l - 1/a)} = 1.095 \text{ km/s}$$

其中 $a$ 为月球轨道半长轴。本影也相对地球运动，其速度为：

$$u = v_0 \cdot l / L = 0.069 \text{ km/s}$$

这里的 $v_0$ 为地球在远日点的运行速度(29.3 km/s)， $u$ 的方向与月球速度 $v$ 的方向相同。月食全过程中月球运行的距离为： $D = 2(\rho - r)$ ，则月食全过程持续时间为：

$$t = \frac{D}{v - u} = \frac{2(\rho - r)}{v - u} = 1^h 38.1^m$$

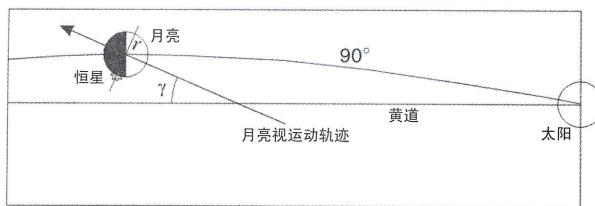
我们要注意答案不是月食全过程能持续的最长时间，而是蚀星等略小于最大值的月食的持续时间。

**注：**在天文年历的月食表中能查到蚀星等大于1.868的情况，这是考虑到大气原因会导致月食本影增大而得到的值。

4、在地球赤道地区看到了发生在天顶的月掩星，月亮正好是上弦。找出掩星时，被掩恒星与最近的月牙尖(即月亮明暗线与月面边缘的交点)之间可能的最大角距离。月球轨道可

视为圆形。

**解答** 先画出掩星中太阳、月球、恒星及掩食线的位置。月牙尖沿天球上穿过太阳、月球的大圆运动，图中圆弧即为此圆的一部分。要注意由于白道面的倾斜，此圆不与黄道及月球的视运动轨迹完全一致。



由于太阳处于黄道上，并与上弦月的角距离为 $90^\circ$ ，月牙尖的运动方向与黄道平行而与月球相对黄道的位置无关，如果月球相对恒星的视运动方向与黄道平行，将观测到掠掩现象恰好发生在月牙尖上。恒星与月牙尖的角距离与月球路径和赤道的交角 $\gamma$ 有关，我们需确定此角的最大值。若我们在地心观测，则易知此值为白道倾角 $i$ ，为 $5.15^\circ$ ；当月球经过其轨道交点(即黄白交点)时，交角达到此值。但实际情况是我们在旋转的地球表面观测，故 $\gamma$ 的值会超过 $i$ 。

掩星在地球赤道观测是发生在天顶的，我们需要求出角 $\gamma$ 的最大值。设月球处于其轨道与黄道的交点，不妨设此交点为升交点，如上图所示。图中表示了地球、月球在黄道面的方位，月球以与黄道面呈角 $i$ 的方向穿过黄道面，设其速度为 $v$ ，其轨道为圆形，则速度为：

$$v = \sqrt{GM/L} = 1.02 \text{ km/s}$$

这里的 $M$ 为地球质量， $L$ 为地月距离。观测者以与黄道呈角 $\varepsilon$ ( $23.4^\circ$ )的方向在赤道上运动，速度为：

$$v_0 = 2\pi R/T = 0.465 \text{ km/s}$$

其中 $R$ 为地球半径， $T$ 为恒星时时间。

月球相对观测者的速度为这两个速度向量的差： $\vec{u} = \vec{v} - \vec{v}_0$ ，角 $\gamma$ 为 $\vec{u}$ 与黄道面的夹角，当 $\vec{v}$ 和 $\vec{v}_0$ 的垂直分量反向且观测者向南移动时，此角达到最大值，即月球在春分点被观测到。当月球在降交点，并在秋分点被观测到时的情况也一样。

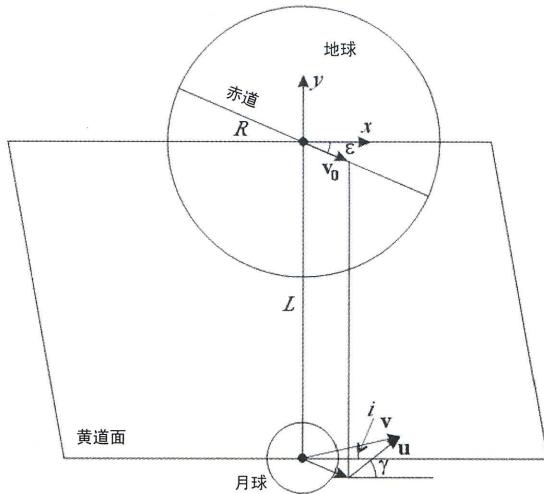
建立坐标系( $x, y$ )，如图所示，并作所得的向量差 $\vec{u}$ 在两轴上的投影，则：

$$u_x = v \cos i - v_0 \cos \varepsilon, u_y = v \sin i + v_0 \sin \varepsilon$$

角 $\gamma$ 为： $\gamma = \arctan(u_y/u_x) = 25.1^\circ$ ，这个角几乎是在地心观测情况下的角的5倍。恒星与月牙尖的角距离为：

$$\sigma = 2\rho \sin \frac{\gamma}{2} = 2 \frac{r}{L} \sin \frac{\gamma}{2} = 0.113^\circ = 6.8'$$

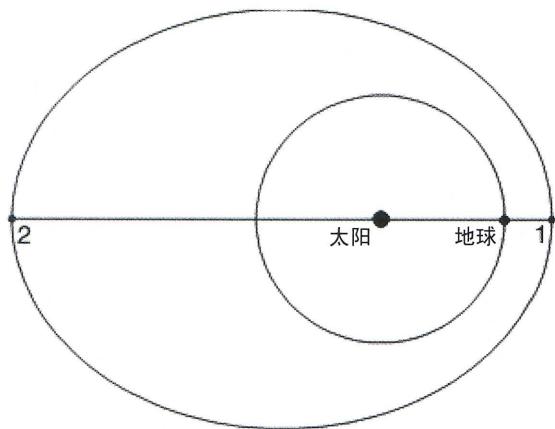
这里的 $\rho$ 为月球角半径。若掠掩星发生在月球的暗面(如第一个图)，这个角距离将足够大而可用双筒望远镜或天文望远镜观测到，即使被掩星是暗星。



5、一颗小行星在黄道上围绕太阳运动，从不进入地球轨道之内。每两年，它的观测条件就严格重复一次，并且它的视星等也以同样的周期变化，变幅为8等。

请找出这颗小行星轨道可能的最小偏心率。这颗小行星是一个光滑、均匀的球体，表面反照率是个常数。地球轨道可以视为圆形。

**解答** 两年里地球绕太阳公转两周回到轨道上的初位置。由于小行星观测条件每两年重复一次，它在两年后也回到轨道上的初位置。它不进入地球轨道内，故其轨道半长轴不小于1AU，周期不小于1年，故其两年内运行了一或两个周期。但若其运行了两个周期，则轨道周期为一年，小行星将进入地球轨道内(其轨道在黄道面时)或在相对地球太阳连线的固定位置而视星等不变(其轨道为圆形时)，又小行星表面各处一致，其可能的自转对此无影响。



综上，小行星的周期为两年。由开普勒第三定律知轨道半长轴为 $1.587 \text{ AU}$ ，小行星是表面光滑的均匀球体，星等变化与其相位角(小行星与太阳、与地球连线的夹角)无关。星等的变化是由小行星距地球及太阳的距离共同决定的，其星等为：

$$m = m_0 + 5 \lg d + 5 \lg r$$

此处 $d$ 为小行星到地球的距离， $r$ 为小行星距太阳的距离(单位：AU)， $m_0$ 是小行星的绝对星等( $d = r = 1 \text{ AU}$ 时的星等)，

设轨道偏心率为 $e$ , 当 $e$ 及轨道周期(2年)恒定时, 亮度变化范围将在图中显示的情况下达到最大。

小行星冲日时位于近日点, 即上图中的点1,  $d$ 和 $r$ 同时达到最小值:

$$d_1 = a(1 - e) - a_0, r_1 = a(1 - e)$$

其中 $a_0$ 为地球轨道半径。此时小行星亮度达到可能的最大值。一年后地球回到轨道上的初位置, 而小行星在远日点合日,  $d$ 和 $r$ 同时达到最大值:

$$d_2 = a(1 + e) - a_0, r_2 = a(1 + e)$$

此时小行星亮度达到最小值。由于星等变化范围与 $e$ 有关, 为找到 $e$ 的最大值, 需要找到使其星等变化范围为-8等的各天体的位置:

$$5 \lg d_2 + 5 \lg r_2 - 5 \lg d_1 - 5 \lg r_1 = 8$$

即:

$$K = \frac{d_2 r_2}{d_1 r_1} = \frac{[a(1 + e) + a_0] \cdot a \cdot (1 + e)}{[a(1 - e) - a_0] \cdot a \cdot (1 - e)} = 39.8$$

解方程, 得:

$$e = \frac{2(K+1)a - (K-1)a_0 \pm \sqrt{(K-1)^2 a_0^2 + 16Ka^2}}{2(K-1)a}$$

当“±”取“-”时符合情况( $0 < e < 1$ ), 即偏心率为:  $e = 0.284$ , 近日点距为1.137AU。此时小行星确实不进入地球轨道内。若 $e$ 小于0.284, 星等变化范围将小于8<sup>m</sup>, 因此我们已找到了可能的最小偏心率。

6、地球上的观测者测量了恒星X和恒星Y之间的角距离, 这两颗星都位于黄道上, 它们的角距离为30度, 测量精度为0.1角秒。X在Y的西边, 因此黄经也更小。在观测时, 两颗星都位于太阳的西边, 因此黄经也与太阳不同, X与太阳的黄经之差为100度。

求三个月后, X和Y的角距离。如果我们在太阳上观测, 这个角距离的变化情况如何? X和Y的视差分别是0.5和0.2角秒。忽略地球轨道的偏心率、恒星自行以及大气的影响。

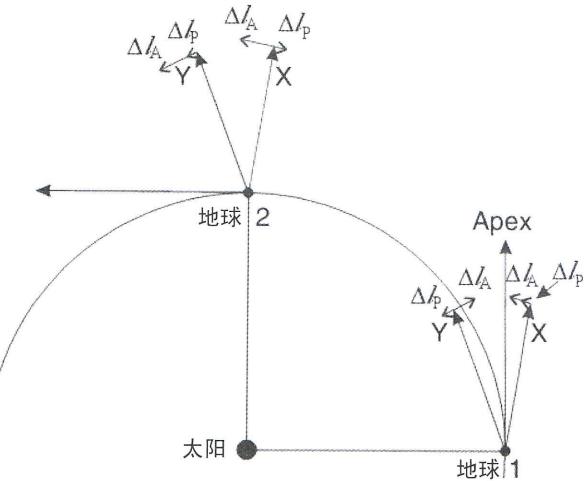
**解答**

恒星坐标变化是由两个原因引起的: 恒星的光行差及视差。我们分别讨论这两种影响。光行差是由于地球相对恒星的移动及光速有限造成的。它使恒星向地球运行的奔赴点移动。奔赴点的黄经比太阳的黄经小90°。对于黄道上的恒星, 黄经改变量为:

$$\Delta l_A = (v/c) \sin(a - l) = -k \cdot \cos(l_0 - l)$$

其中 $v$ 为地球的速度,  $c$ 为光速,  $k$ 为光行差常数, 用角度表示为20.5'',  $a$ 为奔赴点的黄纬。恒星视差( $\pi$ )的改变通常以太阳算起, 其黄经的改变量为:

$$\Delta l_p = \pi \cdot \sin(l_0 - l)$$



由于所有的改变量都很小, 总改变量可视为这些值的和, 我们可把观测到的恒星的黄经值代入以下公式。

由几何公式得, 在1的瞬间:

$$l_{01} - l_X = 100^\circ, l_{01} - l_Y = 70^\circ$$

由光行差及视差引起的黄经的改变量为:

$$\begin{aligned}\Delta l_{X1} &= -k \cdot \cos(l_{01} - l_X) + \pi_X \cdot \sin(l_{01} - l_X) = +4.1'' \\ \Delta l_{Y1} &= -k \cdot \cos(l_{01} - l_Y) + \pi_Y \cdot \sin(l_{01} - l_Y) = -6.8''\end{aligned}$$

在1的瞬间的黄经差( $l_Y - l_X$ )<sub>1</sub>为30°, 比从太阳中心测得的差( $l_Y - l_X$ )小10.9''。因此, 从太阳中心测得的经度差为: 30°00'10.9''。这就是第二问的答案。

再解答第一问, 我们发现在三个月里:

$$l_{02} - l_X = 190^\circ, l_{02} - l_Y = 160^\circ$$

由下式:

$$\begin{aligned}\Delta l_{X2} &= -k \cdot \cos(l_{02} - l_X) + \pi_X \cdot \sin(l_{02} - l_X) = +20.1'' \\ \Delta l_{Y2} &= -k \cdot \cos(l_{02} - l_Y) + \pi_Y \cdot \sin(l_{02} - l_Y) = +19.4''\end{aligned}$$

得黄经差( $l_Y - l_X$ )<sub>2</sub>为30°00'10.2'', 比从太阳中心测得的值( $l_Y - l_X$ )小0.7''。

7、在1997年3月, 我们看到一颗明亮的彗星: 海尔-波普, 它的星等为-1.5等。从地球上看, 彗尾内部最亮部分长约10度, 宽约1度。假设同时一个载着宇航员的飞船抵达彗星并且在背向太阳的彗核上登陆。当宇航员来到彗核表面时, 他们能看到天空里的星星吗?

**解答**

首先我们应清楚我们飞近或飞离此弥漫物体时观测到的物体亮度变化情况。假设我们距彗星的距离为此前的一半, 则观测到的彗星亮度及平方角距为此前的四倍。彗星表面亮度(单位: 星等/平方角)不变, 若我们进入此弥漫物体, 它的散射光将在其大部分天空中可见, 但此时观测到的表面亮度不会高于(通常低于)从远距离外观测到的亮度。

海尔-波普彗星的彗尾的表面亮度为-1.5等/平方度, 1平方度等于 $3600^2$ 平方角秒, 故每平方角秒的星等为:

$$m = -1.5 + 2.5 \lg(10 \times 3600^2) = 18.8 \text{ 等}$$

当我们降落到可见彗尾的彗星一侧表面时，其表面亮度即为此亮度。这仅比地球上无月的夜空亮 $4\sim 5^m$ ，即彗星的夜空像我们海上晨曦或暮色中的天空一样。所以宇航员能在海尔-波普彗星的彗核上能看到亮于 $4^m$ 的星。

8、一颗表面温度为15000开、半径为10倍太阳半径的恒星，在过去的100年里，它均匀地以 $20\text{km/s}$ 的速度吹出恒星风。这些物质形成了一个环绕着恒星的气体和尘埃壳，壳的光学深度为0.2。

请计算壳层的内、外可见边缘的半径，找出壳层中尘埃密度与离恒星的距离的关系。求出壳层的质量和恒星的质量损失率。尘埃粒子的半径为 $1\text{mkm}$ ，作用温度为 $1500\text{K}$ 。可以认为气体的质量比尘埃大200倍，但是光的吸收是由尘埃引起的。

**解答**

已知质量流失的速度 $M'$ 恒定，把壳层分割为一个个厚度为 $r$ 的层，每个层质量相同并设为 $M$ ，每个层含的微粒数目也相同，若层的半径为 $R$ ，则密度为：

$$\rho(R) = \frac{\Delta M}{4\pi R^2 \Delta r} = \rho_{in} \left( \frac{R_{in}}{R} \right)^2$$

$R_{in}$ : 壳的内边缘半径， $\rho_{in}$ : 壳内的密度，这个公式即为壳层中尘埃密度与离恒星的距离的关系。

为找到温度与什么物理量有关，我们记灰尘微粒的半径为 $a$ 。微粒所含的能量等于其向周围空间发射的能量。若我们记星的半径及温度分别为 $R_*$ 和 $T_*$ ，则得到：

$$\frac{4\pi\sigma R_*^2 T_*^4 \cdot \pi a^2}{4\pi R^2} = 4\pi\sigma a^2 T^4$$

微粒的温度为：

$$T = T_* \sqrt{\frac{R_*}{2R}}$$

壳内边缘的温度必定等于灰尘的熔点，这种情况下灰尘将不会反射比它更接近星的发射物。设熔点为 $T_0$ ，则：

$$R_{in} = \frac{R_*}{2} \cdot \left( \frac{T_*}{T} \right)^2$$

这相当于500倍太阳半径或50倍星的半径。

外边缘的半径更易计算： $R_{out} = v \cdot t$ ， $v$ 为恒星风的速度( $20\text{km/s}$ )， $t$ 为发射恒星风的时间(100年)，即外半径为 $6.3 \times 10^{10}\text{km}$ 或90000倍太阳半径。

外边缘半径远大于内边缘半径，显然这个壳是在 $t$ 时间内产生的。外边缘处温度为：

$$T_{out} = T_* \sqrt{\frac{R_*}{2R_{out}}} = 110\text{K}$$

为求得壳的质量，我们需表达出壳的光学深度。我们假设微粒是半径为 $a$ 的黑体吸收物。光子被半径为 $R$ 、厚度为 $r$ 的层吸收的概率，即此层的光学深度为：

$$\Delta\tau(R) = n(R)\Delta R \cdot \pi a^2 = n_{in} \left( \frac{R_{in}}{R} \right)^2 \pi a^2 \Delta R$$

其中 $n(R)$ 是距星 $R$ 处的微粒浓度， $n_{in}$ 是壳内边缘处的微粒浓度，整个壳的光学深度为各层的光学深度之和。可用积分表示为：

$$\begin{aligned} \tau &= \int_{R_{in}}^{R_{out}} d\tau(R) = \int_{R_{in}}^{R_{out}} n_{in} \left( \frac{R_{in}}{R} \right)^2 \pi a^2 dR \\ &= \pi a^2 n_{in} R_{in}^2 \left( \frac{1}{R_{in}} - \frac{1}{R_{out}} \right) \approx \pi a^2 n_{in} R_{in} \end{aligned}$$

这里考虑到壳的外边缘半径远大于内边缘半径。光学深度值已知，我们可用此公式计算 $n_{in}$ 。位于半径为 $R$ 、厚度为 $R$ 处的层的微粒浓度为：

$$\Delta N(R) = n(R) \cdot 4\pi R^2 \Delta R = 4R_{in} \Delta R / a^2$$

由于质量流失速率恒定，此值与半径无关。考虑到此原因，又知壳的外边缘半径远大于内边缘半径，可得到：

$$N = 4\tau R_{in} R_{out} / a^2$$

再求总质量，记气体质量是尘埃质量的 $K$ 倍， $K$ 值已知。若设尘埃密度为 $\rho_0$ ，则壳的质量可表示为：

$$M = \frac{4}{3} \pi a^3 \rho_0 N K = \frac{16\pi \cdot \tau}{3} R_{in} R_{out} \cdot a \rho_0 K = 4 \times 10^{25} \text{ kg}$$

或 $2 \times 10^{-5}$ 倍太阳质量。此质量在100年释放掉，故质量亏损率为每年 $4 \times 10^{23}\text{kg}$ 或每年 $2 \times 10^{-7}$ 倍太阳质量。

9、在遥远的星系中时常发生伽玛射线暴，也就是在很短的时间内(大约几秒钟)爆发性地辐射出伽玛射线，光子的平均能量为 $1\text{MeV}$ 。要想在地球上观测到，伽玛光子的流量必须不低于 $50\text{个/cm}^2/\text{s}$ 。爆发时的光度为 $10^{49}$ 尔格/秒，能量的释放被约束在两个反向的圆锥内，圆锥顶角为 $10^\circ$ 。

假如地球上每周记录到一次伽玛射线暴，问在某一特定星系中，发生伽玛暴的频率是多少？如果能量圆锥的顶角比 $10^\circ$ 窄两倍，我们看到的伽玛暴会多多少倍或少多少倍？

**解答**

让我们求出天球上有多少部分在两个伽玛射线暴能量圆锥覆盖范围内。两圆锥在天球上画出两角半径为 $5^\circ$ (或 $0.087$ 弧度)的圆，我们记此角为 $\rho$ 。这个角很小，故我们把它当作平面量考虑。则天球上被能量圆锥覆盖的部分占天球总部分的比率为： $b = 2\pi\rho^2/4\pi = 0.004$ 。伽玛光子的能量为 $1\text{MeV}$ 或 $1.6 \cdot 10^{-6}$ 尔格，因此伽玛射线源每秒发射约 $6 \times 10^{54}$ 个光子，我们记此值为 $J_0$ 。可观测到射线源的最远距离与观测器的灵敏度 $E$ 存在以下关系：

$$E = \frac{J_0}{4\pi b R^2}, \quad R = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{J_0}{\pi b E}} = \frac{1}{\rho} \sqrt{\frac{J_0}{2\pi E}}$$

这里我们假设地球位于两能量圆锥覆盖范围内。因此，我们最远可观测到距我们 $500\text{Mpc}$ 处的伽玛射线暴。在这样远的距离上，由宇宙膨胀而引起的光子流量变化可忽略。

我们可由宇宙的总星系数( $10^{10}$ )和宇宙的大小( $10\text{Gpc}$ )得到宇宙中星系的平均密度为 $0.01\text{Mpc}^{-3}$ 。半径为 $R$ 的天球中的星系数为：

$$N = \frac{4}{3} \pi R^3 \times n = \frac{n}{6\sqrt{\pi}} \sqrt{\left(\frac{J_0}{bE}\right)^3} \sim 5 \times 10^6$$

我们求出了在多少数量星系范围内记录到的伽玛暴爆发的频率为每周一次或每年50次。但由于我们不总处在这些爆发的能量圆锥内故我们不会观测到所有的这些伽玛暴。故在这些数量的星系中伽玛暴爆发的总频率为:  $F_0 = F/b$ , 即为每年12500次。

在某一特定星系中伽玛暴爆发的频率为:

$$F = \frac{F_0}{N} = F \frac{6\sqrt{\pi b}}{n} \sqrt{\left(\frac{E}{J_0}\right)^3} = F \frac{3\sqrt{2\pi}}{n} \sqrt{\left(\frac{E}{J_0}\right)^3} \cdot \rho$$

即400年一次。我们可观测到其中的1/250, 故在某一特定星系中能观测到的伽玛暴爆发的频率为100000年一次。我们发现在公式中此值与 $b$ 的二次方根及圆锥角半径 $\rho$ 成比。若角半径小两倍, 则在某一特定星系中伽玛暴爆发的频率将小两倍。但值 $F_0$ 与 $b$ 的二次方根成反比, 故能观测到的伽玛暴爆发的频率将大两倍! 这很好解释。

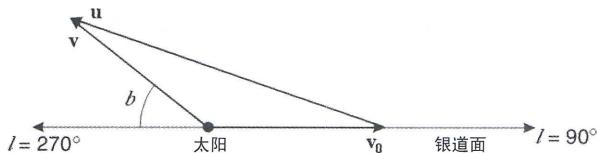
若圆锥角半径小两倍, 我们最远可观测到两倍于先前距离外的伽玛暴。它们在宇宙中覆盖的体积为先前的8倍。位于其能量圆锥内的概率将小4倍。总之, 能观测到的伽玛暴爆发的频率将大两倍。

10、我们知道在银道坐标 $l = 264^\circ$  和 $b = 48^\circ$ 方向处, 宇宙微波背景辐射的温度最高, 比平均值高 $\Delta T = 3.35$  mK。试求银河系整体相对于宇宙微波背景的运动速度。

**解答** 我们先要求出太阳相对宇宙微波背景(CMB)的运行速度。温度的改变是由多普勒效应引起的:  $v/c = (\lambda - \lambda_0)/\lambda_0$ ,  $\lambda_0$ 为CMB辐射波长平均值,  $\lambda$ 为太阳相对CMB运行方向上的辐射的波长,  $v$ 为太阳相对CMB的运行速度, CMB辐射可测温度, 其辐射最强烈时的波长与其温度成反比:  $\lambda(cm) = 0.29/T$ , 故速度为:

$$v = c \times \frac{T_0 - T}{T} = -c \frac{\Delta T}{T}$$

可以算出, 太阳在银道坐标 $l = 264^\circ$ 和 $b = 48^\circ$ 方向处相对CMB的运行速度为368km/s, 但太阳相对银河系中心的速度 $v_0$ 为220km/s, 方向向银道坐标 $l_0 = 90^\circ$ 和 $b_0 = 0^\circ$ 处运动。银河系相对CMB运行的速度向量为:  $\vec{u} = \vec{v} - \vec{v}_0$ 。



银河系的经度 $l_0$ 非常接近 $270^\circ$ 而与 $\vec{v}$ 方向相近, 可以假设图中平面上的三向量皆垂直于银道面。在此情况下速度 $\vec{u}$ 的大小可用下式计算:

$$u = \sqrt{v^2 + v_0^2 - 2v \cdot v_0 \cdot \cos(180^\circ - b)} = 540 \text{ km/s}$$

若我们考虑 $l$ 与 $270^\circ$ 间的差值, 与这里的计算结果的误差为1km/s。

# 天文奥赛国家队集训习题选编

全国天文奥赛组委会 供稿

1、(低年组)恒星。银盘的半径大约为 $10\text{kpc}$ 、厚度约为 $1\text{kpc}$ ，其中大约有 $10^{11}$ 颗恒星，假定这些恒星都和太阳类似，并且在银盘上均匀分布。太阳的空间运动速度约为 $40\text{km/s}$ ，问多长的时间里它将会和附近的恒星碰撞一次，将这个时间与银河系的年龄相比较又如何？(太阳半径为 $6.96 \times 10^8\text{米}$ )

**解答** 银盘上的恒星数密度为 $0.3\text{个}/\text{pc}^3$ ，设 $t$ 年后，太阳会撞上别的恒星，这期间太阳运动的距离为： $s = vt$ ，扫过的空间体积为：

$$\Omega = 4\pi R_\odot^2 \cdot s = 4\pi R_\odot^2 vt = 1/0.3 \text{ pc}^3$$

求得： $t \approx 4.2 \times 10^{10}\text{年}$ 。远远大于银河系的年龄，可见星系中发生恒星碰撞的几率是微乎其微的。

2、(低年组)落体偏东。我们都知道，落体偏东是由地球自转线速度因地心距不同所致。

1)今在 $15^\circ\text{N}$ 、海拔 $300\text{m}$ 的高塔上向海拔为的地面上以自由落体的方式扔下一小铁块。试估算该铁块在水平方向上偏东的位移。

2)假设我们可以在地球的赤道上建起一足够高的塔。则从塔顶做与1)相同的实验，却发现释放铁块后，铁块与塔顶保持相对静止。那么请问，这做塔需要建得有多高？

**解答** 在 $300\text{米}$ 高的塔顶与地面，二者共同随地球自转，拥有相同的角速度。而 $v = r \times \omega$ ，前者与地心的距离要大于后者，因此这两个位置随地球自转，拥有不同的线速度，且高处的线速度要大于低处的线速度。而地球自转方向为自西向东，因此从高出扔下的物体会因为低处具有一个向东的线速度，导致落体偏东。(大家可以思考一下在地面上竖直上抛一物体是否会产生落体偏东的现象)

1)设 $15^\circ\text{N}$ 、海拔为 $0$ 处地球自转的线速度为 $v_1$ ；赤道上，海拔为 $0$ 处地球自转线速度为 $v_0$ ；有：

$$v_1 = v_0 \cdot \cos 15^\circ = \frac{2\pi \times 6378000}{86164} \approx 449.244 \text{ m/s}$$

$300\text{m}$ 高处：

$$v_2 = \frac{2\pi \times 6378300}{86164} \times \cos 15^\circ \approx 449.265 \text{ m/s}$$

忽略 $300$ 高度处重力加速度与地面上的差异，取 $g = 9.80\text{m/s}^2$ ，则下落时间和位移为：

$$t = \sqrt{2h/g} \approx 7.825 \text{ s}, s_E = (v_2 - v_1) \cdot t \approx 0.164 \text{ m}$$

2)从赤道上空的塔顶以自由落体的形式释放一物体，该物体与塔顶保持相对静止，说明此时释放铁块的高度即为地球同步卫星的高度。

设 $m$ 为所释放的铁块质量， $M$ 为地球质量， $m$ 相对 $M$ 可忽略； $r$ 为释放点至地心的距离，有： $GMm/r^2 = mv_0^2/r$ ，同步卫星速度 $v_0 = \sqrt{GM/r}$ ，而 $GM = gr_0^2$ ，有： $v_0 = \sqrt{gr_0^2/r}$ ，其中 $r_0$ 为地球半径。而同步卫星所要求的周期为 $T = 86164\text{s}$ ，故应有：

$$v_0 = \sqrt{gr_0^2/r} = 2\pi r/T$$

不难导出： $\sqrt{r^3} = Tr_0\sqrt{g}/2\pi$ ，代入数据， $r_0 = 6378\text{km}$ ， $g = 9.80\text{m/s}^2$ ，得出 $r = 42166\text{km}$ ，减去 $r_0$ 即为同步卫星与地面的距离，同时也是塔的高度，约为 $h = 35788\text{km}$ 。

3、(低年组)星系的距离。某个地面观测站对一个河外星系进行观测，测得此星系的谱线红移量为 $z = 0.01$ 。

1)若此星系的银纬(银道坐标纬度)为度，且此星系刚好与银心方向成 $90^\circ$ 忽略观测站自身随地球自转与公转的影响，试求此星系的距离。(若有不止一种考虑结果，请分条列出并进行计算)

2)若此星系恰好位于后发座中请试求此星系的距离。

**解答** 1)由于此星系银纬为 $0$ ，且与银心方向成 $90^\circ$ ，所以它刚好位于太阳绕银心公转轨道的切线上，因此分为太阳绕银心公转速度朝向此星系与背朝此星系两种情形。

a)速度朝向此星系。太阳系与此星系相对速度：

$$v_1 = \frac{(z+1)^2 - 1}{(z+1)^2 + 1} \cdot c \approx 2985 \text{ km/s}$$

此星系相对于银河系的退行速度 $v_2 = v_1 + v_\odot = 3235 \text{ km/s}$ 。根据哈勃定律 $V = HD$ ，距离 $D = v_2/H = 43.72 \text{ Mpc}$ 。

b)速度背向此星系。此星系相对于银河系的退行速度 $v_3 = v_1 - v_\odot = 2735 \text{ km/s}$ 。距离 $D = v_3/H = 36.96 \text{ Mpc}$ 。

2)由题中所给的位置，可得知该星系恰好位于北银极附近。所以太阳围绕银河系中心的公转对观测结果不构成影响。 $v_4 = V_1 = 2985 \text{ km/s}$ ， $D = v_4/H = 40.34 \text{ Mpc}$ 。

4、(低年组和高年组)星等。在良好的观测条件下，某绝对星等 $M = 0^m$ 的恒星刚好能被视力正常的人勉强看到。已知该星光谱线红移了 $0.021\%$ ，并假设在今后的一千万年间，此恒星的红移保持不变，而恰又可被我们的生活在 $1000$ 万年后的后代重新(如果还存在的话)勉强看到(他们的瞳孔直径已经由今天的 $6\text{mm}$ 变化为 $4\text{mm}$ )。

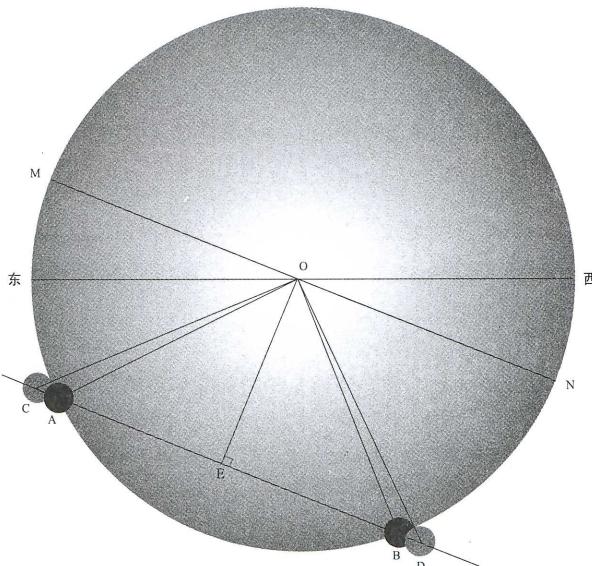
试尽可能详细地解释此现象(应给出必要的数值计算及文字说明)。

解答

由 $M = 0^m$ ,  $m = 6.5^m$ ,  $m - M = 5 \lg r - 5$ , 得目前此恒星的距离为 $r_0 \approx 199.5$  pc。此恒星的退行可能是由银河系的自转引起的。在经过退行之后, 距离增大, 却反而可被瞳孔更小的“人”看到, 说明此恒星的亮度增加了。它的退行速度为:  $v = cz = 3 \times 10^5 \times 0.021 \times 10^{-2} = 63$  km/s, 走过的距离为 $d = vt \approx 642.6$  pc。1000万年后该恒星与地球的距离为:  $r_0 + d = 842.1$  pc。

设一千万年后, 该恒星的绝对星等为 $M'$ , “人”眼极限星等为 $m'$ 。 $m' - M' = 5 \lg r_2 - 5$ , 而瞳孔直径变为4mm后,  $m' - m = -2.5 \lg(d/d')^2$ 。代入数据解得:  $m' = 5.6^m$ ,  $M' = -4.0^m$ ,  $M - M' = -2.5 \lg(E/E')$ ,  $E' \approx 39.8E$ 。说明此恒星可能已演化至晚期, 正向红巨星阶段演化。由于在相对一千万年较短的时间内亮度增加, 才得以被“人”看到。

5、(低年组和高年组)凌日。在极点附近观测到一次金星凌日。在极点附近观测到一次金星凌日。凌日时金星的路径如下图(A、B、C、D在金星凌日的路径上, 且均为金星的视圆面中心, A、B处金星的视圆面中心与日面边缘重合; C、D分别对应凌始外切和凌终外切, 且 $\angle AOB = 90^\circ$ ,  $MN \parallel AB$ )。若凌始外切的时间为地方平时 $9^h$ , 试估算凌日结束的时间。



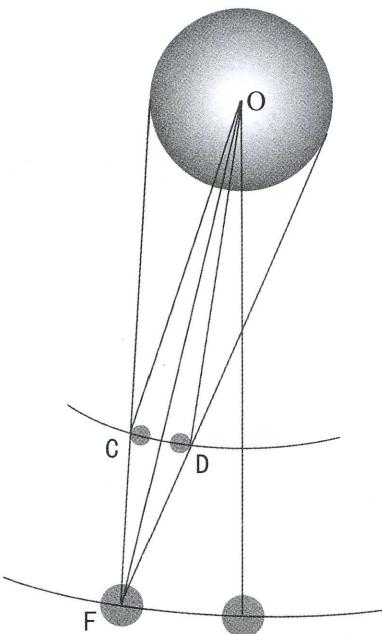
解答

由观测点在极点附近, 可忽略地球自转对凌日持续时间所造成的影响。取 $T_{\text{金星}} = 224.70$ 天,  $T_{\text{地球}} = 365.25$ 天,  $a_{\text{金星}} = 0.723$  AU, 金星赤道半径 $r_{\text{金星}} = 0.949r_{\text{地球}} = 6052.72$  km; 太阳半径 $r_{\odot} = 6.96 \times 10^8$  m, 则地球上太阳张角为:  $\theta_0 \approx 32.0'$ 。

金星相对地球的绕日公转角速度:

$$\omega_1 = \omega_{\text{金星}} - \omega_{\text{地球}} = \frac{2\pi}{T_{\text{金星}}} - \frac{2\pi}{T_{\text{地球}}} \approx 4.29 \times 10^{-4} (\text{'}/\text{s})$$

在地球上观测, 设金星在整个凌日过程中移动了 $\theta$ , 作 $OE$ 垂直 $AB$ 于 $E$ ,  $OA = 16'$ ,  $\angle AOB = 90^\circ$ ,  $MN \parallel AB$ , 故 $OE = 11.3'$ ,  $OC = d'_{\text{金星}}/2 + r'_{\odot}/2$ ,  $d'_{\text{金星}} \approx 1'$ , 为地



球处看金星的角大小。可以求出 $OC \approx 16.5'$ ,  $CE = \sqrt{OC^2 - OE^2} \approx 12.0'$ ,  $CD = 2CE = 24.0'$ , 即 $\theta = \angle CFD = 24.0'$ , 如上图可知 $\theta' = \angle COD$ , 为凌日期间金星较地球多转过的角度。有:

$$\frac{\tan(\theta/2)}{\tan(\theta'/2)} = \frac{0.723}{1 - 0.723} \Rightarrow \theta' = 9.195'$$

因此持续时间为:

$$t = \theta'/\omega_1 = 9.195'/(4.29 \times 10^{-4}) = 5^h 56^m 36^s$$

即这次金星凌日在14时57分左右结束。

6、(高年组)恒星的视差。在北京有某个固定的观测地点(北纬 $40^\circ$ ), 假设在6月23日凌晨当地地方平时0时, 对某颗当时恰好过上中天的恒星进行地平高度测量, 测得此恒星恰好位于天顶正南方, 地平高度 $51^\circ$ 整。

在两个月之后的8月22日晚间, 此星又一次过上中天时, 再次对其进行测量, 测得此恒星的赤纬降低了 $0.04''$ 。若不考虑恒星自行和测量时大气折射等误差的影响, 试求此星相对于天球上的遥远恒星背景移动的总角度。

解答

由于该恒星时6月23日凌晨地方时0时过上中天, 可知该恒星的赤经为 $18^h$ 。在北京地区(北纬 $40^\circ$ ), 该恒星地平高度为 $51^\circ$ , 可知其赤纬为 $1^\circ\text{N}$ 。

从北黄极方向俯视太阳、地球、该恒星的位置关系如图6.1。观测间隔为2个月, 可知地球公转过的角度恰为 $60^\circ$ , 在 $x$ 方向上观测点位置移动了 $0.5\text{AU}$ 。

再从秋分点方向侧视, 以上三者位置关系如图6.2。

根据图6.2可以看出该恒星的赤纬变化只与图6.1 $x$ 方向的移动有关。已知恒星的赤纬变化量为 $0.04''$ 即图6.2中的角 $\theta$ , 根据相关已知数据我们可以求出图6.2中的角 $\beta$ (也就是8月22日该恒星的黄纬)为 $24^\circ 25' 59.96''$ 。

在图6.2的 $\triangle SEE'$ 中使用正弦定理, 设恒星与地球距

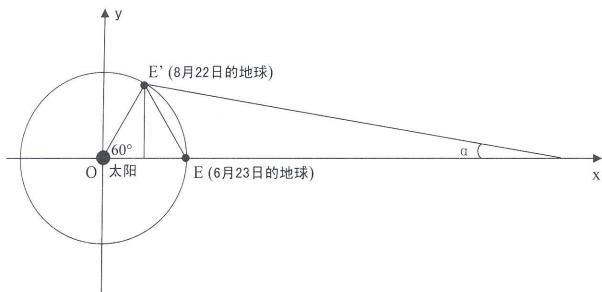


图6.1

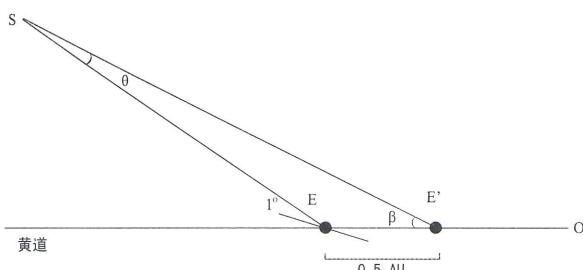


图6.2

离ES为 $D$ , 有:  $\sin \theta/A = \sin \beta/D$ , 可求出 $D = 1060476.7$  AU。在图6.1中:

$$\sin \alpha = \Delta y/D = 8.12 \times 10^{-7} \Rightarrow \alpha = 0.168''$$

因此位移的总角度为:

$$\theta_{\text{总}} = \sqrt{\alpha^2 + \theta^2} = 0.173''$$

7、(高年组)探测器的速度。从火星上发射一脱离太阳系的星际探测器, 试求所需的最低发射速度。(可认为火星绕日公转轨道为圆轨道)

**解答** 所需的最低发射速度, 即为火星的第三宇宙速度, 也就是在火星上相对太阳的逃逸速度。

火星的公转速度为:

$$v_0 = \frac{2 \times \pi \times 1.524 \times 1\text{AU}}{1.881 \times 365.2422 \times 86400} \approx 24.13 \text{ km/s}$$

火星公转轨道处的逃逸速度为:  $\sqrt{2} \times 24.13 \approx 34.13 \text{ km/s}$ , 若设计入轨时探测器的速度方向与火星公转速度方向相同, 则探测器可以借助火星公转的速度, 而其自身只要达到 $v_1 = 34.13 - 24.13 \approx 10 \text{ km/s}$ , 而此速度为探测器脱离火星对其引力束缚之后应达到的速度。获得第三宇宙速度所需的能量为探测器脱离火星引力束缚的能量加上其自身达到 $v_1 = 10 \text{ km/s}$ 的所需的能量之和。

火星表面的第二宇宙速度为:

$$v_2 = \sqrt{2GM_{\text{火星}}/r_{\text{火星}}} \approx 5.02 \text{ km/s}$$

因此该探测器所需要达到的速度为:

$$v_3 = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} \approx 11.19 \text{ km/s}$$

8、(高年组)日食。在某科幻小说中, 由于人类触怒神灵, 神灵为了对人类进行惩罚就用“永恒的日食”让整个大地陷入黑暗的痛苦中。从科学角度来讲, 要促成“永恒的日食”的话必须改变月球的轨道。

1)请计算要实现“永恒的日食”的月轨高度(地球与月球的质心距离)。计算时月球质量可以适当忽略。

2)如果要出现“永恒的日食”, 月球的半径至少是现在的多少倍?

**解答**

1)若要永远持续日食状态, 月球必须一直在地球和太阳之间。月球的位置应该位于地球太阳的第一拉格朗日点上, 此处的公转角速度 $\omega_{\text{地}} = \omega_{\text{月}} = 59'8.2''$ , 对月球有所受到的引力与向心力平衡:

$$\frac{GM_{\odot}m}{(D-D_1)^2} - \frac{GM_{\text{地}}m}{D_1^2} = \omega^2(D-D_1)m$$

其中 $m$ 为卫星的质量,  $D_1$ 为月地距离,  $D$ 为日地距离。考虑到 $M_{\text{地}} \ll M_{\odot}$ ,  $D \gg D_1$ , 上式中:

$$\frac{GM_{\odot}}{(D-D_1)^2} = \frac{GM_{\odot}}{D^2} + \frac{2GM_{\odot}D_1}{D^3}$$

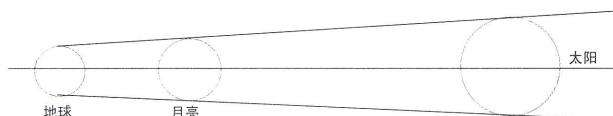
因此上式可化为:

$$\frac{GM_{\odot}}{D^2} + \frac{2GM_{\odot}D_1}{D^3} - \frac{GM_{\text{地}}}{D_1^2} = \omega^2(D-D_1)$$

根据日地之间引力平衡可得出:

$$GM_{\odot}/D^2 = \omega^2 D \Rightarrow \omega = \sqrt{GM_{\odot}/D^3}$$

因此可以求出:  $D_1 = \sqrt[3]{M_{\text{地}}/3M_{\odot}} \times D = 0.01 \text{ AU}$ 。



地球、太阳、月亮关系的如上图所示, 因此:

$$R_{\text{月}} = R_{\text{地}} + 0.01 \times (R_{\odot} - R_{\text{地}}) = 1.3296 \times 10^4 \text{ km}$$

现在的月球半径为 $R = 1738 \text{ km}$ , 那时的月球半径大概是现在的7.65倍。

9、柯克伍德空隙。1867年, 美国天文学家柯克伍德指出, 在小行星的主带上存在着一些空隙, 空隙中的小行星数目极少, 这就是“柯克伍德空隙”。现在人们已经知道, 柯克伍德空隙的形成是木星引力作用的结果, 空隙中的小行星每次离木星最近时, 都会受到它强大引力的牵引, 久而久之, 小行星就被木星拽离了柯克伍德空隙。

1)有一个柯克伍德空隙, 其中的小行星与木星的会合周期为11.86年(等于木星绕太阳公转的周期), 求这个柯克伍德空隙离太阳的距离。

2)由于木星的引力, 这个空隙上的一颗小行星被拽到了

比原轨道半径长 $\Delta r = 0.01$  AU的轨道上，求这颗小行星的新公转周期。假设木星和小行星的轨道都是圆轨道。

**解答**

1) 小行星与木星的会合周期为11.86年，根据会合周期的公式 $1/S = 1/T_a - 1/T_J$ ，可以求得小行星的公转周期 $T_a = 5.93$ 年。由开普勒第三定律可知，小行星公转轨道的半径为： $a = \sqrt[3]{T_a^2} \approx 3.28$  AU。

2) 设小行星原来的轨道周期为 $T$ ，新轨道周期为 $T + \Delta T$ ，原半径为 $r$ ，新轨道半径为 $r + \Delta r$ ，根据开普勒第三定律和圆周运动规律：

$$r^3/T^2 = (r + \Delta r)^3/(T + \Delta T)^2$$

当 $|x| \ll 1$ 时， $(1 + x)^n = 1 + nx$ ，上式化为： $3\Delta r/r = 2\Delta T/T$ ，所以 $\Delta T = 3T\Delta r/(2r) = 0.027$ 年，新轨道周期为：

$$T + \Delta T = 5.93 + 0.027 = 5.957 \text{ 年}$$

10、太阳。利用同位素测年龄法知道地球的年龄大约是46亿年，而太阳的年龄至少和地球同龄。有人认为，太阳已释放的能量是来自太阳从原来非常大的半径收缩为现在的半径R时所释放出的引力能。你认为这种观点正确么？答案应通过必要的公式和数值计算加以解释。提示：一个球体从无穷大的半径收缩到半径为R时的势能变化约为 $(GM^2)/R$ ，假设收缩时的所有引力势能都可以转化为辐射能。

**解答**

太阳由一块体积很大的星云收缩而成，设太阳现在的质量为 $M$ ，半径为 $R$ ，则星云在收缩形成太阳的过程中释放出来的引力能为： $\Omega = GM^2/R$ 。太阳每秒中辐射出来的能量为 $L = 3.83 \times 10^{26}$ 焦耳，因此引力能可以支持它发光的时间为：

$$t = \frac{\Omega}{L} = \frac{GM^2}{R \cdot L} \approx 3 \times 10^7 \text{ 年} \ll 4.6 \times 10^9 \text{ 年}$$

这个结果与太阳的实际年龄不符，因此该理论不正确。

11、冬至日，金星西大距。在位于金星上某处的观测者看来，地球正在落山，问此时这个观测者的(金星时间)地方时为多少？

**解答**

12月21日，太阳在人马座，地球与它相差180度，应该在双子座(或者双子和金牛之间)。金星西大距时，在地球上看，金星位于太阳的西边，在金星上看，地球位于太阳的东边，并且地球—太阳之间的角度为90度。

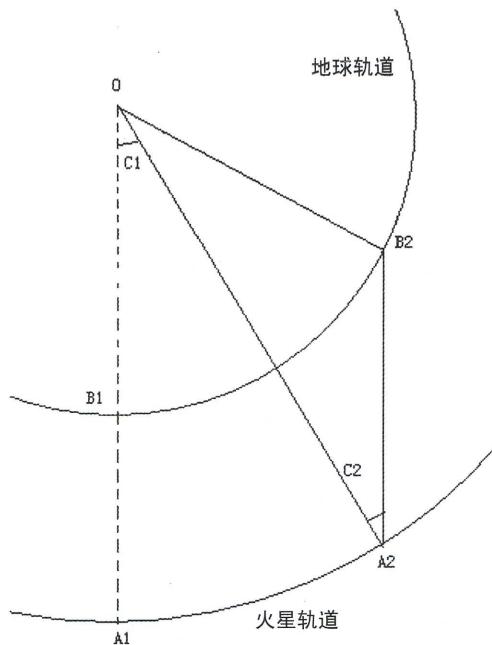
在位于金星某处的观测者看来，此刻地球落山，考虑到金星的自转方向与包括地球在内的其他行星不同，是自东向西的，所以金星上的天体是西升东落，落山的地球位于东方，太阳在它西方90度，正好位于南北线上，金星的当地时间应为12点。

12、火星的赤道坐标。假设火星的轨道平面与黄道重合，并且不考虑其轨道偏心率。某次火星冲日，在地球上观测火星正好位于黄道上的夏至点。请估算两个月后火星的赤道坐标。黄赤交角为 $23^\circ 27'$ ，火星公转轨道周期为686.9天，地球

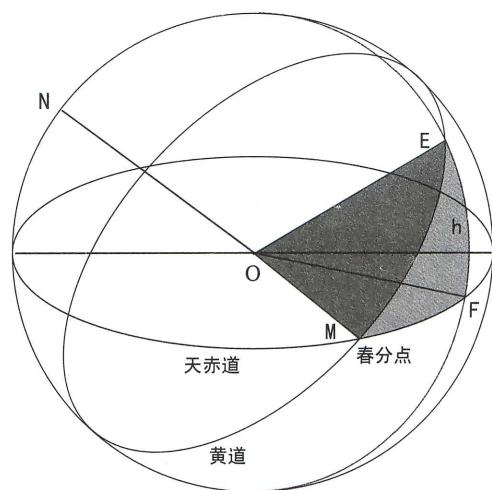
为365.256天，火星轨道半径为1.5237AU。

**解答**

由于火星冲日在夏至点，所以它当时的赤道坐标为 $\alpha = 6^\circ$ ,  $\delta = 23^\circ 27'$ ，两个月后空间位置关系如下图所示。火星的轨道周期为686.9天，地球轨道周期为365.256天。所以，火星公转过的角度为 $C_1 = 31^\circ 27'$ ，地球公转过的角度为： $59^\circ 8'$ 。因此，由余弦定理可知 $A_2B_2$ 的距离为0.789AU。



再用正弦定理，可知 $C_2 = 36^\circ 4'$ 。也就是说火星的黄经减小了 $4^\circ 37'$ ，由于是在夏至点附近，所以可将黄道和天赤道局部看成两条平行线。所以赤经也减小了 $4^\circ 37'$ ，即赤经为 $5^\circ 41' (85^\circ 23')$ 。



上图表示出了黄道和赤道两坐标系的关系，所要求的赤纬也就是图中球面锥的 $h$ 。我们把这个球面锥的底面近似看成一个等腰球面三角形，两个底角都是 $90^\circ$ ，根据球面几何的

正弦定理有：

$$\sin \widehat{EF} / \sin \angle EMF = \sin \widehat{MF} / \sin \angle EFM$$

得： $h = \widehat{EF} = 23^\circ 22'$ 。所以，两个月后火星的赤道坐标为： $\alpha = 5^h 41^m$ ,  $\delta = 23^\circ 22'$ 。

13、一项太空旅游计划，使得人们得以搭乘飞船，进入地球上方的圆轨道绕地飞行。甲置身于这样一个飞船当中。飞船为球形，表面涂有反照率为1的高反材料，飞船直径为3.476米。而乙则位于地球赤道上的一点。傍晚时分，他看到甲所在的飞船从正西方逐渐升高，且当此飞船地平坐标为 $(270^\circ, 45^\circ)$ 时（方位角从北点起算），乙记录下了时间 $t_1$ 。而乙下一次观测到甲所在的飞船出现在与 $t_1$ 时刻相同的坐标 $(270^\circ, 45^\circ)$ 时，恰是次日凌晨零点；而此时此刻，飞船上的甲也恰好看到太阳的一半被地球挡住了。

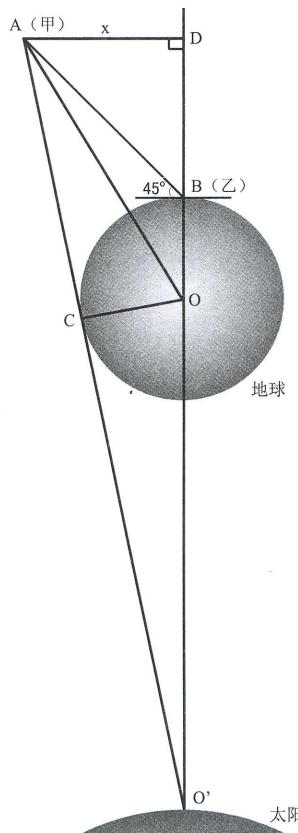
1)求乙第一次记录的时间 $t_1$ ；

2)求乙第二次（也就是次日凌晨零点）观测到甲所在的飞船时，若乙认为这是一颗星，那么请估算乙观测到的这个飞船的星等；

3)如果乙第二次（也就是次日凌晨零点）观测到甲所在的飞船恰好与一颗亮度与其相近的行星发生掩食，请估计此时可能的日期。

解答

1)乙在O点时，如下图作 $AD \perp O'O$ 延长线于D，有 $AD=BD=x$ ； $\Delta AO'D \sim \Delta OO'C$ ，故：



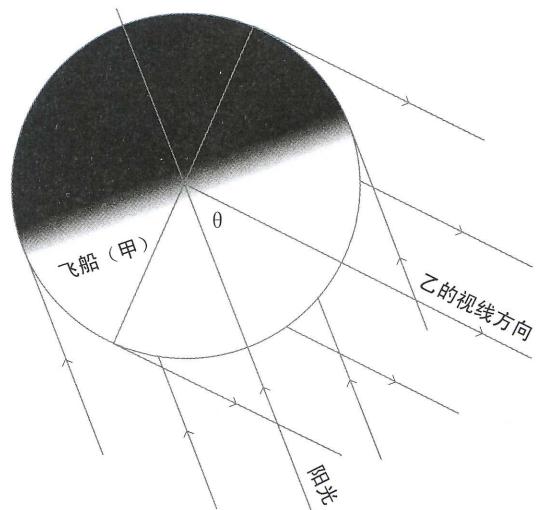
$$\frac{AD}{OC} = \frac{DO'}{O'C}, \frac{x}{R_\oplus} = \frac{x + 1 \text{ AU}}{1 \text{ AU}}$$

可以求出： $x \approx R_\oplus = 6378 \text{ km}$ 。故圆轨道半径：

$$a = \sqrt{AD^2 + OD^2} \approx \sqrt{5}R_\oplus \approx 14262 \text{ km}$$

由忽略飞船质量后的开普勒定律： $a^3/P^2 = Gm_\oplus/(4\pi^2)$ ，可求出飞船绕地球运行的周期 $P \approx 16953 \text{ s}$ 。乙看到甲出现在天空中同一位置，是由于甲绕地运行的周期以及地球自转周期所形成的会合周期 $S$ 所致。由甲从西方升起，易知甲绕地运行的方向与地球自转的方向一致。由会合周期公式： $1/S = 1/P - 1/E$ ，其中 $E = 86164 \text{ s}$ ，可求出 $S = 21106 \text{ s}$ ，合 $5^h 51^m 46^s$ ，即乙所记录的 $t_1 = 18^h 8^m 14^s$ 。

2)如右图，甲被照亮的部分中，有一部分光线反射后不能被乙收到。近似地，有 $AC \parallel OD$ ，故 $\theta \approx 45^\circ$ ，故经甲反射的光线中，有 $1 - 45^\circ/180^\circ = 3/4$ 的光线可以被乙接收到。



乙到甲的距离 $AB = \sqrt{2}AD \approx 9020 \text{ km}$ ，对乙而言，我们可以比较来自甲的和来自月球的光流量， $m_\text{甲} - m_\text{满月} = -2.5 \lg(L_\text{甲}/L_\text{满月})$ ，于是：

$$\frac{L_\text{甲}}{L_\text{月}} = \frac{S_\text{甲反} \gamma_\text{甲} / d_\text{甲}^2}{S_\text{月反} \gamma_\text{月} / d_\text{月}^2} = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{\pi D^2}{4} / 9020^2}{\frac{\pi D_\text{月}^2}{4} \cdot 0.07 / 384400^2} \approx 9.73 \times 10^{-9}$$

上式右边分子上的系数： $1/2$ 是指太阳有一半被地球挡住，卫星的反光面积是“满月”时的 $3/4$ 。不难求出： $m_\text{甲} = -12.7 - 2.5 \lg(L_\text{甲}/L_\text{满月}) \approx 7.33^m$ 。

3)飞船的地平坐标为 $(270^\circ, 45^\circ)$ 时，与行星发生掩食，而飞船沿天赤道运动，可认为此点对应为黄赤交点，即乙所在的地方平时为午夜零时的时候，恒星时为 $15^h$ （此交点为春分点）或 $3^h$ （此交点为秋分点）。因此，日期可能为5月7日前后或11月7日前后。

注：也可以根据行星的亮度来推测这是哪颗行星（海王星），并据此判断观测时间，也就是求“哪一天凌晨0点在赤道上观测，海王星的地平坐标为 $(270^\circ, 45^\circ)$ ”。这种想法有一定道理，但计算非常复杂，需要从海王星的赤道坐标（需查天文年历）转换为第二赤道坐标（即时角坐标），进而转换为地平坐标并求出时角，于是可以求出较为准确的年、月、日。不过本问只需要大家估计出日期，因此这里给出的解法已经足够了。

# 备战奥赛——练习题精选

全国天文奥赛组委会 供稿/易轩 整理

说明：带★号的是高年组练习题，其余题目高低年组共用。

1. 是否可能晚上在东方看见水星？
2. 在距太阳20度的距离上看到某行星，它是内行星还是外行星？
3. 某年的5月19日火星冲日，在什么星座里能看到它？同年2月5日金星大距，它位于什么星座？
4. ★ 在什么季节里，最适合观测黄昏时的水星？（提示：考虑它的地平高度）
5. ★ 在地球上的什么地方能在子夜看到金星？
6. 同一时刻拍摄相距3度的两颗小行星的照片，在曝光时间内它们相对于恒星有了移动，因此在底片上各自留有线状的痕迹。这两颗行星中哪一颗的位置比较接近地球和太阳，是痕迹较长的那颗还是痕迹较短的那颗？
7. 从太阳上看，地球在一昼夜内超前火星多少度？已知这两颗行星的公转周期各是365.25天及687天。
8. 火星是否每年都能接近地球到最小距离，也就是说，能否每年有一次冲？
9. 一颗行星的公转周期与会合周期相等，它的公转周期为多少？它可能是一颗什么星？
10. 某一年木星冲日发生在7月15日，它下次冲日应发生在何时？
11. 某年某月某日，我们观测金星，记下了它离太阳的方位角和位置，问再过几年，会在同一日期再次看到金星位于这个位置？
12. 对想象的火星上的居民而言，地球像金星那样，时而是昏星，时而是晨星。每经过多少时间，在火星上能看见地球作为昏星出现？
13. 地球和火星的轨道都是椭圆，不过火星的轨道明显更扁些。因此，火星的冲日距（冲日时与地球的距离）常是不同的。当冲日距最短时（即火星大冲），地球到火星的距离（ $55 \times 10^6$  千米）要比最不利的冲近一半。而此时，在望远镜中观测火星要比其他任何时候都好。火星绕太阳的公转周期为1.88年，火星大冲大约多长时间发生一次？
14. ★ 已知1938年1月1日，木星的日心黄经是306度55分，地球是99度55分。试确定在1938年以及在1939年中木星合日的日期。
15. 金星东大距、上合时，在地球上观测，它相对于背景恒星的移动角速度（视角速度）分别为多少？火星合日时逆行的视角速度及冲日时逆行的视角速度各为多少？
16. 某行星每隔665.25天发生一次冲日，它距离太阳多少天文单位？
17. 会合周期大于2年的所有行星，在地球上观测，它们离太阳的角距离最大为多少？
18. 木卫三和木星的距离等于木星半径的14.9倍，绕木星公转的周期为7天3.7小时。木卫五和木星的距离等于木星半径的2.52倍，其公转周期为多少？
19. 4月1日晚上约7时，恰好在东点看见一个非常明亮的星状天体，它恒星还是行星，你用什么来论证自己的结论？
20. ★ 金星和太阳的平均距离为0.72天文单位。试确定在日落时，从纬度 $\phi$ 的地方能看到的金星的最大地平高度，并指出这现象发生在一年内的什么时间。
21. 若行星的公转周期趋向无穷大，那么它的会合周期趋向怎样的极限？
22. 如果一颗假想的行星和地球的轨道在同一平面上并且为圆形，它的轨道半径等于40天文单位，它冲日时在天球上每日移动多少度？
23. ★ 求行星在一个会合周期P内，逆行和逆行的时间长度之比。
24. 计算木星逆行时相对于恒星背景走过的角度。
25. 已知位于黄道上的一切恒星的测得的视线速度，一年内在 $\pm 30 \text{ km/s}$ 的范围内变动着，试确定地球到太阳的距离。
26. 月球上弦时，从月球M到太阳S和地球E的两个方向间的角SME等于 $90^\circ$ ，观测得知，从新月到上弦的时间比从上弦到满月大约0.6小时，根据朔望月的长度就可以估计出日地距离和地月距离之比。这个方法最早由古希腊天文

学家阿里斯塔卡斯在公元前3世纪提出。但他把0.6小时误作12小时，他求得的距离比和实际的距离比分别为多少？

27. 用哪些方法测定地球到太阳的距离无须知道地球的大小？

28. 当月球的亮面部分位于连接月芽两尖端的连线的右方时，月亮的亮面是在增大还是在减小？当亮面位于该直径的左方时又如何？分别就观测者位于南、北半球进行讨论。

29. 娥眉月的月弓所指向的方向由什么决定？为什么月弓的方向很多时候看起来并不指向太阳？

30. ★ 大概估计一下，在地球上的什么地方，能看到娥眉月的两角朝上，就像一个平行于地平线放置的“船”？

31. 月球上的宇航员新月的时候看到地球是什么相？在满月的时候呢？月球的相和地球的相的关系有什么规律？

32. 假设2010年12月25日观测到月球上弦，问2011年12月25日将是什么月相？

33. 由黄白交角(即月球公转轨道平面与黄道平面的夹角，平均约为 $5^{\circ}09'$ )，计算月球赤纬的范围。在北京观测，满月可能的最大地平高度为多少？发生在什么季节？

34. 在子午圈上看见上弦月，这时大约是几点钟？

35. 三月里满月大概在几点钟升起？

36. 真太阳时晚上6点钟，月亮上中天，问当时是什么月相？若在真太阳时子夜上中天，又是什么月相？

37. 在什么季节里，大概几点钟，月亮上中天时的地平高度最高？当：(1)满月的时候；(2)上弦的时候；(3)下弦的时候；(4)可以看到傍晚时的月亮“灰光”的时候。

38. ★ 在我们北半球，什么季节里，满月在地平线上的时间最长？在什么季节，新月在地平之上的时间最长？

39. 在地球上大概什么地区，且在什么季节里，满月时，月球留在地平上的时间可以长于一昼夜？

40. 在北极能看见六月里的满月吗？

41. ★ 地球上是否有什么地方、什么季节，在两个星期的时间里都看不见月亮？

42. 如果恒星月为60天，那么月球连续两次上中天之间的时间间隔几天？朔望月的长度又为多少天？

43. 如果恒星月的长度等于1个恒星日，那么月球的周日视运动是什么样子？如果恒星月小于1个恒星日，譬如等于20小时，又如何？

44. 如果月球以和现在一样的速度，由东向西绕地球公转，那么朔望月的长度为多少天？

45. ★ 已知地月连线与日地连线之间的夹角，怎么求月球光亮部分所占月面的面积之比？提示：从地球到太阳和从月球到太阳这两个方向可以视作是平行的，它们的差小于9角分。

46. 我们看到的月亮的明暗界线，是半个椭圆还是一段圆弧？月食时地球的影子呢？

47. 为什么有时候从新月到满月所经过的时间，比从这次满月到下一次新月所经历的时间更长？

48. 假若昨天月出是在晚上8点45分，那么下次月出约在何时？月球赤纬的大小对此有怎样的影响？

49. 在地球上什么地方，月球连续两天升起时的恒星时相同？

50. 对于在北极的观测者，月球的运动是怎样的？

51. ★ 如果黄白交角取为 $5^{\circ}20'$ (这是黄白交角的最大可能值)，那么月掩星发生时，能被月球遮掩的恒星的黄纬值的范围为多少？( $\pm 6^{\circ}38'$ )

52. 已知月球轨道的近地点在不停地向西移动，3232天内移动一周。求近点月(月球两次过近地点的时间间隔)的长度。

53. ★ 由于地球的自转，观测者在月出和月没时，能比月亮上中天时看到更多的月面(能看到月亮背面的一部分，称为视差天平动)。问能额外看到多少月面？

54. 为什么不会有月环食？

55. 在月全食的时候，有时月球会在日落之前升起，因而我们能同时看到月亮、太阳。那么这时，从月球上应当可以直接看见太阳，但这时正在发生月食。怎么解释这个悖论？

56. 在地方时早晨4时能观测到月全食的食甚吗？

57. 若今年月食发生在8月，问下一年7月间可能发生另一次月食吗？今年10月里可能发生月食吗，若不能，为什么？

58. 在什么情形下，中心月全食的持续时间最长？

59. 在月食的时候，可能发生月掩木星吗？可能发生月掩金星吗？

60. 在地球上，能在子夜时观测到日食吗？

61. 在日食的时候，太阳圆面的哪一边缘——东或西——最先与月面接触？

62. 在最亮的日环食的时候，太阳光能减弱多少？
63. 在哪里能更经常地看到食现象—两极地区(到极圈为止)还是赤道地区(回归线之内)？
64. 有人曾说见过日食初亏时是从日面的下边缘开始的，他说的对吗？如果对的话，在什么地方、什么时候能发生这样的情况？
65. ★ 为什么一年中日食和月食的总数不能超过7次？
66. 估算日全食和日环食时，全食带在地球表面所占的面积。
67. ★ 设一个小天体在距离中央恒星 $a$ 处开始自由下落，落到中心天体上所需的时间(以天数表示)为 $t$ ，推导求 $t$ 的公式。在推导时，可把这一下落运动与这样的一个彗星的运动相比较：这彗星沿着长径等于 $a$ 的极扁椭圆轨道运动。如果地球停止绕日转动，那么它落到太阳上要多少时间？
68. 已知海王星的卫星距离海王星中心354000千米，公转周期等于5天21.0小时，计算海王星质量为地球质量的多少倍？提示：比较海王星卫星的运动与月球绕地球的运动，以进行计算。
69. 把月球绕地球的运动与地球绕日的运动相比较，求太阳的质量为地球质量的多少倍。
70. 根据地球的公转速度和日地距离，求太阳的质量。
71. 行星上的流星物质的积聚对行星轨道半径有怎样的影响？
72. 大家知道，如果给物体在水平方向以7.906千米/秒的速度，那么它便不再落到地球上，而变成靠近我们地球表面绕行的卫星了，这个卫星的公转周期是多少？有没有卫星的公转周期比它更短？
73. 如果火星的卫星绕火星公转的周期与火星的自转周期相等，那么这颗卫星离火星中心多远？
74. 从火星上发射一个探测器到别的行星，发射速度至少多少？
75. 如果太阳的质量突然减少了一半，那么太阳系行星的运动将发生什么变化？如果太阳的质量突然增大了一倍，那么地球轨道怎样改变？
76. 某天体在离太阳0.7184天文单位的距离上时，相对于太阳的速度为33.2km/s。试确定此天体的轨道形状。你知道这是什么天体吗？
77. 彗星绕日运动，向径等于0.005543天文单位时的速度为565.4km/s，试确定彗星轨道的偏心率。
78. 有一个假想的彗星，在离太阳1天文单位处的速度的方向和圆轨道速度方向相同，而其大小仅为圆周速度的1/10。试确定彗星的半长径、公转周期、偏心率和近日距。
79. ★ 证明，沿半长径为 $a$ 的椭圆运动的行星的最大线速度和最小线速度的几何平均值等于沿半径为 $a$ 的圆周运动的行星的速度。并求该行星在轨道上的哪一点具有这样的速度。
80. ★ 证明，沿着近日距为 $q$ 的抛物线运动的彗星，需经 $109.61 \times q^{3/2}$ 天，方能到达近日点后90度处。
81. 你把手指放在望远镜物镜(焦距为 $F$ )的前面近处，你正在用望远镜观测的朋友能通过望远镜看到你的手指吗？要想看到，你的手指离望远镜的最小距离是多少？
82. 一个物镜能成15mm的月亮像，它的焦距是多少？
83. 北天有2000个6等星。问它们的总亮度是天狼星的多少倍？后者的亮度为-1.4等。
84. 通过小孔成像法观测日全食，小孔的直径为0.006米，距离成像的墙面4米，所成的太阳像有多大？
85. 月球上恒星日的长度为多少？那里的黑夜和白昼各多长？
86. ★ 在地球上观测，月亮升起至少需要多长时间？在月亮上看地球“升起”需要多长时间？
87. 试描述，对于在月球上的观测者，地球和太阳在天空中的“周日”和“周年”运动是怎样进行的？
88. 从月球上能看到“新地”时的地球吗？从地球上，新月时的月球是看不到的
89. 地球的反射本领为月球的6倍，月球直径为地球的0.273倍。在月球上观测，满月的地球为多少等？
90. 上弦或下弦时的月光流量比满月时的一半还小，这是为什么？
91. 在月球上所看到的太阳的样子和从地面所看到的一样吗？
92. 冲日时，地球上所见的火星的角直径几乎正好等于金星上所见的月球的角直径，是金星上所见的月球亮还是地球上所见的火星(冲日)亮？
93. 设人眼的分辨率为1角分，当火星冲日时(当时它的角直径等于25秒)，用放大率为600倍的望远镜能看见的火星上最小的细小部分的线大小为多少千米？怎样才能看到火星“运河”？
94. 地球、金星的大小和表面反照率都差不多，是在金星上看到的地球更亮还是在地球上看到的金星更亮？

95. 若木星和冥王星的轨道半长径分别等于5和40天文单位，它们中哪一个的亮度变化范围(从地球上观测)更大些？

96. 假设土星光环的全部质量聚集而成一个大卫星，这个大卫星在光环中央的距离处公转，且具有与组成光环的各小部分同样的密度。问在土星上本来能很好地看见光环的地方，夜空的亮度是增强还是减弱了？

97. 外行星处在什么位置时，其视圆面具有最大的相？那时候对于这行星来说，地球看上去是什么样子？

98. 观测者随着地球一起的周日转动是否对行星自转周期的测定有影响？

99. 火卫一离火星中心的距离为火星半径的2.8倍，直径为15千米。假设月球和火卫一的反光率相同，在火星上观测“满月”时的火卫一，它的星等为多少？它在火星地平上和天顶处时的星等变化为多少？

100. 在火星上观测到火卫一连续两次上中天之间的时间间隔是多少（火星太阳日）？火星的公转周期等于24小时37分（平太阳时），火卫一的公转周期为7小时39分（平太阳时）。

101. 当木星的卫星经过木星圆面时，它在哪一边(东边或西边)进入木星圆面？

102. 晚上观测木星，当它的卫星经过木星圆面时，卫星的影子是跟随在这些卫星在木星圆面上的投影之后，还是超前？

103. 木星的伽利略卫星中的三个，从木星上观测时，它们的经度常有以下关系： $l_1 + 2l_3 = 3l_2 + 180^\circ$ 。当太阳上的观测者看到木星“没有卫星”时，木卫I、II和III的排列是什么样子的？

104. 观测时，怎样区分无尾彗星和通常的星云？

105. 什么观测证明了彗星并不是如同古时候猜想的那样位于地球大气中？

106. ★ 某彗星在1976年3月9日经过近日点。以后又观测到一些有类似的轨道要素的彗星，它们曾在1987年1月16日、1992年6月22日和2003年5月1日经过近日点。假若它们是同一个彗星，它的绕日公转周期为多少？

107. 两个彗星在黄道面内运动，近日距分别为0.5和1天文单位，彗尾均为 $1.5 \times 10^8$  km。它们的彗尾能扫到地球吗？

108. 设一彗星沿近似抛物线的椭圆轨道运动。当它在近日点时的速度增加10倍时，它的轨道半长径怎么变化？

109. 一个大彗星的近日距为0.00775天文单位，它分裂成了四个小彗星，其中一个成员的周期为769年，它在近日点时的线速度为多少？

110. ★ 假如两个类彗星体沿同一个扁长的轨道绕太阳运

动，其中一个稍在另一个前面。它们的间距将如何随它们在轨道上的位置的不同而改变？

111. ★ 假设构成彗头的各小部分具有几乎同一个近日点，和稍微不同的远日点，彗星的大小将怎样因其在轨道上位置的不同而改变？

112. ★ 由地球的自转同样也发生光行差，即所谓“周日光行差”。计算赤道、两极处的周日光行差的值。

113. ★ 证明对于在纬度 $\phi$ 处的观测者而言，所有恒星在周日光行差的影响下，其视位置相对于真位置都画出一个半长径为 $(2\pi r/c) \cos \phi$ 的椭圆，式中 $R$ 是地球半径(千米)， $c$ 是光速(千米/天)。并分析某给定恒星的最大周日光行差的数值 $a$ ，恒星在什么位置时，周日光行差对其赤经、赤纬影响最大？

114. 算出在北半球春、夏、秋、冬各季的天数。说明四季不同长度的原因：为什么我们北半球的夏季比冬季长？

115. 若地球自转轴垂直于黄道平面，这将如何影响到地球上各处各季节的时间长度？它对四季和地球上的气候的影响又如何？

116. 黄赤交角变为多大时，南极圈和南回归线重合？

117. 地球的自转正在逐渐减慢，天文现象将比以前进行得更快还是更慢？

118. 若转动的不是地球而是天球，那么半人马座 $\alpha$ 星在绕地球作周日运动时，将具有怎样的速度？设该星的光线射到我们地球上要4年，它的赤纬等于-60度。

119. 航海者从多少远的距离就可看见高出海面100米的灯塔上的灯光？

120. 试比较二分日正午时，赤道、北回归线和北极圈处同等面积上接收到的太阳光强度。

121. 试比较二至日正午时，赤道、北回归线和北极圈处同等面积上接收到的太阳光强度。

122. 比较在北京观测，夏至日和冬至日，单位面积接收到的太阳能量之比，以及地球过近日点、远日点时，单位面积接收到的太阳能量之比，地球轨道的偏心率为0.0167。哪个差别更大？为什么？

123. 6月21日地球沿公转轨道的运动方向所指向的天球上那一点的赤经、赤纬各为多少？

124. 怎样解释下列现象：从1月到7月我们在正午比在傍晚更接近太阳，但从7月至1月我们却是在傍晚更接近太阳。

125. 地球上三个基本的气候带：热带、温带和寒带，其面积之比如何？

126. ★ 被行星的摄动所引起的地球轨道近日点的移动是否影响到地球上四季的长度？

127. 有人曾说：用月食来作地球为球形的证明是不正确的，因为地球的影子并不是投射在平面上，而是投在月亮的球形表面上，因此地球影子的边缘并不是一段圆弧。请反驳这种观点。

128. ★ 如果由大气散射太阳光所引起的天文蒙影现象在太阳位于地平下18度处结束。问散射太阳光而导致天文蒙影的大气分子距离地表多高？位于地球大气中的哪一层？对民用晨昏蒙影又是什么结果？

129. 住在北纬 $51^{\circ}32'$ 的某人说在白天，他从很低深的井中看见了五车二(赤纬 $\delta = 45^{\circ}54'$ )。这种情况可能发生吗？

130. 在某地观测，一颗恒星从出到没在地平以上走过180度的圆弧，当它在上中天时，距天顶55度。天赤道与该处的地平圈的夹角多少？

131. 我们可以通过观测恒星中天时的地平高度，来决定观测地的地理纬度。为了获得更精确的结果，所观测的恒星应选择在何处——接近天顶还是远离天顶？为什么？

132. ★ 某人拾到一根长1米的木棍，插在地上，在正午时量得其阴影长度。他用历表查得那天太阳的赤纬后，从而确定了他自己所在地的纬度，不管其计算本身正确与否，他最终获得了错误的结果。问错误的原因何在？

133. 某处子夜时，观测到太阳的地平高度为 $4^{\circ}11'$ ，而太阳的赤纬为 $+22^{\circ}8'$ ，试确定观测地的纬度。

134. 某永不落的恒星，下中天时具有地平高度20度，上中天时则为50度，求此星的赤纬和观测地的纬度。

135. 观测某永不落的星，上中天时它在天顶以北，天顶距为29度47分，而下中天时地平高度为41度49分。试确定观测地的地理纬度。

136. 在地球上什么地方，任一赤经圈都可能与地平重合？

137. 赤经为 $158^{\circ}27'$ 的恒星，将于恒星时几点下中天？

138. 2月10日大角星( $\alpha = 14^{\text{h}}12^{\text{m}}$ )上中天时约在平太阳时什么时候？

139. 试估算什么星将在7月28日晚上10点上中天。

140. 已知大熊座的赤经在 $8.5^{\text{h}} \sim 13.5^{\text{h}}$ 之间，试估算一年中的什么时候晚上9点钟，大熊座的斗柄向下。

141. 在什么日子里，天空最亮的星——天狼星( $\alpha = 6^{\text{h}}42^{\text{m}}$ )在子夜上中天？

142. 在北京观测( $\phi = 40^{\circ}$ 左右)，地方平时7时35分，两

恒星在天顶距 $z = 50^{\circ}$ 处上中天，但一个在天顶以南，一个在天顶以北。两星的赤经、赤纬各为多少？

143. ★ 在天球的什么部分，天体的天顶距在单位时间内的改变量最大，在天球的什么部分这个值最小？

144. ★ 在天球的什么部分，天体的方位角变化最快，何处最慢？

145. ★ 在地球上什么地方，对什么恒星而言，其天顶距在一昼夜内的改变量总是正比于其时角的变化值？

146. ★ 在北半球的某处，垂直放置一根长 $l = 2.5$ 米的杆子。太阳上中天后又经过恒星时3时40分，这根竿子在水平面上的影长为 $l' = 3.831$ 。若进行观测的那一天，太阳的赤纬为15度20分，观测地的地理纬度为多少？

147. 已知恒星的赤纬以及它的方位角相差180度时的两个时角值，求观测地的纬度。

148. ★ 某游船上的领航者测得子夜时太阳中心的天顶距为80度，这艘船可能位于什么地方，这是什么时候(什么季节)？如果领航者未计算大气折射的影响，根据所得纬度而错误地确定了船的位置，将与真值相差多少千米(近似估计)？

149. 大气折射的作用使地球赤道上的白昼延长多少时间？

150. 是否可能同时在地平以上看到太阳和满月？如果可能，纬度范围大致为多少？

151. 在地平附近的太阳和月球的视直径会因大气折射而增大还是减小？

152. 当太阳位于地平附近时，大气折射会增加太阳圆面的面积吗？

153. 木星发出的光在木星本身的大气层经过了折射。那么，我们所见的木星位置相对于背景恒星会改变吗？

154. 赤经分别为 $8^{\text{h}}50^{\text{m}}$ 和 $9^{\text{h}}46^{\text{m}}$ 的两颗恒星，我们在某时刻测定了它们的方位角之差，若考虑到大气折射的影响，这个方位角之差应增大，还是减小？

155. 由于大气折射的缘故，会使极地太阳不落的日子延长几天？

156. 9月22日太阳的黄经为多少？10月1日、1月1日呢？

157. 地球上某处6月22日子夜时，太阳中心刚好位于地平线上。问当地的地理纬度为多少？

158. ★ 在北京(北纬40度)正午，一根杆子的影长约等于杆高的0.854倍，那么，观测是在一年中什么日子里进行的？

159. 太阳的赤经和赤纬各在什么时候变化最快？在什么

时候变化最慢？

160. 设太阳沿黄道的运动是匀速的，它在近地点和远地点时的黄经大约为多少？提示：太阳通过近地点和远地点的日期为1月3日和7月3日左右。

161. ★ 太阳经过春分点时，是否在每年三月的同一个日子？若不是，为什么？这个日子有可能在怎样的范围内变化？

162. ★ 求证，太阳的赤道坐标满足： $\tan \delta = \tan \epsilon \cdot \sin \alpha$ ，式中 $\epsilon$ 为黄赤交角。

163. ★ 银河系北银极的坐标为： $\alpha = 12^h 40^m$ 、 $\delta = +28^\circ$ ，当太阳沿黄道作周年运动时，将与银河相交于什么地方、什么时刻？提示：找出银极的黄道坐标之后，再确定银河与黄道的交点。

164. 如果地球自转方向与它真正转动的方向相反，太阳时和恒星时两者间的关系将会怎样？

165. 两地经度差等于太阳时之差，还是等于恒星时之差？

166. 在地方恒星时9时8分32秒时，在甲地用电报往乙地发送信号，乙地收到信号是在地方恒星时9时34分16秒，这两地的经度之差为多少？

167. 观测得知五车二(御夫座 $\alpha$ 星)上中天是在2时56分，已知五车二的赤经为5时10分，问观测所在地的经度为多少？

168. 6月14日，在船上用六分仪测得太阳中天是在8时23分(按照一只指示格林尼治恒星时的恒星钟读出)，而且天顶距为22度2分(已计及大气折射)，若按照航海天文历书，在这一天的这个时刻，太阳的坐标为： $\alpha = 5^h 26^m$ 、 $\delta = +18^\circ 25'$ ，试确定这艘船所在处的经度和纬度。

169. ★ 12月22日正午时，一位船长测得太阳的天顶距等于66度33分。观测时刻按格林尼治时走时的表显示为上午11时54分。在这一天，时差为-9分。求该船所在地的经纬度。

170. ★ 旅行的人来到极北方某个无人的地点。他带有恒星坐标表(给出的是赤经、赤纬)以及按格林尼治时间计算好的当年的木卫食时间表、经纬仪和恒星钟。这只钟突然在路上停了，但并没有坏，只要重新对准时间，仍然有用。试描述，这位旅行者为了决定他的纬度和经度而必须进行的观测和计算程序。

171. 假设北京的直径等于60千米，纬度为北纬40度。问北京东郊的正午来得要比西郊早多长时间？

172. 用平太阳时表示恒星时，则恒星日长度将是多少？

173. 8月15日，根据某天文台的恒星钟，大角星( $\alpha =$

$14^h 12^m$ )中天是在15时18分，这个结果能被解释为观测与理论间的差异吗？假若不是的话，该怎么解释？

174. 二月份里，星期日最多可能出现几次？这是对什么人在什么情况下而言？

175. 木星上的恒星日比平太阳日短多少平太阳日？

176. ★ 证明，在任何地方都有如下关系： $s - \alpha + \eta - t = 0$ ，其中 $s$ 为恒星时， $\eta$ 为时差， $\alpha$ 为太阳的赤经， $t$ 为它的时角。

177. 根据区时，某地2月11日日出时间是7点06分，日没时间是16点24分，该处的区时和地方平时相差多少？

178. ★ 某一年的天文年历中刊载：3月21日平太阳时12时的恒星时为23时56分5.87秒，3月22日平太阳时时12时的恒星时为0时0分2.42秒，请确定春分的时刻(即太阳经过春分点的时刻)的准确时间(平时)。

179. ★ 为什么按平太阳时计算，白昼的午后部分大约从12月8日(即冬至前两星期)起就开始延长了呢？(考虑时差)。

180. ★ 假若黄赤交角增加到30度，那么时差的变幅将如何改变(定性分析)？若黄赤交角增至90度呢？地球轨道视为圆形。

181. ★ 火星自转轴与轨道平面的交角为65度，轨道偏心率为0.093，问火星上的时差变化范围比地球上的大还是小？地球轨道偏心率为0.017。

182. ★ 1937年的春分在3月21日格林尼治时18时58分来到，试分别指出在1938、1939、1940、1941和1942年春分的日期和时刻。

183. 按照埃及历，一年等于365天。按照这个历法，经过100年，春分将发生在什么时候？经过多年，春分将在秋天到来？

184. 11世纪，在波斯采用的一种历法是以33年为一个循环，作为该历法的基础，其中包含25个平年和8个闰年。试确定波斯历年长度和误差。

185. 古代雅典天文学家米顿(公元前5世纪)曾发现了一种周期，每经过这一周期，阳历上的同一天就将出现相同的月相。例如某年3月15日是满月，若干年后(经历一个米顿周期)，3月15日将再次出现满月。试确定米顿周期的长度。

186. 在什么时候，太阳的天顶距等于90度？

187. 在北半球观测，某恒星在东北方升起，那么它将在地平圈上的哪个方位落山？这颗恒星出没点的方位角之间有什么关系？

188. 在地平以上的时间不到12小时的恒星，它们出没于

地平圈上哪些点之间？超过12小时的呢？

189. 11月13日，太阳距离北天极108度，问在怎样的纬度处这天没有日出？

190. ★ 从什么地理纬度开始，天文晨蒙影和昏蒙影才不致在夜里彼此交接起来？提示：当太阳没入地平以下18度时，天文蒙影才消失。当太阳没入地平以下6度时，民用蒙影才消失。

191. ★ 从什么地理纬度开始会有白夜（黄昏还没有过去已到了黎明的现象，即民用晨昏蒙影在夜里交接）？

192. ★ 有两颗恒星，它们的赤纬大小相等，符号相反。试证明，其中之一的升起点正在另一个的落山的反方向。

193. 考虑民用晨昏蒙影，在北极极昼的时间为多少天？

194. 如果格林尼治和俄罗斯的伊尔库茨克纬度相同，但在经度上，伊尔库茨克偏东6时57分。在8月27日，哪一个地方的白昼比较长？

195. 在某年3月21日格林尼治时间晚上6时，太阳通过春分点。在3月21日，伦敦和伊尔库茨克的日出是否在地方时同一时刻？不考虑大气折射，考虑太阳赤纬的变化。

196. ★ 不考虑大气折射，算出在北京观测，轩辕十四(赤经10时4分42秒，赤纬12度18分)出没点的时角与方位角。它有多长时间位于地平以上？设4月20日子夜的恒星时是13时48分8秒，问此星的出和没发生在平太阳时什么时候？

197. ★ 试证明，当恒星上升时，周日视运动圈与地平构成角 $\theta$ ，那么 $\cos \theta = \sin \phi \cdot \sec \delta$ ， $\phi$ 为观测地纬度， $\delta$ 为恒星的赤纬。

198. 根据天体出没公式： $\cos t = \tan \delta \cdot \tan \phi$ ，分析对于两极、极圈、中纬地区以及赤道上，太阳在各个季节里的周日视运动以及白昼的长度。

199. ★ 5月24日。太阳赤纬为20度37分。计算北京当天的白昼长度及太阳上边缘出、没时刻的地方平时和北京时间。考虑大气折射的影响。

200. 当太阳沉落地平下18度时，完全的黑夜来临(天文蒙影消失)。春、秋分时在地球赤道上，日落后经过多长时间黑夜才来临？在纬度45度、60度处呢？

201. 在北半球某处，当太阳的赤纬为0度的时候，由于大气折射的影响，白昼延长了10分钟，求该处的纬度。

202. ★ 求证，北极圈上日没点的方位角在一天内的改变量的绝对值，等于一昼夜内太阳黄经的改变量。

203. 在地球上两个地点的位置应成什么样的关系，才能使得在一年中的任何日子、任何时刻，这两个地方中总有一个地方能看到太阳是在地平以上或正在地平圈上？

204. 在北极圈上(66度33分)，半年之内每天的日出时刻的恒星时都相同，而另半年内的日落时刻也是如此。试不用球面三角证明这一事实，并详细说明这个现象。日出(日落)时的恒星时等于多少？这时刻黄道的位置如何？在哪一天以哪一种方式，日出的不变的恒星时变为日落的不变的恒星时？在北极圈上，一年内日长和夜长怎样变化？

205. 证明，在纬度45度处，从恒星的方位角等于-90度的时刻起到它落山的时刻为止的这段时间间隔，对于一切恒星都是恒量。

206. 经过13000年后，春分点将位于什么星座？

207. 6000年前，我国的古人就已经开始了系统地天文观测，试确定在河南的商丘，哪些我们现在能看到的星座是先民们不能看到的。(提示：考虑岁差)

208. ★ 已知由于岁差，春分点在黄道上每年西移50.2角秒，恒星年长度为等于365.25636平太阳日。求回归年的长度。

209. 岁差是否影响到北半球和南半球的天文气候(指仅被天文学的原因所决定的气候而言)？

210. 对天球上哪些恒星而言，由于岁差，其赤经的改变最快？哪些恒星的赤纬改变最快？

211. ★ 已知回归年、恒星年、近点年分别为365.2422、365.2564、365.2596平太阳日，试确定岁差的大小和方向，以及地球近日点相对于背景恒星的移动量的大小和方向。

212. 对于火星上的居民(假若存在的话)，太阳圆面张成22.7'的角。已知太阳的线半径等于109倍地球半径，求太阳光到达火星所经历的时间。

213. ★ 一星际飞船沿一定的轨道行驶，这轨道的近日距等于地球离太阳的距离(1天文单位)，远日距等于火星离太阳的距离(1.5天文单位)，这艘飞船从地球飞到火星上需多少时间？

214. 假设在未来的某个时候，在太阳系以外发现了一颗1.2倍太阳质量的主序恒星，并在其附近绕转轨道上发现了一颗理化性质都与地球类似的行星。如果这颗行星刚好适合人类进行外太空殖民，请估计出这颗行星到其绕转恒星的大概距离。已知质光关系：当主序恒星的光度大于太阳的光度时，其光度和恒星质量的4次方成正比；主序恒星的光度小于太阳光度的时候，其光度和质量的2.8次方成正比。

215. 不久前的3月1日16时13分，嫦娥一号探月卫星成功在月球表面受控坠毁。坠落月球表面时的瞬间速率为1.68km/s。在坠落之前嫦娥一号一直以300km的轨道高度绕月按正圆轨道公转。假设这次受控坠落只是在原轨道上瞬间减速一次便成功坠落，求减速后的瞬间嫦娥一号的轨道速度。

216. 在印度神话中一个叫罗睺的阿修罗偷喝了天族的不死仙露，之后由于太阳神和月亮神向湿婆大神告密，湿婆一怒将罗睺一剑劈成两半。不过由于仙露的功效，被劈成两半的罗睺并没有死而是上到天空不停的追赶着太阳和月亮，从而形成了日食和月食。

假设这个传说是真的，但是我们不讨论日食，这里只承认月食是由罗睺对月亮的复仇造成的。那么我们可以认为“罗睺”应该是绕地球公转的卫星。我们设想“罗睺星”（即被劈成两半的罗睺成为的“罗睺A”、“罗睺B”）绕地球是椭圆轨道。

我们知道月食大概每半年就会有一次，每个“罗睺”每绕地球公转10次才进行一次对月亮的复仇（如果月球刚好是望月位置附近的时候，也就形成了月食）。若“罗睺星”的运动只受地球引力的影响，而且罗睺星每次追上月球的时候刚好也是离地球最远的时候，那么：

1) 请估算出“罗睺星”的近地点距离。

2) 假设每颗“罗睺星”的轨道都是稳定的，根据你所掌握的有关月食的常识请判断出仅靠一颗“罗睺星”是否能造成半年就有一次月食的情况，如果可能请说明可行性，如果不可以，请说明理由。

217. 设计目视观测用望远镜的时候，一般要使得它的视角放大率与分辨率相适应。即望远镜的最小分辨角刚好放大到人眼所能分辨的最小角度，这个放大率在光学中我们称之为有效放大率。现有一望远镜口径120mm，物镜焦距1500mm。已知人眼极限分辨角约1角分。

1) 请求出此台望远镜的有效放大率。

2) 请测算出此望远镜使用的放大率刚好为有效放大率时所使用的目镜焦距。

218. ★ 我们从地球上观察一颗恒星，有时候会因为其退行而发生该恒星的光谱红移而出现谱线“变冷”，现有一颗恒星，其光度为太阳的8倍，半径为太阳的1.5倍。我们观察到它的谱线辐射能量峰值为390纳米，请计算这颗恒星相对于我们的退行速度。

219. ★ 太阳的能量来源于氢元素的核聚变反应， ${}^1\text{H} \rightarrow {}^4\text{He} + \text{E}$ 。假设太阳形成时全部由氢元素组成，估计有10%的太阳氢原子可供燃烧，太阳的光度为 $3.845 \times 10^{26}$ 瓦，试估算由太阳氢原子燃烧提供的能量可维持太阳正常发光的时间。氢原子的质量 $1.00794 \text{ amu} = 1.67379 \times 10^{-27}$ 千克，氦原子的质量 $4.002603 \text{ amu} = 6.64672 \times 10^{-27}$ 千克。

220. ★ 假设为了探测一个质量为 $5M_\odot$ 、距离我们500pc的黑洞，我们很久以前就发射了一个直径为5m的探测器。如今它已经运行到黑洞附近，经过适当的变轨，使得它能够稳定在一个绕此黑洞运行的圆轨道上。

我们曾经做过试验，得知这个探测器可承受的最大压力（拉力）为其在地球上所受重力的5倍。尽管它并不结实，但我们还是希望它尽可能靠近它的探测目标。此探测器在绕黑洞运行的过程中会持续向地球发射 $\lambda_0 = 5\text{mm}$ 的电磁波。我们单独接收来自此探测器的信号。

1) 试求探测器绕黑洞运行的周期；

2) 试讨论接收到的电磁波波长的范围。

提示：光子能量 $E = m_0 c^2 = h\nu$ ； $m_0$ 为光子质量； $c$ 为

光速； $h$ 为普朗克常量，取 $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ； $\nu$ 为光子的频率。

221. 近期，美国新开发出一种新的高硅太阳能电池材料，光电转换效率惊人的高达42.8%。假设把很多的这种高硅太阳能电池材料拼接起来，给地球做一个环把地球套住（假设这个环刚好位于黄道面上），让它为地球提供全部的用电量。已知地球每年的耗电量为 $1.5 \times 10^{13}$ 度（即千瓦·小时），太阳表面温度5770K，太阳半径为 $6.9599 \times 10^8 \text{ m}$ ，假设此电池环距地心（即环半径）为50000 km。求此电池环至少应该有多宽才能满足地球每年的耗电量？

222. 在北纬30度的地区，小明使用一台数码单反相机对着北天极拍摄恒星的周日视运动轨迹。这台相机的图像传感器尺寸为 $22.5 \text{ mm} \times 15.0 \text{ mm}$ ，画面分辨率为3504像素 $\times$ 2336像素，前端使用的镜头焦距为50mm。

已经某恒星的赤道坐标为 $\alpha = 17^\circ 29' \text{ m}$ ,  $\delta = 86^\circ$ ，若小明拍摄了两个小时，请问这颗恒星在照片上拖出的轨迹长度为多少像素（忽略镜头造成的图像形变）？

223. 一台望远镜的口径为90mm，焦距120cm，假设人眼的分辨率为 $1'$ ，瞳孔直径最大约为6mm，用它来进行月亮的目视观测。

1) 为了保证目镜的出射光能充满瞳孔，问选择目镜时，其焦距最少应为多少？

2) 为了保证所见的月面细节清晰，问所选目镜的最大焦距约为多少？

3) 用以上两个目镜，看到的月亮视直径各为多少？

# 天文奥赛常用公式集萃

李鉴 整理

说明：以下列出的大部分公式都是从历年国家队集训课程和各届奥赛题中挑选出来的，也有一部分（例如球面三角公式）是为了大家平时练习时方便查阅而列在这里，一般比赛中并不要求记忆。我们没有刻意区分哪些公式适合低年组、哪些适合高年组，请大家根据自己的兴趣进行取舍，毕竟天文奥赛不是为了考试成绩而举行的比赛，激发我们探索宇宙的兴趣、了解我们栖身的时空奥秘，才是天文奥赛的终极目标。

我们希望尽可能全面地把一些经典的天文、物理规律都罗列出来，但缺漏总是不可避免，在此热切期待大家和我们分享这里没有提到的更多精彩知识。对其中的谬误，也恳请大家批评指正，请联系：scalar@vip.sina.com。

1. 常用的近似公式。当 $|x| \ll 1$ 时，（比如 $|x| < 0.1$ ）时，有：

$$(1+x)^\alpha = 1 + \alpha \cdot x, \quad \alpha \text{为任意实数}$$

$$e^x = 1 + x, \ln(1+x) = x, \lg(1+x) = 0.4343x$$

$$\sin x = x, \tan x = x, \cos x = 1 - \frac{x^2}{2}, \quad x \text{以弧度为单位}$$

$$(1+x) \cdot (1+y) = 1 + x + y, \quad x \ll 1, y \ll 1$$

2. 弧度与角度。按照定义，1个圆周的角度=360°= $2\pi$ 弧度（通常记为rad），因此：

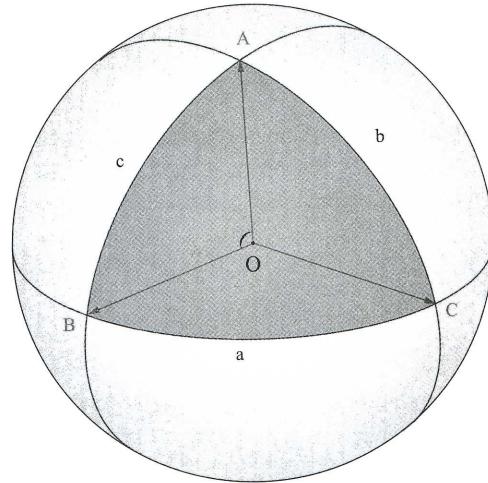
$$1 \text{ (rad)} = \frac{180}{\pi} \text{ (°)} \approx 57.3^\circ = 206265''$$

需要注意的是，不要把角分(')、角秒('')和“弧分”、“弧秒”弄混， $1^\circ = 60' = 3600''$ ，而 $1 \text{ (rad)} = 60$ 弧分=3600弧秒。在天文学上，一般只用弧度、角度、角分、角秒，不用弧分、弧秒。

3. 半径为 $R$ 的球的表面积： $S = 4\pi R^2$

4. 球面三角基本公式。球面三角形是球面上的三个大圆弧所围成三角形，这三个大圆弧叫做球面三角形的边，通常用小写拉丁字母 $a, b, c$ 表示；三个大圆弧所构成的角叫做球面三角形的角，通常用大写字母 $A, B, C$ 表示，并且规定： $A$ 角和 $a$ 边相对， $B$ 角和 $b$ 边相对， $C$ 角和 $c$ 边相对。

球面三角形的基本性质：两边之和大于第三边，两边之差小于第三边。三边之和大于0°而小于360°，三角之和大于180°而小于540°。球面三角形的基本公式：



1) 边的余弦公式：

$$\cos a = \cos b \cdot \cos c + \sin b \cdot \sin c \cdot \cos A$$

2) 角的余弦公式：

$$\cos A = -\cos B \cdot \cos C + \sin B \cdot \sin C \cdot \cos a$$

3) 正弦公式：

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C}$$

5. 恒星时的估算。每年秋分日（9月23日左右）地方时0时，地方恒星时与地方平太阳时相等： $s = t$ 。恒星日每天比平太阳日短： $24^h / 366.2 = 3^m 56^s$ ，因此恒星时相对于平太阳时大致为每两个月提前（短）2小时。

6. 北天极的地平高度=观测地的地理纬度

7. 天体赤经与恒星时的关系：

$$s = \alpha + t$$

其中 $s$ 为观测地的地方恒星时， $\alpha$ 为天体的赤经， $t$ 为天体的时角，以子午圈（即南北圈）为起点、自东向西起量，其值为0~24小时。春分点的时角就是恒星时。

8. 求地方时。地方时是地球上不同经度处的当地时间，由于地球自西向东自转，经度每隔15°，地方时相差1小时，即每4分钟相差1°。计算公式为：

$$t_1 = t_0 \pm \Delta\lambda \times 4$$

其中 $t_1$ 为待求地点的地方时、 $t_0$ 为已知地方的地方时， $\Delta\lambda$ 为两地的经度差，时间以分钟为单位，经度以度为单位。如果所求地在东边，取“+”号，所求地在西边则取“-”号（东加西减）。

9. 求区时。各时区统一使用本时区中央经线的地方时作为全区共同使用的时间，称为“区时”。理论上全球划分成24个时区，经度每隔 $15^\circ$ 划为一个时区，我国处于东八区。相邻两时区的区时相差1小时，东早西晚。求区时的公式：

$$\text{所求区时} = \text{已知区时} \pm \text{时区差} (\text{东加西减})$$

10. 天体的出没。赤纬为 $\delta$ 的天体，落山时的时角通过下式计算：

$$\cos t_{\text{落山}} = -\tan \phi \cdot \tan \delta$$

其中 $t_{\text{落山}}$ 为天体落山时的时角，在这里它的单位以 $^h$ （或弧度）表示，需要根据“1小时 $\sim 15^\circ$ ”换算成时间， $\phi$ 为观测地的纬度。

天体升起时的时角为： $t_{\text{升起}} = 24^h - t_{\text{落山}}$ ，天体上中天时的时角为 $0^h$ ，可以很容易地求出天体在一日内位于地平线之上的时间（就是它从上中天到落山的时间的两倍，即 $2t$ ）。

天体落山时的方位角 $A$ 满足以下关系：

$$\cos A = -\frac{\sin \delta}{\cos \phi}$$

这里的方位角 $A$ 为从南点向西起量，有些书上定义的方位角的起算点和起量方向与这里不同，应用时要注意区分。

已知天体的地平高度 $h$ 、方位角 $A$ ，可以用以下公式求它的时角：

$$\sin t = \frac{\sin A \cdot \cos h}{\cos \delta}$$

用下式计算它的赤纬：

$$\sin \delta = \sin \phi \cdot \sin h - \cos \phi \cdot \cos h \cdot \cos A$$

由于反三角函数都是多值函数，利用公式求得的数值要根据天体所在天球上的位置进行取舍，以得到同时满足以上两个式子的唯一解。

11. 天体的中天。天体上中天时：时角 $t = 0^h$ ，天体下中天时， $t = 12^h$ 。天体的地平高度 $h$ 定义为以地平圈为起点向南北起量的角度，当天体位于地平以上时， $h > 0$ ，当天体位于地平以下时， $h < 0$ 。

天体上中天时的地平高度为：

$$h = 90^\circ - |\phi - \delta| \quad \dots \dots (1)$$

$\delta$ 为天体的赤纬， $\phi$ 为观测地的纬度，二者都是北半球取正值，南半球取负值。

以北半为例，当 $\delta < \phi$ 时，天体在天顶以南上中天， $|\phi - \delta| = \phi - \delta$ ，它上中天时的地平高化为：

$$h = 90^\circ - \phi + \delta$$

当 $\delta > \phi$ 时，天体在天顶以北上中天， $|\phi - \delta| = \delta - \phi$ ，它上中天时的地平高度化为：

$$h = 90^\circ + \phi - \delta$$

天体永不上升的条件为 $h \leq 0$ ，在北半球永不上升的天体不可能在天顶以南上中天，因此永不上升的天体的赤纬满足下式：

$$\delta \leq \phi - 90^\circ$$

天体下中天时的地平高度为：

$$h = |\delta + \phi| - 90^\circ$$

……(2)

对赤纬很偏南的天体，同样也分在“天底”的北边还是南边下中天，不管哪边，上式都适用。当 $h > 0$ 时，该天体就是永不落的，即：

$$\delta > 90^\circ - \phi$$

对于南半球，(1)和(2)仍然成立，只是注意，南半球的纬度 $\phi$ 要用负值代入这两个式子，永不上升和永不落天体的范围仍然可用这两个公式推出。

12. 太阳的黄经。太阳永远位于黄道面上，黄纬总是 $0^\circ$ ，它的(中心的)黄经( $\lambda$ )可用下式求得：

$$\sin \lambda = \frac{\sin \delta}{\sin \epsilon}$$

其中 $\delta$ 为它的赤纬、 $\epsilon$ 为黄赤交角。

13. 太阳的赤经和赤纬。包括太阳在内的所有黄道上的天体，赤纬的变化范围都在 $\pm \epsilon$ 之间，而且赤经 $\alpha$ 、赤纬 $\delta$ 的值满足：

$$\tan \delta = \sin \alpha \cdot \tan \epsilon$$

14. 目视望远镜的极限星等。人眼瞳孔的最大直径约为6毫米，极限星等约为6等，据此可以估算光学望远镜的目视极限星等为：

$$m_l \approx 6 + 2.5 \lg \left( \frac{D}{6} \right)^2 = 2.1 + 5 \lg D$$

其中 $D$ 为望远镜的口径，以mm为单位。

15. 望远镜的分辨角，即它能分辨开的两点的最小角距：

$$\delta = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

式中 $\lambda$ 为天体入射光的波长， $D$ 为望远镜的口径，当 $\lambda$ 与 $D$ 取相同的单位时， $\delta$ 的单位为弧度。若将 $\delta$ 的单位改为角秒，因为1弧度 $= 206265$ 角秒，并取观测波长为人眼最敏感的波长： $\lambda = 555\text{nm}$ ，则：

$$\delta ('') = 140/D, \quad D \text{的单位为毫米}$$



16. 底片比例尺。对于焦距为 $F$ (单位为mm)的望远镜，其焦面上的线尺寸 $l$ 与对应的天空张角 $\alpha$ 之间的关系为： $l = F \times \tan \alpha$ 。当 $\alpha$ 较小时， $\tan \alpha \approx \alpha$ ， $l = F \times \alpha$ ，当 $F$ 取毫米作单位，并用将 $\alpha$ 由弧度(rad)换算为角秒： $\alpha(\text{rad}) = 206265\alpha(\text{"})$ ，可得到望远镜的底片比例尺 $S$ (即在望远镜焦平面处每毫米对应于天球上的角秒数)为：

$$S = \frac{\alpha}{l} = \frac{206265}{F} (\text{"}/\text{mm})$$

可见望远镜的底片比例尺与其口径大小无关，仅仅取决于它的焦距。

17. 目视望远镜的放大倍数：

$$\omega = \frac{F}{f}$$

其中 $F$ 为物镜焦距， $f$ 为目镜焦距。

18. 目视望远镜的视场的直径为：

$$\omega(\text{角分}) = 15 \times t \times \cos \delta$$

式中 $\delta$ 为通过视场的天体的赤纬， $t$ 为该天体通过视场直径的时间，以分钟为单位。

19. 薄透镜成像公式：

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F}$$

其中 $u$ 为物距、 $d$ 为像距、 $F$ 为望远镜物镜焦距。拍摄天体时， $u$ 为无穷大。

20. 天体像的线大小。角直径为 $\theta$ (弧度)的天体，在焦距为 $f$ 的望远镜的焦平面上所成像的线大小为：

$$x = f \cdot \tan \theta \approx f \cdot \theta$$

即天体的像的线大小正比于望远镜焦距。

21. 天体的像的亮度。望远镜口径 $D$ 越大，集光能力越强，因此同等曝光时间下所成的像越亮。另外，望远镜焦距 $f$ 越长，所成的像越大，则亮度越分散，单位面积上的亮度越低，因此望远镜所成的像的亮度：

$$B \propto \left(\frac{D}{f}\right)^2$$

通常把 $f/D$ 称为焦比，所以像的亮度反比于焦比的平方。

22. 大气折射。大气折射效应会使天顶距的测量值( $Z_m$ )与实际的天顶距( $Z_t$ )相比有所减小，减小的值为 $\Delta$ (以角秒为单位)：

$$Z_t(\text{真天顶距}) = Z_m(\text{视天顶距}) + \Delta$$

其中天顶距( $Z$ )的定义是从天体到观测者的天顶的角距离(在天顶时 $Z = 0^\circ$ ，在地平时 $Z = 90^\circ$ )。大气折射在地平附近的折射角是 $\Delta \approx 35'$ ，例如，大气折射使得太阳在地平面附近的视地平高度比真地平高度高 $35'$ 。

大气折射使得在同一个地平经圈上的(两个比较接近的)天体在地平纬圈方向上的间距缩短，也使得同一地平纬圈上的(两个比较接近的)天体的水平距离缩短。当视天顶距 $Z_m$ 较小时( $Z_m < 20^\circ$ )，可用以下公式近似计算大气折射角：

$$\Delta (\text{"}) \approx 60.2'' \times \tan Z_m$$

23. 大气消光。随着夜晚时间的不同，恒星在不同的天顶距被观测到，因此星光穿过不同厚度的地球大气，由地球大气产生的消光(extinction)也在发生变化。消光在恒星最接近天顶时最小，当恒星升起或落下的时候最大。大气消光的公式为：

$$m(z) = m_0 + k \cdot F(z)$$

式中 $m(z)$ 为天体在天顶距 $z$ 处的大气内星等， $m_0$ 为天体的大气外星等， $k$ 为消光因子， $F(z)$ 即为大气质量(为天顶距等于 $z$ 的方向上大气光学厚度和天顶方向大气光学厚度之比)。根据不同 $z$ 处测得的 $m(z)$ ，通过作图( $z \sim m(z)$ 图)即可求出观测时刻的消光系数 $k$ ( $z \sim m(z)$ 图中的斜率)、天体的真实星等 $m_0$ ( $z \sim m(z)$ 图中的截距)。

24. 光行差。光行差本质是由于光速有限以及光源与观察者存在相对运动造成的，类似于运动中的雨滴：下雨的时候，站在原地不动的人感觉到雨滴是从正上方落下的，而向前走的人感觉雨滴是从前方倾斜落下的，因此需要把伞微微向前倾斜。走得越快，需要倾斜得越厉害。光行差的成因与此相似，只不过不符合经典的速度叠加法则，而需要考虑相对论效应带来的修正。当观测者的速度远小于光速时，产生的光行差可以用下面的公式近似计算：

$$\alpha = \frac{v}{c} \times \sin \theta$$

$v$ 为观测者的运动速度， $\theta$ 为观测者的运动方向与天体实际方向的夹角， $\alpha$ 为天体的视方向与实际方向的角度差，单位为弧度。

25. 第一宇宙速度：又称环绕速度，是成为天体的卫星所需要的最低速度，计算公式为：

$$v_1 = \sqrt{\frac{GM + m}{R}}$$

$M$ 为天体的质量， $R$ 为天体的半径， $m$ 为飞行器的质量。

26. 第二宇宙速度：又称逃逸速度，是飞行器逃离天体表面所需要的最低速度，计算公式为：

$$v_2 = \sqrt{2}v_1 = \sqrt{\frac{2G(M + m)}{R}}$$

27. 会合周期计算公式:

$$\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} = \frac{1}{P}$$

其中 $T_1$ 为离太阳较近的那颗行星的公转周期,  $T_2$ 为离太阳较远的那颗行星的公转周期,  $P$ 为两颗行星的会合周期。

28. 行星上的日长(一昼夜的长度)。行星上的一昼夜(太阳两次经过行星上某观测地的子午线的时间间隔),就是它的自转周期与公转周期的会合周期:

$$T = \frac{T_z \cdot T_g}{T_g - T_z}$$

其中 $T$ 为行星日长,  $T_z$ 是自转周期,  $T_g$ 为公转周期。

29. 活力公式。利用活力公式可以方便地解决二体问题,活力公式是反映天体的位置、速度和轨道半长径之间关系的公式,可以写作:

$$v^2 = \mu \left( \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)$$

式中 $v$ 和 $r$ 为一个天体相对于另一个天体的速度和距离,  $\mu = G(M+m)$ ,  $G$ 为万有引力常数,  $M$ 和 $m$ 分别为两个天体的质量,  $a$ 为常数, 在椭圆轨道中表示半长径, 圆形轨道中表示半径。

30. 卫星公转周期的最小理论值(即卫星刚好贴着中央星体的表面飞行)为:

$$T_{min} = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$$

其中 $g$ 为中心天体的表面重力加速度,  $R$ 为中央星体的半径。对地球上的人造卫星而言,  $T_{min} = 84.5$ 分钟, 人造卫星的周期不可能比这个值短。

31. 万有引力定律。任何两质点间都存在着相互吸引力,其大小与两质点的质量乘积成正比,与两质点间的距离平方成反比,力的方向沿着两质点的连线,表示式为:

$$F = \frac{GMm}{R^2}$$

$G$ 为万有引力常数, 大小为 $6.67 \times 10^{-11}$ 牛顿·米<sup>2</sup>/千克<sup>2</sup>。

32. 开普勒第二定律。行星与太阳的连线(矢径)在相等的时间内扫过相等的面积:

$$v \cdot r \cdot \sin \theta = \text{常数}$$

$r$ 为从太阳一行星的距离, 它是一个随时间变化的量, 公式中用的是某个时刻的值,  $\theta$ 为该时刻行星速度的方向与太阳一行星连线方向的夹角。

33. 开普勒第三定律:

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{G}{4\pi^2} \cdot (m_1 + m_2)$$

对于圆轨道,  $a$ 为两星间距, 对椭圆轨道,  $a$ 为半长径。如果 $a$ 以天文单位(AU)为单位,  $T$ 以回归年为单位,  $m$ 以太阳质量为单位, 上式化为:

$$\frac{a^3/1 \text{ AU}^3}{T^2/1 \text{ 年}^2} = \frac{m_1 + m_2}{1m_\odot}$$

注意, 对太阳系的行星而言, 上式右边等于1, 但是对中央恒星质量不等于 $1m_\odot$ 的系统, 右边就不等于1。例如, 假如太阳质量突然变成了现在的一半, 在对太阳系的行星使用开普勒第三定律时, 上式右边就应该等于 $1/2$ 。

34. 线速度与角速度的关系:

$$v = \omega \times d$$

其中 $v$ 为线速度, 单位为m/s,  $\omega$ 为角速度, 单位为弧度/秒,  $d$ 为坐标原点到速度方向的垂直距离, 单位为m。

35. 绕转某中心天体的卫星天体, 在其绕转的圆轨道内, 物质的平均密度最高, 此时卫星的周期满足:

$$T = \frac{2\pi r}{\sqrt{GM/r}} = \sqrt{\frac{3\pi}{\rho \cdot G}}$$

$r$ 为绕转半径,  $\rho$ 为卫星轨道内的物质密度。

36. 天体的视差。当天体的视差(常用 $\pi$ 表示)为 $1''$ 时, 其距离即为1秒差距(1 pc), 反过来说, 当一颗恒星距离我们为1秒差距时, 从它上面看来, 地球与太阳的角距离为 $1''$ , 即天体的视差 $\pi$ 已知时, 其以秒差距为单位的距离为:

$$d(\text{pc}) = \frac{1}{\pi(\text{''})}$$

1秒差距=3.2616光年=206265天文单位=308568亿千米。秒差距因为数值巨大, 所以通常只用在太阳系以外。

37. 视星等的定义:

$$m \sim -2.5 \lg F$$

其中 $F$ 为接收到的天体辐射流量, 即亮度, 单位为J/s/m<sup>2</sup>。这里不用等号是因为实际测量星等时, 还需要进行零点改正, 不同星等系统的零点改正不一样。所以视星等的定义也常写为:  $m = -2.5 \lg F + C$ , 这里的 $C$ 即为零点常数。

两个天体的星等差为:

$$m_1 - m_2 = -2.5 \lg \frac{F_1}{F_2}$$

其中 $F_1$ 、 $F_2$ 分别为地球上接收到的这两个天体的辐射流量, 单位为J/s/m<sup>2</sup>。

38. 绝对星等的定义: 天体在10pc处的视星等, 反映天体的真实发光本领:

$$M \sim -2.5 \lg L$$

$L$ 为天体的光度，即这个天体每秒钟内发出的总能量，单位为焦耳/秒 (J/s)。

39. 亮度与光度的关系。在地球上观测一个天体，所测量到的它的亮度 $F$ （即在地球上的单位面积、单位时间内接收到的该天体辐射能量）与光度 $L$ 的关系为：

$$F = \frac{L}{4\pi d^2}$$

$d$ 为该天体到观测者的距离，单位为米。

40. 距离模数公式。视星等 $m$ 和绝对星等 $M$ 之间有以下关系：

$$m - M = 5 \lg r - 5$$

式中 $r$ 为天体到地球的距离，以秒差距为单位， $m - M$ 称为距离模数，求出了距离模数也就知道了天体的距离。

41. 斯特藩—玻尔兹曼公式。一个黑体在单位时间、单位面积上发出的总能量 $E$ 正比于温度的4次方：

$$E = \sigma \cdot T^4$$

其中的比例常数 $\sigma = 5.7 \times 10^{-5} \text{ erg}/(\text{cm}^2 \text{K}^4 \text{s})$ 。所以对于一颗半径为 $R$ 的球状恒星，它的光度为：

$$L = 4\pi R^2 \cdot \sigma \cdot T^4$$

恒星一般不是严格的黑体，因此上式中的 $T$ 代表的是恒星的有效温度。

42. 维恩位移定律。黑体辐射，在任何频率上较热的黑体都比较冷的黑体发出更多辐射，而且满足维恩位移定律：

$$\lambda_{max} \times T = 0.29 \text{ cm} \cdot \text{K}$$

其中 $\lambda_{max}$ 为黑体辐射谱的峰值波长，单位为cm， $T$ 为黑体的温度，单位为K。

43. 恒星寿命。恒星寿命 $t$ 正比于总产生能量除以单位时间损失的能量。总产生的能量正比于恒星的质量，而单位时间损失的能量就是光度，如果取质光关系为 $L \propto M^{3.5}$ ，于是有：

$$t \propto \frac{M}{L} \approx M^{-2.5}$$

44. 爱因斯坦质能方程：

$$E = mc^2$$

$m$ 为质量， $c$ 为光速。

45. 黑洞的史瓦西半径（非旋转黑洞的视界半径）：

$$R = \frac{2GM}{c^2}$$

黑洞的温度：

$$T = \frac{hc^3}{8\pi kGM}$$

其中 $R$ 为黑洞半径， $h$ 为普朗克常数， $c$ 为光速， $k$ 为玻尔兹曼常数， $G$ 为引力常数， $M$ 为黑洞质量。从公式中我们可以得知，黑洞温度与质量成反比。

46. 光子的能量：

$$E = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$$

$h$ 为普朗克常数， $E$ 为能量， $\nu$ 为光子的频率， $\lambda$ 为光子的波长。

47. 光线的引力弯曲。按照爱因斯坦的计算，光线在对于一个质量为 $M$ 的天体距离为 $b$ 处通过时，偏转角 $\theta$ （弧度）由下式给出：

$$\theta = \frac{4GM}{bc^2}$$

例如，对太阳引起的在其表面（ $b$ 取为太阳半径）掠过的光线的弯曲角度为1.74角秒。

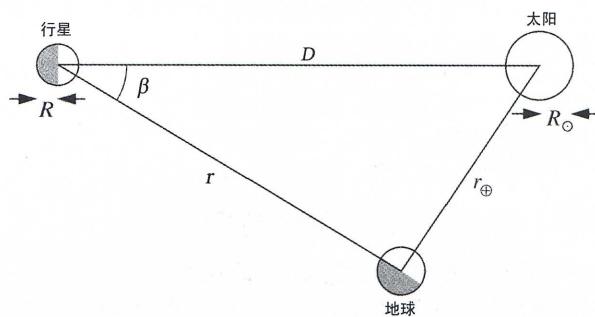
48. 行星的温度。行星的表面温度 $(T_e)$ 正比于太阳光度 $(L_\odot)$ ，反比于它到太阳的距离的平方 $(D_\odot^2)$ ，考虑到（黑体）辐射是与 $T_e^4$ 成正比的，于是有：

$$T_e \propto \sqrt[4]{\frac{L_\odot}{D_\odot^2}}$$

假设行星的反照率和辐射不随波长发生变化，那么它达到热平衡时的温度的精确表达式为：

$$T_e = \sqrt[4]{\frac{L_\odot(1-\alpha)}{16\pi D^2 \sigma e}} \approx T_\odot \left( \frac{1-\alpha}{4} \right)^{1/4} \left( \frac{R_\odot}{D} \right)^{1/2}$$

其中 $\alpha$ 为反照率， $e$ 为发射率（表征行星向外辐射的大小，范围从0~1，如果把行星视为黑体，则 $e = 1$ ）、 $D$ 为行星到太阳的距离， $T_\odot$ 为太阳的有效温度， $R_\odot$ 为太阳的半径。如果把它和太阳相比，有如上的近似关系（因为由于行星大气的存在，行星的辐射通常难以精确计算）。



49. 行星的视星等。如图所示，在地球上观测其他行星或小行星，它的视亮度为：

$$F_e = \alpha \cdot \Phi(\beta) \cdot R^2 \cdot \frac{1}{r^2} \cdot \frac{L_\odot}{4\pi D^2}$$

其中 $\alpha$ 为该行星的表面反照率， $\Phi(\beta)$ 是表示该行星相位的归一化函数，当 $\beta = 0^\circ$ 时（即行星冲日附近）， $\Phi(\beta = 0^\circ) = 1$ ，当 $\beta = 180^\circ$ 时（即行星下合）， $\Phi(\beta = 180^\circ) = 0$ 。更一般地，对一个表面均匀、光滑的镜面球形反射体：

$$\begin{aligned}\Phi(\beta) &= \cos \alpha, \text{ 当 } 0 \leq \alpha \leq 90^\circ \\ \Phi(\beta) &= 0, \text{ 当 } \alpha = \text{其他数值}\end{aligned}$$

要求行星的视星等，通常可以根据上式，把它和已知视星等的天体（例如太阳、月亮、大行星等）作比较，然后根据 $m_1 - m_2 = -2.5 \lg(F_1/F_2)$ 求解。

50. 对理想气体，其压强为：

$$P = nkT$$

其中 $T$ 为气体温度， $k$ 为玻尔兹曼常数， $n$ 为物质的量（摩尔数）。如果把行星的大气近似地看作理想气体，上式可以写为：

$$P = \frac{\rho}{m} kT$$

这里的 $\rho$ 为大气的平均密度， $m$ 为单个大气分子的平均质量，对地球大气而言，约为29倍质子质量。

51. 摩尔质量、分子量与分子质量。分子量的规范名称为“相对分子质量”（同样，原子量的规范名称为“相对原子质量”），是物质分子或特定单元的平均质量与核素碳12（原子量为12的碳原子）原子质量的 $1/12$ 之比，等于分子中原子的原子量之和。如二氧化硫( $\text{SO}_2$ )分子量为64.06，即为一个硫原子和两个氧原子的原子量之和。定义中的“特定单元”，主要是指空气等组成成分基本不变的特殊混合物，它们的相对质量可根据其组成成分( $\text{N}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{Ar}$ 等)的相对分子质量和其在空气中的体积分数计算其平均质量，然后与 $^{12}\text{C}$ 原子质量的 $1/12$ 相比获得。

摩尔质量即1摩尔该物质的质量，它和分子量（或原子量）在数值上是相同的，但是单位不同，表示的意义也不同。摩尔质量的单位是克/摩尔(g/mol)，分子量（还有原子量）是个无量纲的量。例如氧原子(O)的相对原子质量为16，1摩尔氧原子的质量就是16g，每个氧原子的真正质量就是 $16/N_A$ 克， $N_A$ 为阿伏加德罗常数。

52. 阿伏加德罗定律：同温( $T$ )、同压( $P$ )、同体积( $V$ )的气体含有相同的分子数( $n$ )。也就是说：

1) 同温同压下， $V_1/V_2 = n_1/n_2$

2) 同温同体积时， $P_1/P_2 = n_1/n_2$

3) 同温同压等质量时， $V_1/V_2 = M_2/M_1$

4) 同温同压同体积时， $M_1/M_2 = \rho_1/\rho_2$

其中 $M$ 为气体的质量、 $\rho$ 为密度。

53. 理想气体状态方程（克拉伯龙方程）：

$$PV = nRT$$

其中 $P$ 为压强、 $V$ 为气体体积、 $n$ 为物质的量（单位为摩尔）、 $T$ 为绝对温度、 $R$ 为气体常数，对所有气体均相同，如果压强、温度和体积都采用国际单位(SI)， $R = 8.31\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{mol}\cdot\text{K}$ 。

54. 分子的平均热运动速度。根据气体动力学理论，气体分子的平均热运动速度( $\bar{v}$ )由气体温度( $T$ )和分子质量( $m$ )决定：

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

其中 $k$ 为玻尔兹曼常数。行星大气的热运动速度如果高于逃逸速度（第二宇宙速度），就会消散到太空中去。

55. 计算太阳黑子沃尔夫数( $W$ )的公式为：

$$W = k(10g + f)$$

其中 $g$ 为黑子群数， $f$ 是每群中的黑子数， $k$ 是定标常数，根据观测者的不同可取不同的值，一般可取为1。

56. 月球（或太阳）的引力对地球表面产生的潮汐加速度 $a_T$ （相对于地心）等于地球距离月球（或太阳）的最近点和地心点的引力加速度之差：

$$a_T = \frac{Gm}{(d-R)^2} - \frac{Gm}{d^2} \approx \frac{2GmR}{d^3}$$

此处 $m$ 为月球（或太阳）质量， $d$ 为地月（或日地）距离， $R$ 为地球半径。由于地球的半径与地月距离相比是小量，因此有以上近似。

对于背向月亮（或太阳）的地球表面上的点，月球（或太阳）与地心对它的引力加速度之差为：

$$a_T = \frac{Gm}{(d+R)^2} - \frac{Gm}{d^2} \approx -\frac{2GmR}{d^3}$$

这里的负号表示背着月球（或太阳）所在的方向，意即此处的海水所受的引力加速度之和要比正常时候的值小，因此这里的海平面也会（相对于正常海平面）隆起，形成潮汐。

57. 哈勃定律。河外星系退行速度满足哈勃定律：

$$v = H_0 \cdot r$$

$v$ 是星系退行的速度， $H_0$ 是哈勃常数，当前的估算值为：72km/s/Mpc， $r$ 是天体的距离。哈勃定律有着广泛的应用，它是测量遥远星系距离的唯一有效方法。只要测出星系谱线的红移，再换算出退行速度，便可由哈勃定律算出该星系的距离。

值得注意的是，哈勃定律中的速度和距离不是直接可以观测的量。天文学上直接观测到的物理量是红移和视星等，因此只有“红移-视星等”关系才是最准确的。在此基础上再加上一些假设，才可得到像哈勃定律这样的“距离-速度”关系：哈勃在1929年得到哈勃定律时，把观测到的红移归因于多普勒效应，并根据 $v = cz$ 计算出各个星系的“退行速度”，

至于公式里的距离，则是通过星系里的造父变星的周光关系得到的。

因为 $v = cz$ 只在天体红移很小时适用，所以哈勃定律也只是红移很小时的一个近似公式，一般只在 $z < 0.1$ 的情况下适用，对更大的红移，只能通过更加复杂的距离—红移关系（由标准宇宙学模型给出，超出了中学数学的范围）来推算星系的距离。不过由于 $z$ 较大时，距离—红移关系非常复杂，因此在天文奥赛中也常常出现用哈勃定律求红移较大的河外星系的距离的情况，具体做法是用相对论性多普勒效应公式求出 $v$ ，然后代入哈勃定律求距离，虽然并不严谨，但这也是中学阶段不得已而为之的一个简单做法。

### 58. 关于红移的公式：

红移指物体的电磁辐射由于某种原因而波长增加的现象，在可见光波段，表现为光谱的谱线朝红端移动了一段距离，即波长变长、频率降低。相反的，波长变短、频率升高的现象则被称为蓝移。红移定义为：

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$$

这里的 $\lambda_0$ 为实验室波长（即静止波长）， $\lambda$ 为观测到的波长。天文学上的红移包括三类：

\*多普勒红移：天体和观察者之间的相对运动可以导致红移，与此相对应的红移称为多普勒红移，是由多普勒效应引起的。非相对论条件（相对运动速度 $v \ll c$ ）下的多普勒红移公式为：

$$z = \frac{v}{c}$$

当 $v$ 很大时（或 $z > 0.1$ 时），需要考虑相对论效应：

$$z = \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} - 1$$

\*引力红移：根据广义相对论，光从引力场中发射出来时也会发生红移的现象。这种红移称为引力红移。如果一个光子从距离质量为 $M$ 的天体的引力中心 $r_1$ 处运行到 $r_2$ 处，由于天体引力而导致这个光子的波长由 $\lambda_1$ 变成了 $\lambda_2$ ，它们的关系为：

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \sqrt{\frac{1 - \frac{2GM}{r_2c^2}}{1 - \frac{2GM}{r_1c^2}}} \Rightarrow z = \sqrt{\frac{1 - \frac{2GM}{r_2c^2}}{1 - \frac{2GM}{r_1c^2}}} - 1$$

如果测量者在无穷远处，即 $r_2 = \infty$ ，这时该天体发出的光线的引力红移为：

$$z = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{2GM}{r_1c^2}}} - 1$$

当红移 $z \ll 1$ 时（即天体质量较小时），上面的公式可以近似为：

$$z = -\frac{\Delta E}{E} = \frac{GM}{r_1c^2}$$

注意，这里的 $r_1$ 不是测量者离天体的距离，而是天体（例如类星体、太阳等）发出的光子到天体引力中心的距离， $r_2$ 才是测量者离天体（引力中心）的距离。

\*宇宙学红移：由于宇宙空间在膨胀，使天体发出的光波被拉长，谱线因此“变红”，这称为宇宙学红移。这与多普勒效应所描述的因速度增加所产生的红移不同，这种效应在现代的宇宙论模型中被解释为观测到的与时间相关联的宇宙尺度因子( $R$ )的变化：

$$1 + z = R_{\text{现在}} / R_{\text{过去}}$$

通常引力红移都比较小，只有在白矮星、中子星或者黑洞等强引力场周围这一效应才会比较大，而宇宙学红移只对遥远的星系比较显著。不过在星系随着空间膨胀远离我们的时候，由于其自身的运动，在宇宙学红移中也会掺杂进多普勒红移。

这三类红移可能同时起作用。如果我们的望远镜非常灵敏，能够看见遥远星系中的白矮星的话，那么白矮星发出的光线的红移将是多普勒红移、宇宙学红移和引力红移的联合效果。容易证明，总红移与这三类红移之间的关系式为：

$$1 + z = (1 + z_1)(1 + z_2)(1 + z_3)$$

59. 位力定理。对一个达到平衡状态的引力束缚系统（例如星团、星系、星系团等），有以下公式：

$$2 < K > + < U > = 0$$

其中 $< K >$ 为这个系统的总动能（或平均动能）、 $< U >$ 为总势能（或平均势能）。位力定理适用于已有充分长的时间达到引力平衡的系统。不过像双星那样的简单系统也服从这个定理。如果双星的轨道是圆形的，那么在任一个位置均有： $K = -U/2$ 。如果双星的轨道是椭圆， $K$ 、 $U$ 的值不断变化，但总能量 $E = K + U = U/2$ 是定值。

应用位力定理测量星系的质量：星系的总引力势能与它的质量 $M$ 和半径 $R$ 有关： $U = -\alpha \cdot GM^2/R$ ，参数 $\alpha$ 与星系的几何结构有关，可以通过统计分析得出；星系的总动能则满足： $T = \beta \cdot M$ ，参数 $\beta$ 反映星系内部恒星的运动速度的取值情况，可以通过观测获得，因此星系的质量为：

$$M = \frac{2\beta \cdot R}{\alpha \cdot G}$$

### 60. 双星系统的常用公式：

主星与伴星半径分别记为1、2。双星质心和两星间距公式（圆轨道双星应用较多）：

$$m_1 \times r_1 = m_2 \times r_2, \text{ 两星间距 } r = r_1 + r_2$$

$m_{1,2}$ 为质量， $r_{1,2}$ 为到质心的距离。

对食双星，当两星没有相互遮掩时，观测到的总亮度为两星的亮度和：

$$F_0 = F_1 + F_2$$

当主星掩伴星时，总亮度为：

$$F_{12} = F_1$$

伴星掩主星时，总亮度为：

$$F_{21} = F_2 + F_1 - \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 \times F_1$$

在质心参考系中：

$$m_1 v_1 = m_2 v_2$$

$v_{1,2}$ 为子星相对于质心的运动速度。

61. 双星系统的总能量。双星系统的总能量指两个子星的动能和它们的引力势能（当两星相距无穷远时势能定义为零）的和，在质心参考系中：

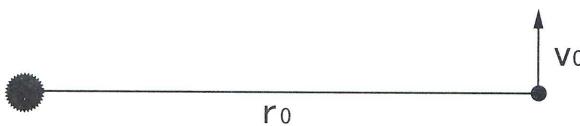
$$E = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 - \frac{G m_1 m_2}{r}$$

其中 $v_1$ 、 $v_2$ 分别为子星1、子星2相对于质心的运动速度， $r$ 为两星的间距。在以子星1为椭圆焦点的参考系中，子星2的机械能为：

$$E = \frac{1}{2} m_2 v_{21}^2 - \frac{G m_1 m_2}{r}$$

其中 $v_{21}$ 为子星2相对于子星1的运动速度， $r$ 为两星间距。

特别地，对恒星—行星系统，由于行星质量远小于恒星质量，通常可以认为恒星位于行星轨道的焦点上。上式中的 $v_{21}$ 即行星相对于恒星（也就是质心）的速度，它的取值不同，行星所具有能量 $E$ 就不同，从而使得行星的轨道形状不同。设行星在距恒星 $r_0$ 处的速度为 $v_0$ ，而且 $v_0$ 的方向垂直于恒星—行星的连线（见下图）。



1) 当 $E = 0$ 时，行星的轨道为抛物线，即轨道偏心率 $e = 1$ 。此时行星到达无穷远时速度变为0，即刚好能逃出恒星的引力束缚， $v_0$ 的大小等于逃逸速度（即第二宇宙速度，记为 $v_e$ ）：

$$v_0 = v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r_0^2}}$$

2) 当 $E < 0$ 时，行星的运行轨道为椭圆或者圆，轨道偏心率 $e < 1$ ， $v_0 < v_e$ ，它不能脱离恒星的引力束缚，并且行星的机械能和轨道半长径 $a$ （对圆轨道为半径）有如下关系：

$$2a = -\frac{GMm}{E}$$

如果是圆轨道， $r_0 = a$ ，行星的运动速度的大小为常数，即环绕速度（第一宇宙速度，记为 $v_c$ ）：

$$v_0 = v_c = \sqrt{\frac{GM}{r_0}} = \frac{v_e}{\sqrt{2}}$$

如果是椭圆轨道，有 $v_c < v_0 < v_e$ 或者 $v_0 < v_c$ ：

$v_c < v_0 < v_e$ ： $r_0$ 为近星距，椭圆轨道在圆轨道之外

$v_0 < v_c$ ： $r_0$ 为远星距，椭圆轨道在圆轨道之内

3) 当 $E > 0$ 时，行星的轨道为双曲线，轨道偏心率 $e > 1$ ，它逃逸到无穷远处后速度仍大于0， $v_0 > v_e$ 。

## 62. 圆轨道双星常用公式：

向心力公式：

$$F = m \frac{v^2}{r} = m \omega^2 r = m \cdot \left(\frac{2\pi}{P}\right)^2 \cdot r$$

$P$ 为轨道周期。轨道速度（即公转速度）公式：

$$v_1 = \frac{2\pi r_1}{P}, v_2 = \frac{2\pi r_2}{P} \Rightarrow r_1 + r_2 = \frac{P}{2\pi} \times (v_1 + v_2)$$

如果考虑到双星系统的轨道面与视线方向的夹角 $i$ （ $i$ 通常指双星轨道面的法线与视线方向的夹角），则观测到的视向速度 $v_{1r,2r}$ 应为真实轨道速度 $v_{1,2}$ 的一个分量：

$$v_{1r,2r} = v_{1,2} \times \sin i$$

两颗子星的视向速度和它们的质量和之间的关系为：

$$\frac{P}{2\pi G} \cdot \frac{(v_{1r} + v_{2r})^3}{\sin^3 i} = m_1 + m_2$$

如果 $i$ 已知的话，再结合 $m_1 \cdot v_{1r} = m_2 \cdot v_{2r}$ 就可以求出两颗子星的质量。通常 $i$ 需要根据圆轨道的投影椭圆来确定，不过对于食双星， $i \approx 90^\circ$ 。

实际观测中，往往只能获得一颗子星的视向速度 $v_{1r}$ ，可推导出：

$$\frac{m_2^3 \times \sin^3 i}{(m_1 + m_2)^2} = v_{1r}^3 \times \frac{P}{2\pi G}$$

上式左端称为双星的“质量函数”，它就是我们通过测量视向速度所能求出的量。

圆轨道运行的恒星的视向速度曲线（即视向速度随时间变化的图像）为正弦曲线，但椭圆轨道不是，曲线的形状与观测者视线方向和双星轨道之间的相对位置有关。

## 63. 椭圆轨道双星常用公式：

在椭圆轨道系统中，两颗子星绕着公共质心做椭圆运动，同时在子星1看来，它也在绕子星2做椭圆运动（子星2位于椭圆的一个焦点上，这个轨道与绕质心的椭圆轨道不同），同样，在子星2看来，它也在绕子星1做椭圆运动，子星1位于椭圆的一个焦点上。 $e$ 为偏心率， $a$ 为半长轴， $b$ 为半短轴， $r$ 为子星到轨道焦点的距离，有：

$$e = c/a, a^2 = b^2 + c^2, b^2 = a^2(1 - e^2)$$

$$r_{\text{远}} = a(1 + e), r_{\text{近}} = a(1 - e), r = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \times \cos \theta}$$

$$\frac{v_{\text{近}}}{v_{\text{远}}} = \frac{1 + e}{1 - e}, v^2 = G(m_1 + m_2) \left( \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)$$

椭圆的总面积:

$$S = \pi ab = \pi \sqrt{a^2(1 - e^2)}$$

椭圆周长:

$$L = 2\pi b + 4(a - b)$$

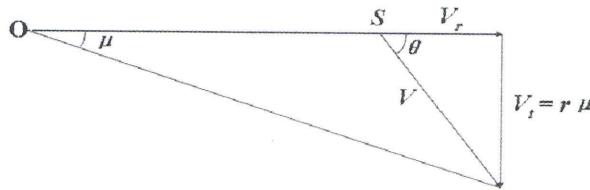
64. 造父变星的周光关系。光变周期与绝对星等之间的关系:

$$M = a \lg P + b$$

其中  $P$  为造父变星的光变周期 (以天为单位),  $M$  为造父变星的平均绝对星等,  $a$  与  $b$  为根据周光关系图确定的常数。只要对某颗造父变星进行一段时间的监测, 便可以得知它的光变周期, 并由周光关系确定它的平均绝对星等  $M$ , 再由距离模数  $m - M = 5 \lg r - 5$  便可以推算出造父变星的距离  $r$ 。

#### 65. 星团视差。

天文观测所能取得的天体的运动学资料有两类, 即视向速度和自行, 其中视向速度  $V_r$  为线速度, 自行  $\mu$  是角速度。但是, 由于天体空间运动方向的随意性, 对同一天体所测得的线速度  $V_r$  与角速度  $\mu$  并不互相对应, 它们不具有可比性, 即  $V_r \neq r\mu$ 。通常情况下恒星空间运动速度  $V$  的方向与观测者视线方向 (即视向速度  $V_r$  所在方向) 的夹角  $\theta$  是未知的, 因而无法利用  $V_r$ 、 $\mu$  和距离  $r$  之间必然满足的简单几何关系  $r\mu = V_r \tan \theta$  来确定天体的距离。



唯一的例外是利用移动星团——这是离地球相当近的一种疏散星团, 距离不超过200秒差距, 这一特点使得可以利用对团内恒星的视向速度和自行资料的分析来确定  $\theta$  角, 于是就能推算出星团以至团内每一颗成员星的速度距离。取自行  $\mu$  的单位为“角秒/年”, 距离  $r$  的单位为“角秒”, 视向速度的单位为“km/s”则  $r\mu = V_r \tan \theta$  可以化为:

$$r'' = 4.74 \frac{\mu}{V_r \tan \theta}$$

$r$  为星团成员星的视差, 单位为角秒;  $V_r$  为该星的视向速度, 单位为 km/s;  $\mu$  为该恒星的自行, 单位为角秒/年;  $\theta$  为该恒星与星团的“向点”之间的角距离。所谓“向点”, 是指当我们分析移动星团中的所有成员星的自行时, 会发现它们的延长线大致交于一点, 这点即为移动星团的向点。

66. 统计视差。如果对银河系中一大批不属于任何恒星集团的所谓“场星”, 测得了它们的视向速度和自行, 因为这些恒星的运动速度在大小和方向上的分布是随机的, 那么可以合理地认为全部恒星的平均视向速度  $\bar{V}_r$  (线速度) 和平均

自行的任意一个分量  $\bar{\mu}$  (角速度) 具有可比性, 即有:

$$\bar{V}_r = \bar{r} \cdot \bar{\mu}$$

并能由此估算所有这些恒星的平均距离  $\bar{r}$ 。

67. 半衰期: 放射性元素的原子核有半数发生衰变时所需要的时间, 叫半衰期。原子核的衰变规律是:

$$N = N_0 \times \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T}$$

其中  $N_0$  是指初始时刻 ( $t = 0$ ) 时的原子核数,  $t$  为衰变时间,  $T$  为半衰期,  $N$  是衰变后留下的原子核数。天文学上常用来测定天体的年龄。

68. 星团的年龄计算。星团赫罗图上光度最大的主序星 (即主序转向点处的恒星) 的年龄, 即为星团的年龄。恒星年龄可以根据质光关系估算。质光关系一般会作为已知条件给出, 大致为  $L \propto M^{3.5}$ 。恒星的寿命与质量成正比、与光度成反比:  $t \propto M/L$ , 再根据质光关系, 于是有:  $t \propto M^{-2.5}$ 。

#### 69. 常用的数据:

人眼的极限分辨率  $\theta = 1'$  (有的书上也取为  $2'$ )

人眼能清晰看清视场区域对应的双眼 (视觉) 大约是横向35度、纵向20度。算上周围较模糊的区域, 大致为横向100度、纵向60度。

满月的亮度是-12.6等, 金星最亮时可达-4.4等。火星大冲时亮度可达-2.9等。木星冲日时最亮, 约为-2.9等。

地球轨道近似为圆轨道, 太阳每年沿着黄道运行一周, 运动速度为  $v = 360/365.2422 = 0.986^\circ/\text{天}$ 。

朔望月的平均长度为29.53天, 近点月的长度27.554天。

黄赤交角为  $23^\circ 27'$ , 黄白交角为  $5^\circ 09'$ 。

太阳的视星等为-26.8等, 绝对星等为4.8等。

日全食时, 月影在地表移动的速度等于月亮的公转线速度, 大致为:

$$v_M = 384000 \text{ km} \times 360^\circ / 27.32 \text{ 天} = 1.022 \text{ km/s}$$

周日视运动导致月球每小时在天空中自东向西移动  $15^\circ$ , 但每小时又逆向天空背景运动大约  $30'$ 。因此月球视运动的角速度为:

$$\omega = \frac{15^\circ - 30'}{3600 \text{ s}} = 14.5''/\text{s}$$

假设恒星均匀分布, 若观测的极限星等提高一等, 即原来能看到  $m$  等的恒星, 现在能看到  $m+1$  等的恒星, 现在看到的恒星数目是原来的  $10^{0.6}$  倍 (3.98倍)。

月面不是一个良好的反光体, 它的平均反照率只有7%, 其余93%均被月球吸收。月海的反照率更低, 约为6%。月面高地和环形山的反照率为17%。

全天的度数为:  $4\pi$  平方弧度 = 41253 平方度

# 常见天文学名词解释

## 以汉语拼音为序

### A

**矮星系 (dwarf galaxy)** 光度最弱的一类星系，其绝对星等为-8~-16等。有的矮星系是椭圆星系，也有的是I型不规则星系。这两种矮星系很小，成员星通常也不多，最多只包含几百万颗恒星。椭圆矮星系是椭圆星系中质量最小的星系，它们与球状星团很类似，二者的不同仅仅在于前者直径约为后者的10倍。在本星系群的40个星系中，就是20多个是椭圆矮星系。这种星系光度弱，所以在5万秒差距之外是看不到的。

**矮星 (dwarf star)** 原指本身光度较弱的星，现专指恒星光谱分类中光度级为V的星，即等同于主序星。光谱型为O、B、A的矮星称为蓝矮星（如织女一、天狼星），光谱型为F、G的矮星称为黄矮星（如太阳），光谱型为K及更晚的矮星称为红矮星（如南门二乙星）。

**艾利斑 (airy disk)** 点光源通过理想透镜成的像，中央是明亮的圆斑，周围有一组较弱的明暗相间的同心环状条纹，我们把其中以第一暗环为界限的中央亮斑称作艾利斑，它的大小决定了望远镜的分辨能力。

**暗场图像 (dark frame)** 在没有入射光的条件下用CCD拍摄的图像，暗场用来测定CCD相机的内部噪声；通常暗场的曝光时间应该等于星象的曝光时间，或者与之成比例。

**暗条 (filament)** 太阳色球层上相对于明亮的太阳视面可见的一条条由气体云形成的暗黑条纹。

**暗星云 (dark nebula)** 星云的一种，其密度足以遮蔽来自背景的发射星云、反射星云（例如马头星云）或是背景恒星的光。暗星云往往没有明确定义的外形和边界，有时会形成复杂的蜒蜒形状。

**奥尔特云 (Oort cloud)** 理论上提出的环绕太阳系的一个球状区域，里面包含了大量的彗星；距离太阳约50000到100000天文单位。是一个假设包围著太阳系的球体云团，布满着不少不活跃的彗星，距离太阳约50000至100000个天文单位。

### B

**巴纳德天体 (Barnard objects)** 美国天文学家巴纳

德在1900年左右发现了暗星云，它可以吸收和散射它后面的恒星所发出来的光。为了纪念这位天文学家，暗星云又叫做巴纳德天体。

**巴罗透镜 (Barlow lens)** 一种负透镜，能增加望远镜物镜或主镜的有效焦距，放大倍率为 $2\times$ 、 $3\times$ 等。

**白矮星 (white dwarf)** 恒星的核聚变反应完全停止后剩下的恒星核心部分，由电子简并态物质组成。

**伴星 (secondary)** 由两个或者两个以上天体，互相轨道绕转形成的系统中，距离质心较远的或者是绕着主星绕转的天体。

**半规则变星 (semi-regular variable)** 一种变星，其光变曲线偶尔会表现出有规则、有层次的变化，但这种变化并不会出现循环，即该恒星的亮度变化有一定规律但周期不定。

**半影 (penumbra)** 太阳系天体挡住太阳光所形成的影子中，较亮的影子部分。

**半短轴 (semi-minor axis)** 椭圆的中心到垂直于椭圆中心与焦点的连线的直线与椭圆的交点之间的距离。

**半长轴 (semi-major axis)** 椭圆上距离最长的两点之间的长度的 $1/2$ ；亦即椭圆的中心到椭圆中心和焦点的连线与椭圆的一交点之间的距离。

**半影食 (penumbral eclipse)** 月球没有进入地球影子的本影部分，而只是在地球的影子的外部较亮的半影区经过而产生的月食现象。

**棒旋星系 (Barred spiral galaxy)** 旋涡星系的一种，其旋臂并不是从星系核心开始，而是从贯穿星系中心的棒状结构两端开始。

**爆发变星 (eruptive variable)** 爆发变星是一种亮度突然激烈增强的变星，例如新星和超新星；红矮星能突然爆发激烈的恒星耀斑，也是一种爆发变星。

**北极距 (north polar distance)** 天体距离天球北极的角距离，等于90度减去天体的赤纬。

**贝利珠 (Baily's Beads)** 日食过程中，当太阳完全被蚀的前后所观测到现象，此时当太阳光照射到月球边缘时上凹凸不平的表面时，刹那间形成的光珠现象，称为“贝利

珠”。

**本底图像 (bias frame)** CCD的零秒曝光，即CCD照相机的读出噪声。

**本星系群 (local Group)** 由包括我们银河系在内的几十个星系组成的星系团，半径约为三百二十五万光年。

**本影 (umbra)** 太阳系天体在太阳光的照射下所形成的阴影中央完全没有阳光到达的部分。

**本超星系团 (local supercluster)** 由包括本星系群在内的范围更广的星系群组成，以室女座星系团为中心，半径约为5千万光年。

**扁率 (oblateness)** 描述行星或者其他天体的非球形程度的量；数值上，扁率等于行星的赤道直径与极直径之差除以行星的赤道直径。

**表面亮度 (surface brightness)** 任一天体（或者是指天空本身）单位面积的发光强度，通常表示为：星等/平方角秒。

**表现视场 (apparent field of view)** 能透过目镜的光锥的角大小，其大小范围大约是 $25^{\circ}$ - $80^{\circ}$ ；实际视场=表现视场 $\div$ 放大倍数。

**波长 (wavelength)** 横波，如电磁波的两个波峰或者波谷之间的距离。波长越短，横波所带的能量也就越大。

**不规则星系 (irregular galaxy)** 星系分类的一种星系；形状既不属于椭圆星系也不属于旋涡星系，而是随机无序的形状；不规则星系通常很年轻，比椭圆星系和旋涡星系年轻。

## C

**测光 (photometry)** 研究如何利用测光探测器来测量天体辐射的强度的分支科学，例如测量恒星的星等。

**测光计 (photometer)** 通过把电磁辐射变成电信号来精确测量光强、光通量、照度或亮度的器件。

**查尔斯-梅西耶 (Messier, Charles)** 法国著名的天文学家和彗星猎手；他最著名的工作是将当时已经发现的深空天体（星云、星系和星团等）制成星表，以避免和彗星混淆。

**场星 (field star)** 出现在视场中的孤立恒星。

**场曲 (curvature of field)** 指光学系统成像的焦面不是平面而是一个曲面，也就是平面经过光学系统成像后所成的像不再是平面而是曲面的现象。

**场星系 (field galaxy)** 一种孤立星系，不属于任何一个已观测到的星系团。

**长轴 (major axis)** 椭圆上直线距离最远的两点之间的距离；也即椭圆上通过椭圆中心和椭圆焦点的直线与椭圆相交的两点之间的距离；对于圆，长轴就是圆的直径。

**长周期变星 (long-period variable)** 有一些巨星或者是超巨星的亮度会具有80天以上的变化周期，被称为长周期变星；鲸鱼座第15号星Ceti就是第一个典型的长周期变星，其周期约为332天。

**长周期彗星 (long-period comet)** 轨道运行周期在200年以上的彗星。

**超低色散玻璃 (ED glass)** 是extra low dispersion的缩写，超低色散玻璃是一种可以减小色差的玻璃，不像普通玻璃那么容易引起色散。（ED）有效焦距（effective focal length）复合透镜的焦距，与各个分透镜的焦距及透镜之间的距离有关。

**超星系团 (super cluster)** 由靠得比较近的、延伸亿万光年的许多星系团组成的超星系团。至今为止大约有50多个超星系团在观测上被区分出来。

**超巨星 (super giant)** 比起有同样光谱型的巨星来说，有着更亮的亮度和更大的半径的恒星。一般其光度是巨星的一百倍以上，几乎都会演化成为超新星。

**超新星遗迹 (supernova remnant)** 超新星爆发后在原来位置处留下的弥散气体云。蟹状星云M1就是一个超新星遗迹。

**超新星 (supernova)** 恒星发生剧烈的爆炸，辐射出大量能量和光，在短时间内迅速增亮很多倍的现象；通常恒星会在爆发过程中消失。

**尘埃彗尾 (dust tail)** 彗尾的一种，主要由尘埃气体反射太阳光形成的；尘埃彗尾比离子彗尾（ion tails）的形状更弯曲。

**尘埃带 (dust lane)** 由气体和尘埃组成的暗带，可以遮挡星系中恒星所发射出来的光。

**晨星 (morning star)** 较亮的几颗大行星（水星、金星、火星、木星、土星）清晨出现在东面天空时，被称为晨星。

**晨昏蒙影 (twilight)** 日出前和日没后，由于高空大气散射太阳光引起天空发亮的现象称为晨昏蒙影。按照太阳光照到地球表面的不同位置，可有：当太阳在地平线以下6度时称为民用晨昏蒙影（civil twilight），地平线下12度时称为航海晨昏蒙影（nautical twilight），地平线下18度时称为天文晨昏蒙影（astronomical twilight）。

**赤道直径 (equatorial diameter)** 赤道直径指在天体赤道平面上测得的直径；以木星为例，赤道直径与极直径一般不相等。

**赤纬 (declination)** 天球地心赤道坐标系中天体到天赤道的角距离；天体的赤纬从天赤道起算，向北为正，向南为负。

**赤道坐标系 (equatorial coordinate system)** 以天赤道为基本圈，春分点为赤经的起算点，由赤经和赤纬来确定天体位置的一种天球坐标系。

**赤道装置 (equatorial mounting)** 望远镜的一种支撑装置，它的一根轴指向天极，叫极轴；另一条轴和极轴垂直，叫赤纬轴。

**赤经 (right ascension (RA))** 一种地心天球坐标，沿着天赤道由东向西，用春分点和天体所在的时圈与天赤道的交点之间的角度来度量；一般表示成小时、分钟、秒钟，范围从0小时到24小时，1小时赤经等于15度。

**赤道 (equator)** 与天体自转轴垂直且过天体中心的平面在这个天体表面所截得的大圆就是这个天体的赤道。

**冲日 (opposition)** 外行星的相位角等于0度的时候，也就是它的黄经与太阳相差180度的时候。这时如果从行星上观测，地球刚好从日面上经过。在地球上观测时，两个天体的黄经相差180度时的位置；当其中一个天体是太阳时，冲意味着另一个天体刚好在太阳相对的位置上，整个夜晚都可以观测到这颗天体。外行星、小行星都有冲日现象。

**初亏 (first contact)** 在掩食过程中，掩食天体的阴影第一次与被掩食天体相切的时刻；初亏是掩食过程的开始；在凌日过程中，指行星的视圆面第一次与太阳相切的时刻。

**出射光瞳 (exit pupil)** 指从目镜出射的光锥的直径，等于物镜口径（以mm为单位）除以倍率。

**春分、春分点 (Vernal equinox, spring equinox, March equinox)** 太阳由南向北穿过地球赤道平面的那一刻；也是黄道和天赤道相交的两点之中，天球赤道坐标为赤经等于0小时，赤纬等于0度的那一点，由于岁差作用的影响，现在的春分点位于双鱼座内。注：对于地球来说，只有北半球，该点才是成为真正的春分点（对应三月、春天）。

## D

**大气折射 (refraction ,atmospheric)** 光线倾斜的进入天体的大气层时发生的偏折现象；对于地球来说，大气折射导致天体的位置向天顶发生位移，位移的量随着天体的天顶距的增加而增加，在地平线附近处的大气折射角约为35°。

**大距 (greatest elongation)** 从地球观测，内行星（水星或者是金星）和太阳的最大角距离，水星大距的角约为28度，金星为48度。

**大爆炸理论 (Big Bang)** 这种理论认为宇宙形成于150亿年前的一个瞬间的大爆炸事件，所有的物质都在那

个时候产生，随后宇宙不停膨胀，演化形成了今天的恒星和星系。

**导星镜 (guide telescope)** 望远镜（特别是大望远镜）上安装的在成像过程中保证所观测的天体的位置保持不变的望远镜装置；需要手动进行调整。

**地平、地平圈 (horizon)** 天球和观测者所在地地面相交的大圆。

**地平高度 (altitude)** 地平高度表示天体距地平以上或以下的角度，沿地平经圈由地平面开始至天顶方向度量，范围从0°（地平处）至90°（天顶处），负值对应于天体位于地平以下。

**地平装置 (altazimuth (alt-az) mounting)** 一种望远镜的支撑结构，这种支撑结构的望远镜有两个相互垂直的轴，一个轴指向天顶，望远镜可以沿地平线转动，另一个轴使望远镜可以改变地平高度；多数小型望远镜采用地平装置；多布森装置就是一种地平装置；大型望远镜也有采用地平装置的，并且可以利用计算机控制两轴的运转。

**地方恒星时 (local sidereal time)** 地方恒星时等于过当地子午圈的天体的赤经。

**电离氢区 (HII region)** 星际空间中由高温电离的氢组成的云，通常会在年轻的高温恒星（或星团）周围形成亮星云。

**冬至 (点) (December solstice)** 太阳的赤纬最小的那一刻（点）；此时太阳的天球坐标大约是：赤经=18小时，赤纬=-23.5度；注：只有在北半球时冬至才对应冬天的来临。

**短周期彗星 (short-period comet)** 公转轨道运行周期小于200年的彗星。

**对日照 (gegenschein)** 也叫counterglow，指的是黄道上与太阳相距180°的位置上能看见一个非常暗弱的亮斑；人们认为对日照是由于小行星粒子反射太阳光而形成的；双鱼座（九月）和西方的室女座（三月）最容易看到这种现象，因为这两个黄道星座与明亮的银河系距离最远。

**多普勒效应 (Doppler effect)** 由于发射源和观测者之间的相对运动而引起的电磁波辐射（或声波）的波长的变化；当观测者与光源相互接近时，观测者观测到的波长变短，发生蓝移；当观测者与光源相互远离时，观测者观测到的波长变长，发生红移。

## E

**恩克环缝 (Encke Division)** 土星环中分隔A环和F环的缝隙叫恩克环缝，它的宽度大约是325千米；注：恩克环缝不是Encke Gap。

**二分点 (equinox)** 黄道上赤经等于0小时（春分点）或12小时（秋分点）的点。

**二至点 (solstice)** 黄道上赤经等于6小时（夏至点）和18小时（冬至点）的两点。

## F

**发射星云 (emission nebulae)** 由星际气体组成的发光星云，星云内的物质吸收了星云内部高温恒星的紫外辐射，然后再发射出其他波段的光。

**反射星云 (reflection nebula)** 将星光散射到我们的视线方向上的一种星际云；通常反射星云看起来是蓝色的，这是因为蓝色的光线波长较小，发生散射的程度比起红光来说更大。

**反照率 (albedo)** 指行星、卫星或其它自身不发光的天体的反射系数，即反射光量与入射光量的比值；理想的反射镜的反照率为1，完全吸收光线的黑体的反照率为0。

**方位角 (azimuth)** 从北点顺时针起量的到天体所在地平经圈与地平圆的交点的角距离，称为地平经度或方位角，范围从 $0^{\circ}$ 到 $360^{\circ}$ ；天体位于正东时方位角为 $90^{\circ}$ ，反之，位于正西时，方位角为 $270^{\circ}$ 。也有些的书上对方位角定义不同的起量点和方向，请注意区分。

**方照、上弦、下弦 (quadrature)** 从地球上看，太阳和其他天体的角距离相差90度时的位置。对外行星称为方照，对月亮称为上、下弦。外行星在太阳之东的方照称为东方照，在太阳之西的方照称为西方照。东方照时外行星在正午时从东方升起。西方照时外行星在正午时从西方落下。

**分辨本领 (resolving power)** 通常定义为望远镜分辨开两个同样亮度的天体（恒星）的能力，理论计算公式为分辨角： $\theta = 1.22\lambda/D$ ，其中D为望远镜的口径， $\lambda$ 为观测波段的波长。

**分子云 (molecular cloud)** 星际中由温度很低（约为10K）的分子组成的气体云。

**辐射点 (radiant)** 同一流星雨中的流星轨迹反向延长后会相交在天空中同一地点（即辐射点），流星雨看起来好像是从辐射点发射出来。

**复圆 (fourth contact)** 在掩食过程中，被掩食的天体完全离开掩食天体的阴影的时刻，即掩食的结束时刻。

**复消色差透镜 (apochromatic lens)** 纠正色差的复合式透镜：即红、绿和蓝三原色的色差都已矫正，没有残余色差。

## G

**改进凯尔纳目镜 (RKE)** 一种源自凯尔纳目镜的目

镜，除了将单片的接目镜改为双胶合消色差透镜外，还采用了低色散玻璃。比起传统的凯尔纳目镜来说，它的视场比较平直，图像变形也更轻微。

**改正镜 (Corrector)** 折反射望远镜（如：施密特望远镜，施密特—卡塞格林望远镜，马克苏托夫望远镜）用一个非球面的透镜来修正球面主反射镜所引起的像差，这个非球面的透镜就叫做改正镜。

**哥白尼体系 (Copernican system)** 由哥白尼-尼科劳斯建立的太阳系的模型，该模型发表于1543出版的《天体运行论》中，该模型提出太阳位于太阳系的中心，而不是以前一直认为的地球在是我们太阳系的中心。

**格里高利历 (Gregorian calendar)** 罗马教皇格雷戈里十三世于1582年颁布新的改进后的历法，称为格里历，即现在世界上大部分地方所通用的公历。

**格林尼治平时 (Greenwich Mean Time (GMT))** 格林尼治平时是英国格林尼治的地方平时，用来作为全世界标准时间的基准。

**拱极星 (circumpolar star)** 在观测者地平线以上从不下落的恒星；在赤道上观测不到拱极星，而在北极或南极观测到的所有星都是拱极星；对于其他任意地理纬度的观测者，如果一颗星的赤纬加上观测者的当地纬度大于 $90^{\circ}$ ，那么这颗星对于这个观测者而言就是一颗拱极星。

**光轴 (optical axis)** 光学系统中假想的一条通过所有光学器件的中心和它们的焦点的直线。

**光变曲线 (light curve)** 天体的亮度随时间的变化曲线。

**光年 (light year)** 光以接近每秒钟300000千米的速度在一年内传播的距离。

**光斑 (facula)** 太阳光球层上分布着太阳黑子和光斑，亮的区域叫光斑；在太阳边缘最容易看到（facula的复数形式是faculae）。

**目视双星 (optical binary)** 天球上彼此靠的很近的两颗恒星；目视双星之间并不一定有什么物理联系，它们之间的距离也可能很遥远。

**光谱 (spectrum)** 复色光（例如太阳所发出的白光）经过色散系统（如棱镜、光栅）分光后，被色散开的单色光按波长（或频率）大小而依次排列的图案，全称为光学频谱。光谱中最大的一部分可见光谱是电磁波谱中人眼可见的一部分，在这个波长范围内的电磁辐射被称作可见光。

**光球层 (photosphere)** 恒星的表面；比如太阳也有光球层，可见光从这层发出，大约有500千米厚。

**光度 (luminosity)** 恒星或者是其他能够发光的天体

每秒钟向空间辐射的总能量，单位为焦耳/秒。

**光度型 (luminosity classes)** 按照恒星的光度所分的恒星类型，可分为超巨星（光度I型），亮巨星（光度II型），巨星（光度III型），亚巨星（光度IV型）和主序星（光度V型，也称矮星）。

**轨道共振 (orbit-orbit resonances)** 在引力的互相作用下，两个或多个天体按照某种特殊的运动模式重复运动的现象。

**轨道倾角 (tilt of axis)** 行星或者是卫星的自转轴同其运行的轨道平面之间的夹角。

**轨道要素 (orbital elements)** 用来描述天体在轨道上运动的位置和运动状况的六个参数，可以通过观测天体的位置来得到天体的轨道根数。这六个参数分别是偏心率、半长轴、轨道倾角、升交点经度、近星点角距、过近星点时刻。

**国际天文学联合会 (International Astronomical Union (IAU))** 决策与天文相关的事务的国际性组织，由全世界范围内的天文学家组成；其网站是<http://www.iau.org>。

## H

**航海晨昏蒙影 (nautical twilight)** 日出前或日出后，大气散射太阳光引起天空发亮的现象，对应于太阳的天顶距为102度时（即太阳在地平线下12度时）的亮度状况。

**合成星等 (combined magnitude)** 用一个共同的星等值来表示双星系统中两颗星的总亮度，这个星等值就称为合成星等。

**合 (conjunction)** 从地球上观测两个天体的黄经的差别是0度时称为合；当两个天体的赤经相同时，也可能合。当其中的一个天体是太阳的时候，“合”意味着另一个天体将在太阳与观测者之间，我们将看不到另一个天体。

**赫罗图 (Hertzsprung-Russell (H-R) diagram)** 赫罗图是恒星光谱型（或有效温度）和绝对星等（或光度）的关系图。

**褐矮星 (brown dwarfs)** 在引力作用下塌缩的一种天体，其质量小于0.072个太阳质量，即其质量小于点燃核聚变（把氢聚合为氦）的质量下限；只能在红外波段辐射能量。

**黑矮星 (black dwarf)** 一种温度极低的小质量死亡恒星；白矮星缓慢的变冷后便成为黑矮星。

**黑洞 (black holes)** 一些恒星死亡后留下的核心在自身引力作用不断收缩，它的密度变得越来越大，直到其表面重力非常大以至于连光也无法逃脱它的吸引，就形成了

我们所说黑洞；超大质量恒星经过超新星爆发后可以形成黑洞。

**黑滴 (black drop)** 黑滴是在入凌和出凌时发生的有趣的光学现象，太阳边沿和水星或金星边沿互相靠得很近，而它们的边缘看起来像是有一非常细的丝将两个边缘连接起来，这种现象被称为黑滴。

**恒星日 (sidereal day)** 以春分点为基本参考点，春分点连续两次经过子午圈的时间间隔为一个恒星日。而平太阳日是指平太阳（即假想的沿黄道以真太阳的平均视运动速度匀速运动的太阳）连续两次经过子午圈的时间间隔。

**恒星时 (sidereal time)** 某地春分点的时角；也可用当地此时子午线上的恒星（真实的或者是假想的）的赤经来表示。

**恒星视差 (stellar parallax)** 由于地球绕日公转引起的恒星或其他天体的视角位移；数值上，某一天体相对于一天文单位的距离所成的夹角就等于其视差。恒星视差与太阳视差不同，太阳视差是在地球表面两个不同的观测地点（通常是两个相距比较远的地方）观测太阳时，太阳的视角位移。秒差距的定义为当天体的视差为1''时，其距离即为1秒差距，反过来说，当一颗恒星距离我们为1秒差距时，从它上面看来，地球与太阳的角距为1''。

**恒星周期 (sidereal period)** 太阳系天体相对于固定的恒星背景完成公转一周的时间间隔。

**红巨星 (red giant)** 核心燃烧氦元素的恒星，光谱型一般是K或M型。

**红超巨星 (red supergiant)** 演化后期的恒星，其半径比红巨星还要大。

**红化 (reddening)** 由于星际云对于偏蓝色的光线散射更严重，恒星发出的光线在通过星际云后，恒星的颜色显得偏红。

**环形山 (Craters)** 太阳系的许多天体表面上不平整的圆形凹陷的坑叫做环形山；大多数的环形山是由于陨石的撞击，以及火山爆发的残留物或天体表面塌缩而形成的。

**黄道带 (zodiac)** 天球中以黄道为中心的，纬度为18°的环天球的带状区域。

**黄道光 (zodiacal light)** 由于黄道面上的尘埃粒子散射太阳光的影响，在黑夜时，肉眼可见的沿黄道伸展的淡弱光亮。

**黄道尘埃 (zodiacal dust)** 弥散在黄道面内的太阳系中的行星际尘埃，一般认为这些尘埃是由于小行星互相碰撞或者是彗星解体时形成的。

**黄道 (ecliptic)** 地球绕太阳公转轨道平面与天球相



交的大圆就是黄道，亦即太阳的周年视运动的轨道。

**黄经 (celestial longitude)** 从春分点起算，向东沿黄道（逆时针）度量到天体所在的黄经圈的角距离就叫做这个天体的黄经，范围从 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。

**灰光 (ashen light)** 金星背对太阳的那一面微弱的光，1643年首次被发现，类似于月球上出现的“地照”，但是一般没有地照那么明亮。

**会合周期 (synodic period)** 从地球上观测，两个不同的大行星连续两次合的平均时间间隔。

**彗尾 (tail)** 彗星最为显著的特征；彗尾总是背向太阳，其形状和长度也在不停的变化。

**彗差 (Coma)** 光轴之外的光束若在焦平面上得不到点像，而是一个彗星状的斑点，称为彗差，主要存在在反射望远镜中，对于视场边缘的光束，彗差更为严重。

**彗核 (nucleus)** 冰块组成的彗星内核；当彗星靠近太阳时，彗核中蒸发的尘埃和气体在其周围形成彗发。

**彗头 (head)** 彗星的彗核和彗发的合称。

**彗核爆发 (outburst (cometary))** 彗星的彗核在短时间内释放大量尘埃和气体到彗发中，使彗星的亮度突然增亮的现象。

**彗星 (comet)** 太阳系中绕太阳公转的较小的天体之一，由冰冻的气体和尘埃组成。

**彗发 (Coma)** 彗核受热蒸发，其散发的气体或尘埃在彗核周围延展相当大范围，形成彗发，将彗核隐藏在下面。

**昏星 (evening star)** 昏星用来描述在日落后，出现在西方天空的明亮行星，例如水星、金星、火星。

**昏暗视觉 (Scotopic vision)** 昏暗视觉的主要感受器是视网膜上的杆状细胞。它对色彩不敏感但是在光线暗的时候起作用。

**活动星系核 (active galaxy nucleus)** 星系的核心中有着剧烈的活动（可能是黑洞），并以电磁辐射的形式释放巨大的能量，这种星系核被称为活动星系核。

**活动星系 (active galaxy)** 这类星系中存在着不同寻常的激烈物理过程，同时伴随着巨大的能量释放；这些激烈的物理过程主要集中在星系核心。

**火流星 (fireball)** 质量比较大的流星在大气中燃烧，看起来像火球并且伴着爆炸，火流星是非常明亮的流星，能够把夜晚也照亮；星等极限为-3等左右。

J

**基勒环缝 (Keeler Gap)** 土星光环中，基勒环缝位于A环的外侧，有35千米宽。

**极限星等 (limiting magnitude)** 通过目视、望远镜观测或者利用照相底片、电子探测器能够观测到的最暗的星等。

**极光 (aurora)** 地球电离层的发光现象；太阳发出的高速带电粒子（太阳风）受地球极地磁场影响，使高层大气分子或原子激发或电离而产生的彩色发光现象。

**伽利略望远镜 (Galilean telescope)** 伽利略发明的第一种用于观测的天文望远镜——是由一个单透镜作为物镜，加上一个简单的目镜组成的折射望远镜。

**伽利略卫星 (Galilean satellites)** 指木星最大的四颗卫星（Io木卫一，Europa欧罗巴（木卫二），Ganymede木卫三，Callisto木卫四）；伽利略在1610年发现，因而得名。

**降交点 (descending node)** 见交点 (nodes)。

**焦比 (focal ratio)** 焦距与透镜或反射镜直径的比值叫做焦比；例如一个直径为100米、焦距为1500毫米的透镜，它的焦比为 $f/15$ 。

**焦平面 (focal plane)** 通过焦点与光学系统的主轴垂直的平面，即成像的平面。

**焦点 (focal point, focus)** 光线经过透镜或反射镜汇聚在一点，叫焦点，也称为focus。

**焦距 (focal length)** 指光学系统中物镜（透镜或反射镜）到焦点的距离。

**交点 (nodes)** 天体的轨道和参考平面相交的两点，参考平面一般用天赤道面或者黄道面；如果天体在轨道上运动时是从南到北穿过参考面，则这个交点叫做升交点；反之如果是从北到南，则称为降交点。

**角秒 (second of arc)** 一角分的60分之一。一度等于3600角秒，角秒的表示符号是“''”。比如 $22^\circ 31' 46'' = 22$ 度31分46角秒。

**角直径 (angular diameter)** 在地球上观测到的一个天体的视面大小，亦即天体的直径对观测者所张的角度，用度、分、秒表示，例如从地球上看到的太阳平均角直径是 $0.53^\circ$ 。

**角度 (degree of arc)** 一角度等于圆周的 $1/360$ ，包含60个角分，用“°”表示； $85^\circ 18' 08'' = 85$ 度18分8秒。

**角距离 (angular distance)** 天文观测上用度、分或角秒为单位表示两个天体之间的距离。

**角分 (minute of arc)** 1度的60分之一；1角分等于60角秒，用符号“'"表示； $22^\circ 31' 46'' = 22$ 度31分46角秒。

**进动、岁差 (precession)** 给自转的天体的自转轴一个垂直于其自转轴的力矩时, 天体的自转轴会沿着一个锥面运动; 天文学上的岁差即为地球自转轴的进动引起春分点位移的现象。在日、月的引力作用下, 地球自转轴的空间指向并不固定, 呈现为绕一条通过地心并与黄道面垂直的轴线缓慢而连续地运动, 大约25800年顺时针向(从北半球看)旋转一周, 描绘出一个圆锥面。此圆锥面的顶角等于黄赤交角( $23.5^{\circ}26'21''$ )。于是天极在天球上绕黄极描绘出一个半径为 $23.5^{\circ}$ 的小圆, 也使春分点沿黄道以与太阳周年视运动相反的方向每25800年旋转一周, 每年西移约 $50.3''$ 。这种由太阳和月球引起的地轴的长期进动(或称旋进)称为日月岁差。此外, 在行星的引力作用下, 地球公转轨道平面不断地改变位置, 这不仅使黄赤交角改变, 还使春分点沿赤道产生一个微小的位移, 其方向与日月岁差相反, 这一效应称为行星岁差。行星岁差使春分点沿赤道每年东移约 $0.13''$ 。日月岁差和行星岁差的综合作用使天体的坐标如赤经、赤纬等发生变化, 一年内的变化量称为周年岁差。此外, 根据广义相对论, 旋转物体的自转轴会在空间产生相对论性进动, 称为测地岁差。地球的测地岁差为 $1.98''$ /世纪, 方向为逆时针方向。

**近地天体 (Near-Earth Objects)** 轨道和地球轨道很接近, 很可能和地球发生碰撞的小行星或其他天体。

**近星点 (距) (periastron)** 双星系统中两个成员之间最近的距离。

**近地 (点) (perigee)** 月球或者是其他绕地球公转的天体距离地球最近的那个位置; 月球(或其他卫星)在其公转轨道上运行时距离地球最近的那一刻。

**近日 (点) (perihelion)** 绕太阳公转的天体距离太阳最近的那一位置; 行星(或者其他天体)在其公转轨道运行时距离太阳最近的那一刻。

**聚星 (multiple star)** 在共同的引力作用下聚集的很近的两颗或两颗以上的恒星系统; 理论上最多为六颗; 只有两颗时就是常说的双星。

**聚光本领 (light gathering power)** 表征望远镜聚光能力的参量, 主要由望远镜的口径大小决定。

**巨星 (giant)** 一种体积和质量都比太阳大得多的恒星, 但绝不是把太阳简单的按比例放大; 巨星的外部大气层很稀薄。

**巨行星 (gas giant)** 由大量气体组成的行星; 太阳系中有四个巨型气体行星: 木星, 土星, 天王星和海王星。

**距角 (elongation)** 从地球上观测, 行星和太阳或者是行星和行星的卫星之间所成的夹角; 从太阳向东或向西, 从 $0^{\circ}$ 到 $180^{\circ}$ 度量; 也可从行星向东或向西, 从 $0^{\circ}$ 到 $180^{\circ}$ 度量。

**绝对星等 (absolute magnitude)** 天体的真实亮度, 光度; 即天体距离我们10秒差距时的视星等。

## K

**卡塞格林望远镜 (Cassegrain telescope)** 一种反射式天文望远镜, 其主镜为抛物面镜, 副镜为凸的双曲面镜, 光线经过副镜反射后透过在主镜中心的孔在主镜后面聚焦。

**卡西尼环缝 (Cassini Division)** 土星光环的A环和B环之间的空隙, 宽度约为4200千米。

**凯尔纳目镜 (Kellner eyepiece)** 1849年发明的由一个单个场镜和双合透镜组成的目镜; 传统的凯尔纳目镜无畸变, 良视距(目视暂留)约为0.5倍焦距。

**柯伊伯带 (kuiper Belt)** 从冥王星轨道的向外扩展的环带, 里面的天体主要是由冰组成的天体(柯伊伯带天体)。

**孔径、口径 (aperture)** 指光学望远镜主镜的直径, 或者射电望远镜天线的大小。

**亏 (waning)** 月球或者是其他行星被太阳光照亮的范围开始变小的时刻。

## L

**蓝移 (blueshift)** 光的波长(或者光子的能量)向波长更短或能量更高的一端变化; 根据多普勒效应, 当光源相对于观测者在接近时, 接收的光子频率增高, 波长会变短, 相当于向蓝端偏移, 称为“蓝移”。

**累积星等 (integrated magnitude)** 延展天体(彗星, 星云, 星系等等)的光亮如果看成都是从一个点光源发出来时的星等。

**类木行星 (Jovian planets)** 四个大的带外行星: 木星, 土星, 天王星和海王星, 由于它们的大小, 成份与木星类似, 因而叫做类木行星。

**类星体 (quasar (quasi-stellar radio source))** 银河系外非常遥远的致密天体, 有着很高的光度, 实际上是一类活动星系核。

**类地行星 (terrestrial planets)** 太阳系内四个比较小的内行星: 水星, 金星, 地球, 火星; 由于这些行星的大小和组成都和地球类似, 因此得名。

**离子彗尾 (ion tail)** 彗尾的两种类型之一, 也叫做等离子尾, 由电离的分子组成; 离子尾一般是较直, 比尘埃尾要蓝, 长度可达数百万千米。

**历表、天文年历 (ephemeris)** 也称星历表, 天体在某个确定日期或时刻的预测位置的列表; 天文年历是公开发表的包含一段时间内太阳、月球、行星的位置的历表, 通常每年出版一次(ephemeris的复数形式是ephemerides)。

**历元 (epoch)** 在天文学研究工作中, 常需标出数据

所对应的时刻，即历元。按用途不同，历元主要分以下三种。

1)星表(星图)历元，由于岁差和章动以及自行的影响，各种天体的天球坐标都随时变化。因此，星表(星图)所列的各种天体的天球坐标，都只能是对应于某一特定时刻的，所以需要注明属于某一历元，如1950.0、1975.0等，这种历元称为星表(星图)历元。在使用星表(星图)时，可以利用岁差、章动和自行的资料，将各种天体对应于星表(星图)历元的天球坐标换算为使用时刻的天球坐标。现在所用的标准星表历元是2000.0年时刻的天体位置(J2000.0)；过去标准历元可50年保持不变，现在改为25年变一次。

2)观测历元，为了比较不同时刻的观测结果，需要注明观测资料所对应的观测时刻，这种时刻称为观测历元。

3)时间计量的初始历元，在时间计量系统中，除了确定时间单位外，还要确定时间计量的起点，这种起点称为时间计量的初始历元。

**亮度(Brightness)** 见星等(magnitude)。

**临边昏暗(limb darkening)** 太阳的视圆面边缘比起视圆面中心看起来较暗的现象，这是由于从太阳发出来的光线在视圆面边缘处通过的太阳大气厚度要比中心处更厚。

**凌日、上中天(transit)** 从地球上看，水星或者是金星从日面上经过的现象，这叫凌日。

**留点(stationary point)** 行星从顺行转为逆行，或者由逆行转为顺行时，看似不动的位置。

**流星(meteor)** 陨星体进入地球大气层后，由于和地球大气摩擦而燃烧，在天空中划出一道亮迹的现象。

**流星雨(meteor shower)** 地球每年在通过某个固定的陨星体带时，出现的流星数目增多的现象。

**滤光片(filter)** 吸收某些波段的光，而让其他波段的光线通过的材料。

**掠日彗星(sungrazer)** 从离太阳非常近的距离上掠过的彗星，通常这些彗星在掠过太阳的过程中会被毁灭。

## M

**马克苏托夫望远镜(Maksutov telescope)** 一种使用球面主镜和弯月形改正镜的天文望远镜。

**马克苏托夫-牛顿式望远镜(Maksutov-Newtonian telescope)** 由弯月形改正镜，凹面主镜，平面副镜组成的类牛顿式的天文望远镜。

**麦克斯韦环缝(Maxwell gap)** 土星光环中B环和C环之间的宽270千米的缝隙。

**脉冲星(pulsar)** 迅速自转的中子星；由于该中子星

的两个磁极辐射出两束电磁辐射，当这两束电磁辐射中任意一束扫过我们的视线方向时我们就能观测到该中子星的脉冲。

**梅西叶天体(messier object)** 查尔斯\cdot梅西叶所发表的星表中的天体被称为梅西叶天体。包含各种星云、星系110个。

**米粒组织(granulation)** 太阳色球层上被观测到的斑驳状现象，形成原因是对流引起的气泡的上升和下降。

**冕；日冕；星冕(Corona)** 太阳或恒星的色球以外，由稀薄的明亮气体向外延伸一定距离形成的气体壳层。

**秒差距(parsec)** 周年视差等于1角秒的恒星距离我们的距离；在这个距离上，地球公转轨道半长轴的长度(1天文单位)对观测者所成的夹角就是1角秒；1秒差距 $=3.0857\times10^{13}$ 千米 $=206265$ 天文单位 $=3.2616$ 光年。

**民用晨昏朦影(civil twilight)** 地球上在日出前或日落后，日面中心位于地平面以下6度时的亮度情形；亦即太阳的地平高度为96度时的亮度情形。

**明暗界线(terminator)** 或称“晨昏线”，月球或者其他太阳系天体上，其被太阳光照亮和黑暗的两个半球之间的界线。在明暗界线上，出现的是日出或者是日落现象。

## N

**逆向彗尾(anti-tail)** 彗星朝向太阳方向伸出的彗尾，称之为逆向彗尾，也称反常彗尾；大(重)的彗星尘埃和颗粒没有被太阳的吹散，而是留在了彗星的轨道上形成了逆向彗尾；当彗星离太阳很近，且地球-彗星-太阳间的三者的位置排列合适时，彗星轨道上的留下的那些尘埃就会看起来指向太阳。

**逆行(retrograde motion)** 从地球上观测，行星或者是其他天体在天球上不正常(由东向西)的视运动。当大行星处于冲日附近时会发生这种现象。此时地球的运动相对于行星来说变快了，地球超过行星使行星看起来像是在向后运动。类似于一辆汽车超过另一辆汽车时出现的现象——虽然两辆汽车都在朝着同一方向运动，但是开的慢的汽车却看起来像在向相反的方向运动。

**牛顿式天文望远镜(Newtonian telescope)** 牛顿发明的一种最早用于实际观测的反射式天文望远镜。由一面抛物面凹镜作为主镜，一面平面镜作为副镜组成，副镜用于改变光线的方向，使光线能够射出镜筒。

## O

**偶发流星(sporadic meteor)** 不属于任何一个已知的流星雨群的流星。

## P

**帕洛马天图 (Palomar sky survey)** 著名的照相星图之一，利用帕洛马天文台的施密特照相机完成，覆盖了赤纬-33度以北的天区。

**偏心率 (eccentricity)** 偏心率用来表示太阳系天体轨道非圆的程度，偏心率越大，椭圆就越扁；椭圆的偏心率在0-1之间；圆轨道的天体偏心率是0；数学上可用椭圆两个焦点之间的距离除以2倍长轴的长度来算出偏心率。

**频率 (frequency)** 指单位时间内某种波动的重复次数，频率的单位是赫兹 (Hz)，即1S-1。

**平太阳 (mean sun)** 假想的作匀速运动的太阳，天文学家以此作为标准来定义平太阳时。

**平太阳时 (mean solar time)** 平太阳时定义时间的变化是有规律而且匀速的，而不是像真实的太阳时那样有着不均匀的变化；一平太阳日等于恒星时单位的24小时3分56.555秒。

**谱斑 (plage)** 太阳色球层上的亮斑，其温度比周围更高；也叫做bright flocculi 亮（谱）斑。

## Q

**气辉 (airglow)** 地球大气的上层出现微弱的发光的现象，这是由于大气中的分子、原子与主要来自于太阳的高能粒子和光子发生碰撞而产生复合反应而发光；一般称为气辉，但如果是在晚上则称作夜天光。

**倾角、交角 (inclination、obliquity)** 行星的公转轨道面与黄道面的夹角。也指行星或其他天体运行的轨道平面和其赤道平面的夹角；行星的自转轴和轨道法线之间的夹角。

**秋分、秋分点 (september equinox)** 太阳由北向南穿过地球赤道平面的那一刻；天赤道和黄道相交的两点中赤经等于12小时，赤纬等于0度的那一点；注意只有对于北半球来说，这一点才真正算是“秋”分点。

**球差 (spherical aberration)** 透镜无法将平行于轴向的光线和近轴光线聚焦在焦平面上的同一点，由此产生模糊的像。

**球状星团 (globular cluster)** 旋涡星系的晕中或者更多的在椭圆星系的周围发现的由年老的恒星（星族？恒星）组成的球形星团。

**全食 (total eclipse)** 日食或者是月食时：(1) 太阳光完全被月球挡住时，叫日全食。(2) 月球完全进入到地球的本影中的时候，叫月全食。

## R

**冉斯登目镜 (Ramsden eyepiece)** 由两个平凸透镜

组成的简单目镜，两个透镜凸面相对，靠近物镜的那一面是平面。

**日冕物质抛射 (coronal mass ejection (CME))** 发生在日冕层的气体物质爆发、抛射事件，在太阳活动极大期期间时常发生。

**日珥 (prominence)** 太阳表面上的一种大尺度的气体结构（理论上任何恒星都有），一般发生在太阳活动剧烈的地方，比如黑子群。

**儒略日 (Julian date)** 从公元前4713年1月1日正午 (UT) 起算的日数；如2000年1月1日正午 (UT) 的儒略日为2451605天；2000年1月2日午夜 (UT) 的儒略日为2451605.5天。

## S

**色球 (chromosphere)** 恒星（如太阳）的光球层和星冕之间的那部分大气。

**色差 (chromatic aberration)** 天体发出的不同波长的光通过透镜时聚焦在光轴的不同点上，这样产生的像差称为色差。反射望远镜没有色差。

**色指数 (color index)** 同一恒星在两个不同波段的测光星等之差称为色指数，B星等和V星等分别接近于照相星等和目视星等，二者之差就是常用的色指数。

**沙罗周期 (Saros)** 日食的出现具有223个朔望月的周期，即6585.32天（约18年11天）。

**上合 (superior conjunction)** 在发生合时，地内行星与地球分别处于太阳相对的两侧的现象。

**上中天 (upper culmination)** 见culmination 中天。

**上弦 (First Quarter)** 新月后一周或者满月前一周的月相；这时地球上的观测者能够看到整个月面的1/4（或者是被太阳光照亮的月面部分的一半）。

**摄动 (perturbation)** 行星或卫星在轨道上运行时会受到(1) 其他行星或卫星引力的影响 (2) 其他一些行星或卫星引力共同的影响，使其运动轨道受到扰动，产生变化。

**生光 (third contact)** 全食时，太阳或者是月球就要重新出现的那一刻；或者指在凌日快要结束时，行星就要与太阳边缘相切的时刻。

**施密特-卡塞格林望远镜 (Schmidt-Cassegrain telescope (SCT))** 一种折反射天文望远镜，其主镜是一面球面反射镜，中间有一个全孔径的改正镜，在卡塞格林焦点上是一面负镜。

**时差 (equation of time)** 真实的太阳时和平太阳时之间的差别。

**时圈 (hour circle)** 天球上同时过南天极和北天极的大圆叫做时圈。

**时区 (time zone)** 为了提供标准的时间，地球表面可以分成24个相等的区域，每个区域就是一个时区，在每个时区内的时间采用相同的时间。

**时角 (hour angle)** 当地子午圈向西距离天体所在时圈的角度，范围从0到24小时，以小时，分，秒的形式表示。

**食既 (second contact)** 全食过程中，太阳或者是月球完全被遮掩住的时刻；即全食真正开始的时刻（食既）；如果是在凌日过程中，则指行星的视圆面完全进入到太阳的视圆面内的那一刻（第二切）。

**食季 (eclipse season)** 太阳在月球轨道的交点附近时，可能出现“食”现象的这一段时间叫做食季；对于日食来说每一个食季为37.5天，间隔时间为173天。

**食双星 (eclipsing binary)** 从地球上观测，两子星周期性地相互绕转彼此掩食（一颗子星从另一颗子星前面通过），出现亮度变化的双星系统。

**食年 (eclipse year)** 太阳从月球轨道的交点（即黄白交点）附近再回到同一交点所经历的时间间隔叫食年，大约是346.6天。

**世界时 (Universal Time (UT))** 也叫格林尼治平时(GMT)，即格林尼治子午线上（地理经度为0度）的地方时间；在天文和航海的应用中，世界时(UT)通常特指的是UT1，这是根据天文方法观测地球的自转来进行时间的度量的。民用的世界时(UT)通常指的是协调世界时UTC，是由高精度的原子钟来度量的，协调世界时全世界民用时间所通用的基准时间系统。

**视宁度 (seeing)** 视宁度是用来概括地描述某一个特定的观测地点的大气稳定程度的；通常用角秒来表示。

**视差 (parallax)** 见恒星视差stellar parallax。

**视场 (field of view)** 指透过光学仪器的透镜能看到的范围，一般用角直径来度量（例如：20角分）。

**视向速度 (radial velocity)** 恒星或者其他非太阳系内的天体在观测者的视线方向上的运动速度。

**视星等 (apparent magnitude)** 地球上观测者观测到的天体亮度，并不反映天体的真实发光本领。

**疏散星团 (open cluster)** 一类年轻的恒星系统，通常包括几百到几千颗恒星。

**双星 (binary star)** 两颗天体或者恒星组成的系统；大多数情况下指在引力作用下绕共同的质量中心运行的恒星；有时候处于同一视线上的两颗恒星看起来很接近，实际上可能距离却很遥远，被称为光学双星。

**顺行 (direct motion)** 从地球上观测，行星或其他天体在天球上自西向东的视运动。

**朔、望 (syzygy)** 当太阳，地球和月球或者是某个大行星并排成一条线的时候叫做朔望。对月球来说，朔望发生在新月（朔）和满月（望）时，对于大行星，朔望指行星发生合或者是冲的时候。

**朔望月 (lunation)** 月球连续两次朔的时间间隔。

**缩焦镜 (telecompressor)** 一种缩短镜面到焦平面的距离的光学装置，缩短了望远镜的焦距，以此扩大系统的光圈，通常可以提高光学系统的成像速度。

## T

**太阳耀斑 (solar flare)** 太阳光球层中一些轻粒子（质子、电子等）和电磁能的突然爆发。太空中太阳风的产生和其有关，地球上出现的低能宇宙线辐射和极光现象也和太阳耀斑有关。

**太阳向点 (solar apex)** 相对于临近的许多恒星来说，天球中太阳和整个太阳系朝之运动的那一点叫太阳的向点。这一点位于武仙座边缘，坐标约为赤经6小时，赤纬-30度。

**太阳活动周期 (solar cycle)** 太阳活动的十一年变化周期，其中最显著的变化是光球层中可见黑子的数目变化。也称太阳黑子周期 (sunspot cycle) 即两次观测到的黑子数目极大的时间间隔。

**太阳黑子 (sunspot)** 由于太阳磁场的变化而引起的太阳光球层中某些区域温度变得比周围更低而看起来变黑的现象。

**太阳风 (solar wind)** 高速逃逸到太阳日冕以外的高能带电粒子，使太阳不断的流失质量和角动量。

**特殊星系 (peculiar galaxy)** 大约有十二种星系不太容易用经典的哈勃星系分类法来进行分类，被称为特殊星系。

**天顶距 (coaltitude, zenith distance)** 等于90°减去该天体的地平高度。

**天文单位 (astronomical unit (AU))** 天文学中用到的一种距离单位，等于太阳与地球之间的平均距离，约为149 597 870千米。

**天文晨昏蒙影 (astronomical twilight)** 在日出前或日落后，日面中心位于地平面以下18度时的亮度情形；亦

即太阳的地平高度为108度时。

**天球 (celestial sphere)** 天文学中引进的假想圆球面，它的半径为无穷大；把天体投影到天球面上就是天体在天球上的位置。

**天顶每小时流量 (流星) (zenithal hourly rate, ZHR)** 观测者目视的极限星等为6.5等时，在最佳的观测条件下（无月夜，晴天），如果观测的流星雨的辐射点位于天顶时，理论上每小时能够观测到的流星数目。

**天顶 (zenith)** 天球上到地平上任一点的角距离都为90°的点，也即观测者所在地位于午圈上地平高度最高的那一点；即正对天底的那一点。

**天赤道 (celestial equator)** 地球赤道面和天球相交所截出的大圆就叫天赤道，即地球赤道在天球上的投影。

**天体测量双星 (astrometric binary)** 有时双星的其中一位成员会由于某些原因而不可见，但我们仍可凭借恒星在天空的移动情况得知其伴星的存在，因为看不见的伴星对可见的那颗恒星会有引力作用。

**天平动 (libration)** 自转和公转同步的卫星面向中心天体的那一面的轻微摆动；由于月球天平动，地面上的观测者可以看到的月球表面的50% 以上。

**天体测量学 (astrometry)** 测量天体位置的学科；天体测量学的主要任务是研究和测定天体的位置和运动，建立基本参考坐标系和确定地面点的坐标。

**同步自转 (synchronous rotation)** 一颗卫星的自转周期和其公转的轨道周期相同时，叫做同步自转，例如月亮就是一个同步自转的天体。

**凸月 (gibbous)** 月亮或其他天体的一种月相，凸月时可视的天体视面积占天体总表面的25% 到50% 之间（或大于50% 而小于100% 的月球被照亮部分可以被观测到）。

**椭圆星系 (elliptical galaxy)** 一类没有旋臂的椭圆形状的星系。

## W

**威尔逊效应 (Wilson effect)** 由于透视效果，当黑子接近日面边缘时，其本影看起来就不在半影中央，而是贴近靠日面中心的半影。这个现象称为威尔逊效应。

**纬度 (latitude)** 从南或从北距离地球赤道的夹角，范围从0度到90度；天体的纬度为天体在天球上和天赤道所成的夹角。

**卫星 (satellite)** 绕着一个比其更大的天体绕转的天体。

**物镜 (objective)** 折射望远镜的主镜也叫物镜。

## X

**吸收线 (absorption lines)** 连续光谱里的暗条纹。来自天体的光线的某些波长被原子或分子选择性的吸收，导致那部分波长的光从星光中被吸收掉，留下一条条的暗线。研究夫琅和费谱线对确定空间中的非辐射原子很有帮助，在太阳光谱中已经发现了15000条吸收线。

**吸积盘 (accretion disk)** 大质量恒星周围存在的由尘埃和气体组成的盘状结构，其中心区域在引力作用下不断塌缩，吸积盘主要发现在原恒星和黑洞周围。

**吸收星云 (absorption nebula)** 吸收星云内部没有恒星，不能从内部照亮星云所具有的尘埃和气体；吸收星云是完全黑暗的，而且能阻挡位于它们身后的恒星或发射星云所发出的光。典型的吸收星云的温度范围在10-20K之间。

**下中天 (lower culmination)** 见culmination 中天。

**下弦 (月) (last quarter)** 满月后大概一周的月相，或者是新月前一周的月相，这时能够看到月面的四分之一（月球朝向地球的那面的1/2）。

**下合 (inferior conjunction)** 地内行星（水星或金星）运行到太阳和地球之间，和太阳和地球成一条直线位置的时候称为下合。

**夏至；夏至点 (June solstice)** 黄道上太阳的赤纬最大的点或时刻；其坐标约是：赤经=6小时，赤纬=+23.5°，注：只有在北半球夏至才对应于“夏天”。

**相位 (phase)** 月球或其他太阳系天体在其轨道运行时，在不同的位置上被照亮部分占其表面的百分比。

**像素 (pixel)** 组成一个图像的最小元素（比如视屏显示装置VDU中的一个像点）；用作光学探测器的电荷耦合器件CCD上的一个探测元。

**像差 (aberration)** 指光学系统成像时不能得到良好的像，像差包括像散、色差、彗差、场曲、畸变和球差。

**像散 (astigmatism)** 光束通过光学系统后不能聚焦于一点；光学系统的光轴外光束的象散是最明显的。

**消色差透镜 (achromatic lens)** 一种二元透镜，用来改正两种不同波段（通常指红端和蓝端）的光在通过单个透镜时不在同一点聚焦造成的像差，即我们所知道的色差。“achromatic”（消色差）这个词的意思是没有颜色，但实际上这种改正镜也有轻微的色差。

**消光 (extinction)** 星光受星际介质的吸收和散射而减弱的现象；宇宙中主要是由于星际固体尘埃颗粒引起消光；更近的消光现象是地球大气引起的消光。

**小行星编号 (asteroid designation)** 一颗小行星被观测到后，小行星中心就会赋予这颗小行星一个国际统一格式的暂定编号，得到暂定编号的小行星，必须在非常精确地确定出轨道后（通常在2-5次的回归中被观测到），才能得到小行星中心给它的永久编号，同时该小行星的发现者将拥有对这颗小行星的命名权。

**小行星带 (asteroid belt)** 是位于火星和木星轨道之间的小行星的密集区域，绝大多数的小行星都集中在小行星带，也称之为带。

**小麦哲伦星云 (small magellanic cloud)** 银河系的一个不规则的卫星星系，是距离银河系最近的星系，大约有240000光年远。

**小行星 (asteroid)** 由岩石和金属组成的围绕太阳公转的小天体，绝大部分（95%）小行星位于火星和木星的轨道之间；也被称为minor planet。

**新星 (nava)** 亮度忽然增亮可达10个星等，在随后的几个月内又缓慢变暗的恒星；在密近双星系统中如果其中一个成员是白矮星，另外一颗恒星的物质会不断流向白矮星，形成一个吸积盘慢慢覆盖到白矮星表面；当温度和压力慢慢增大到能引发白矮星的核聚变反应时，白矮星就爆发而形成新星。

**星协；成协 (association)** 分布在很大空间范围内的具有近似光谱型的年轻恒星的松散集团称为星协，它比疏散星团分布的更稀疏。

**星云 (nebula)** 来自拉丁文，本意是“云”，指由星际尘埃和气体组成的云。

**星云星团新总表 (NGC General Catalogue (NGC))** J.L.E. Dreyer在1888年编撰的深空天体星表。最早的星表有7840个天体，后来补充发表的两个星表包括5368个天体。最早的星表中的天体在其编号前加有NGC三个字母，后面补充的两个星表中的天体在其编号前加有IC两个字母。

**星系团 (cluster of galaxies)** 在引力束缚作用下，相互间有物理联系的大量星系组成的星系集团。

**星迹 (star trails)** 业余天文摄影家中所流行的拍摄主题；照相机固定在一个地点不动，同时快门持续打开一段时间（从几分钟到几小时不等），由于地球的自转运动而在底片上留下恒星周日视运动的轨迹。

**星系晕、银晕 (galactic halo)** 银河系或者其他旋涡星系周围存在的，由暗的恒星，褐矮星和球状星团组成的球形区域。

**星系盘；银道面 (galactic disk)** 旋涡星系或棒旋星系的旋臂所在的盘面，是由恒星、尘埃和气体组成的扁平盘；透镜状星系也有星系盘，但没有旋臂。

**星系 (galaxy)** 引力作用束缚下，由上千万亿颗恒星、尘埃和气体组成的集合。

**星系际介质 (intergalactic medium)** 星系之间存在的弥散物质叫做星系际介质。

**星族II (Population II)** 球状星团和星系核心部分发现的一类恒星，它们的年龄更大，光度较小，温度较低，比起星族I的恒星来说其重金属元素的含量更低。

**星族 I (Population I)** 集中在旋涡星系的星系盘和旋臂上的一类较亮、温度较高的年轻恒星，这些恒星一般含有由上一代恒星产生的重金属元素；太阳就属于这一类恒星。

**星官；星宿 (asterism)** 一组对可见恒星的范围的简单划分；一个星宿内的恒星可以属于同一个星座（例如“北斗七星”属于大熊座），也可以属于几个星座（例如“夏夜三角形”由来自天琴座、天鹅座和宝瓶座的恒星所组成）。

**行星状星云 (planetary nebula)** 红巨星外部的一层气体，被不断的吹向恒星之外的空间，这些气体被中心正在塌缩的恒星发出的辐射激发而发光形成可见的星云。是小质量恒星死亡后的产物。

**行星际介质 (interplanetary medium)** 太阳系中各行星之间的物质，太阳风所吹出的物质是其主要组成之一。

**旋涡星系 (spiral galaxy)** 旋涡星系的内部是年老的恒星聚集而成的核心部分，其周围环绕着由年轻的、较亮的恒星组成的漩涡状的平坦星系盘（旋臂）。

**寻星镜 (finder)** 在较大的望远镜（主镜）旁附设一个小型望远镜，它的光轴与主镜光轴平行，视场比主镜大，用来搜寻待观测的天体。

## Y

**衍射光栅 (diffraction grating)** 光栅的一种。光栅是由大量互相平行、紧密排列的细缝、槽或者反射面构成的光学元件，能使光分解为光谱；可分为反射光栅和衍射光栅。

**衍射 (Diffraction)** 衍射就是指望远镜所成的星象看上去是一个小圆斑（称为艾里斑）的效应。在圆斑的周围有一系列亮的衍射环，对于理想光学系统84% 的星光将集中在中心，另外7% 在第一环，3% 出现在第二环上……对于非理想光学系统或者望远镜中心存在挡光而言，光的分布会向外环延伸。

**耀斑 (flare)** 太阳色球层出现的局部短暂增亮的现象，观测耀斑最好是使用氢 $\alpha$ 滤镜（hydrogen alpha filter）来观测。

**银道 (galactic equator)** 由银河系银道面决定的天球上的大圆，以银河系为中心；银道面和天球赤道面之间的夹角大约是63度。

**银极 (galactic pole)** 天球上到银道上任意一点的角度都为90度的两点；银河系自转轴和天球的两个交点。

**萤石玻璃 (fluorite)** 一种超低色散玻璃，具有低折射率和低色散的特点，化学式为 $\text{CaF}_2$ 。

**盈 (waxing)** 月球或者是其他的行星被太阳光照亮的范围开始变大的时刻。

**远地点 (apogee)** 月球或其他天体在绕地球公转的椭圆轨道上距离地球最远的点或时刻。

**远星距 (点) (aphastron)** 双星系统中的两个星体之间最大的距离 (点)。

**远日点 (时刻) (aphelion)** 行星绕日公转轨道上距太阳最远的那一点 (那一刻)，即行星椭圆轨道的长轴的距太阳较远的一端。

**月面暂现现象 (transient lunar phenomena (TLD))** 也叫做lunar transient phenomena (LTP)，指月球表面发生的短暂发光、闪光、颜色或者亮度变化等等。

**月海 (mare)** 海的拉丁文。一般指月球表面为玄武岩的冲击盆地。其它大行星和卫星上相对平坦的大面积区域也可以称为海。

**陨石 (meteorite)** 降落在地球表面后被发现的陨星体 (在经过地球大气时叫流星)。

**陨星体 (meteoroid)** 绕太阳系公转的由岩石、金属或者二者共同组成的小天体；绝大部分陨星体都非常微小，质量在0.001到0.000001克之间。

## Z

**造父变星 (Cepheid variable)** 一类周期性脉动变星，其光变周期和光度之间有密切关系，称为周光关系；典型的造父变星是仙王δ (中文名造父一)，这也是造父变星得名之因。

**章动 (nutation)** 由于月球和太阳相对于地球的距离和位置不停的在变化，在它们的引力作用下使地球自转轴产生周期性的不规则运动；章动是叠加在岁差之上的运动。

**折射 (refraction)** 能量波 (光波) 从一种介质传播到另外一种介质中时，其直线传播的方向发生偏折的现象。

**折反射望远镜 (catadioptric telescope)** 主镜是球面反射镜，并且有一个改正透镜来矫正主镜的像差的天文望远镜。

**折射率 (refraction index)** 电磁波在真空中的传播速度和它在其他的介质中的传播速度之比；即指特定的物质使光线发生偏折的能力。

**折射望远镜 (refraction telescope)** 用透镜来聚焦遥远的天体发射来的光线的一种天文望远镜。

**中天 (meridian passage, culmination)** 天体经过观测者当地子午线时叫中天，离天顶较近中天时叫上中天，离天顶较远时的中天叫下中天。

**中性氢区 (HI region)** 星际空间中的中性氢云 (即氢原子)，能够辐射波长为21厘米的谱线。

**中子星 (neutron star)** 超新星爆发后在原来的中心位置残存的恒星，其中的质子和电子都融合在一起变成了中子。中子星的半径在10千米左右，但其密度却高达 $10^{18} \text{ kg/m}^3$ 。

**周期彗星 (periodic comet)** 在其名字前面加了字母P的彗星。比如P/Halley是指哈雷彗星，即有名的周期彗星哈雷。现在国际天文学联合会开始对出现过一次以上的周期彗星进行编号，这样哈雷彗星就是1P/Halley，德维科彗星即122P/de Vico。

**主序 (星) (main sequence)** 赫罗图上由燃烧氢的稳定的中年恒星组成的一部分区域。

**主星 (primary)** 由两个或者两个以上天体互相轨道绕转形成的系统中，距离质心较近的天体或者看似其他天体在绕其公转的天体。

**主动光学 (active optics)** 用于矫正大型反射望远镜的主镜的相位畸变的技术，或者是矫正新出现的多镜面望远镜中各个镜面的相位畸变的技术。

**子午圈 (meridian)** 天球上穿过观测所在地的天顶和天极的大圆。

**自适应光学 (adaptive optics)** 指一种应用于大反射望远镜的镜面的一种补偿系统，可以通过快速反应的支撑系统使镜面发生形变来补偿大气抖动引起的星象闪烁。

**自行 (proper motion)** 恒星或者是其他天体在垂直于观测者视线方向上每年的视角位移。

**钻石环 (diamond ring)** 日全食过程中，在食既与生光之间的一刹那，由于月球表面凹凸不平，太阳光球层所发出的光从月球上较凹的位置漏出，加上此时可见的太阳色球层，状似一颗钻石戒指挂在天空上，这就是钻石环现象。

物理量	数值
天文单位(AU)	149,597,870.691 km
光年_ly)	$9.4605 \times 10^{17}$ cm = 63,240 AU
秒差距(pc)	$3.0860 \times 10^{18}$ cm = 206,265 AU
恒星年	365.2564 天
回归年	365.2422 天
格里历年	365.2425 天
恒星月	27.3217 天
朔望月	29.5306 天
平恒星日	$23^h 56^m 4^s .091$ of mean solar time
平太阳日	$24^h 3^m 56^s .555$ of sidereal time
地月平均距离	384,399 km
地球质量( $M_{\oplus}$ )	$5.9736 \times 10^{27}$ g
地球平均半径	6,371.0 km
地球平均轨道速度	29.783 km/s
月球质量	$7.3490 \times 10^{25}$ g
月球平均半径	1,738 km
太阳质量( $M_{\odot}$ )	$1.9891 \times 10^{33}$ g
地球平均半径	$6.3710 \times 10^6$ cm
太阳半径	$6.96 \times 10^{10}$ cm
太阳光度	$3.96 \times 10^{33}$ erg s <sup>-1</sup>
太阳有效温度	5 800 K
太阳视星等	-26.8
太阳绝对星等	4.82
太阳绝对热星等	4.72
光速(C)	$2.9979 \times 10^{10}$ cm/s
万有引力常数(G)	$6.6726 \times 10^{-8}$ dyne cm <sup>2</sup> g <sup>-2</sup>
玻尔兹曼常数(k)	$1.3807 \times 10^{-16}$ erg·K <sup>-1</sup>
斯特藩-玻尔兹曼常数( $\sigma$ )	$5.6705 \times 10^{-5}$ erg cm <sup>-2</sup> K <sup>-4</sup> s <sup>-1</sup>
普朗克常数(h)	$6.6261 \times 10^{-27}$ erg s
电子电量(e)	$1.602 \times 10^{-19}$ C = $4.803 \times 10^{-10}$ esu
电子质量( $m_e$ )	$5.48579903 \times 10^{-4}$ amu
质子质量( $m_p$ )	1.007276470 amu
中子质量( $m_n$ )	1.008664904 amu
氘核质量( $m_D$ )	2.013553214 amu
氢原子质量	1.00794 amu
氦原子质量	4.002603 amu
碳原子质量	12.01070 amu

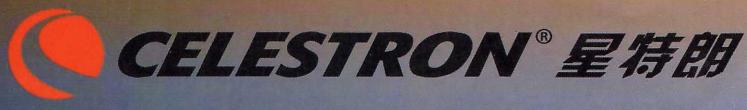
表 1: 天文、物理常用数据表

天体	赤道半径 (km)	赤道重力 (地球=1)	体积 (地球=1)	质量 (地球=1)	密度 kg/m <sup>3</sup>	轨道半径 (AU)	轨道倾角 (度)	赤道倾角 (度)
太阳	696000	28.01	1304000	333400	1.44	—	—	7.25
水星	2440	0.38	0.056	0.055	5.43	0.3871	7.005	0
金星	6052	0.91	0.857	0.815	5.24	0.7233	3.395	177.4
地球	6378	1	1	1	5.52	1	0	23.44
火星	3397	0.38	0.151	0.107	3.93	1.5237	1.85	25.19
木星	71492	2.48	1321	317.832	1.33	5.2026	1.303	3.08
土星	60268	0.94	755	95.16	0.69	9.5549	2.489	26.7
天王星	25559	0.89	63	14.54	1.27	19.2184	0.773	97.9
海王星	24764	1.11	58	17.15	1.64	30.1104	1.77	27.8

表 2: 行星数据表1

天体	自转周期 (地球日)	公转周期 (年)	会合周期 (地球日)	轨道偏心率	升交点黄经 (度)	近日点黄经 (度)	平均轨道速度 (km/s)
太阳	25.38(赤道) 37.01(南北极)						
水星	59	87.97天	116	0.206	47.9	76.8	47.89
金星	243	224.7天	584	0.007	76.3	131	35.03
地球	23 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup>	365.26	—	0.017	0	102.3	29.79
火星	24 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup>	686.98天	780	0.093	49.2	335.3	24.13
木星	9 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>	11.86年	399	0.048	100	13.7	13.06
土星	10 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup>	29.46年	378	0.056	113.3	92.3	9.64
天王星	24 <sup>h</sup>	84.0年	370	0.047	73.8	170	6.81
海王星	16 <sup>h</sup> 06 <sup>m</sup>	164.8年	367	0.008	131.3	44.3	5.43

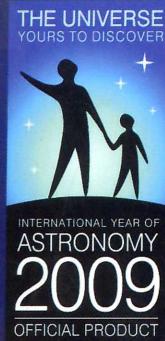
表 3: 行星数据表2



星动,从这一刻开始

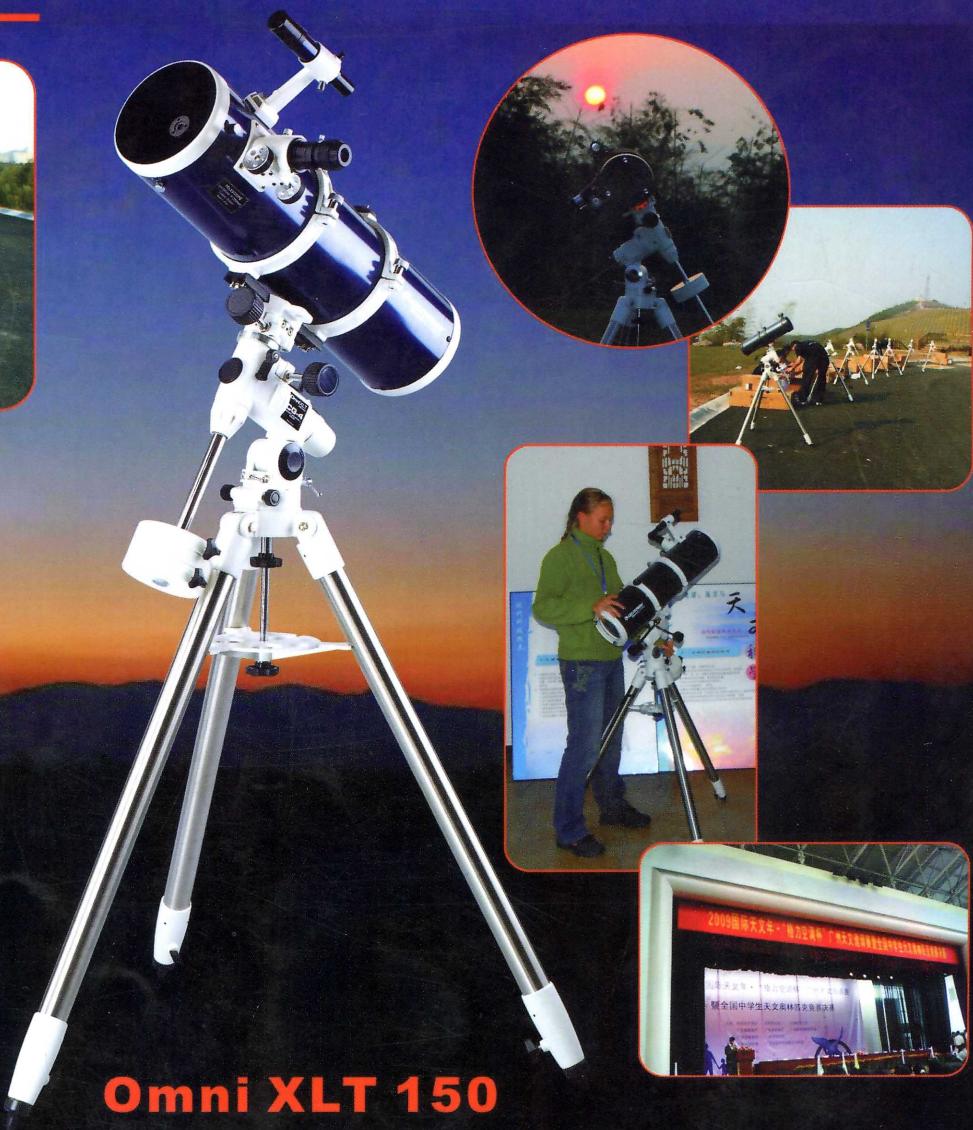
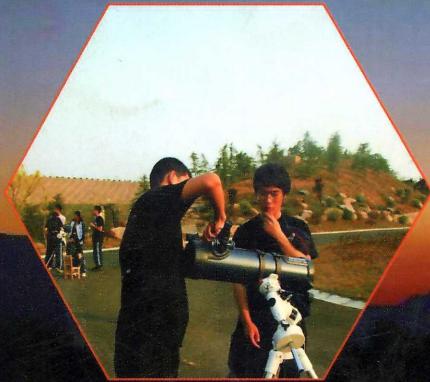
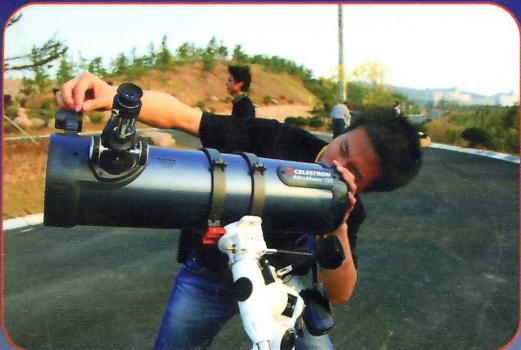


五十载星辰  
五十年辉煌



**HOT  
PRODUCT  
2010**  
**SKY  
& TELESCOPE**

国际天文年官方合作伙伴



08年杭州全国奥赛观测用镜  
09年广州全国奥赛观测用镜

第十四届  
国际天文  
奥林匹克竞赛  
观测用镜



杭州天文科技有限公司  
CELESTRON® 星特朗中国总代理

网站 : [www.celestron.com.cn](http://www.celestron.com.cn)

公司总部 : 杭州市玉古路147号218室  
电话 : 0571-87633788  
传真 : 0571-87633789

销售总部 : 浙江省余姚市新建北路288号  
电话 : 0574-62882377  
传真 : 0574-62882378