

地球科学奥赛天文部分练习题

李嘉轩 何子麒

北京大学物理学院天文学系

jiaxuan_li@pku.edu.cn

zqhe@pku.edu.cn

2017年9月

第一部分 理论部分

天文奥赛的理论部分主要围绕着高中物理和数学知识进行考察，但部分题目也涉及到大学物理和微积分。下面给出常用常数表：

太阳

太阳质量	$M_{\odot} = 1.9891 \times 10^{30} \text{kg}$
太阳半径	$R_{\odot} = 696000 \text{km}$
太阳光度	$L_{\odot} = 3.826 \times 10^{26} \text{W}$
视星等	-26.72
绝对星等V波段	4.82
绝对热星等	4.72
角直径	30'
表面温度	5780K

地球

质量	$5.9736 \times 10^{24} \text{kg}$
半径	6378km
平均密度	5515 kg/m^3
黄赤交角	23°26'

月亮

月亮质量	$7.43 \times 10^{22} \text{kg}$
月亮半径	1730km
地月距离	384400km
回归月	29.5306天
满月视星等	-12.74m
反照率	0.14
黄白交角	5.14°

其他常用关系

恒星日	86164s
恒星年	365.2422天
回归年	365.2564天
天文单位(A.U.)	149597870700m
1光年	$9.46 \times 10^{15} \text{m}$
1秒差距	206265天文单位
光速	299793458 m/s
瞳孔直径	6 mm

I. 简单天体力学

题目 1. 太阳-木星系统的质心在太阳内部吗？

解答：我们不妨先考虑太阳系内质量最大的行星：木星。太阳-木星系统的质心在何处？设系统质心到太阳中心的距离为 x ，可以计算出：

$$x = \frac{M_J}{M_\odot + M_J} d_{\text{sun-jupiter}}.$$

计算发现， $x > R_\odot$ ，也就是说太阳-木星系统的质心在太阳外面。 \square

题目 2. 一颗彗星的近日距为 0.5 A.U. ，远日距为 31.5 A.U. ，那么这颗彗星的公转周期是多少？这颗彗星与太阳的连线每秒扫过的面积是多少？

解答：此题为开普勒三定律的应用。由开普勒第一定律，彗星轨道为椭圆。高中数学知识告诉我们，该椭圆的半长轴长为

$$a = \frac{r_{\text{peri}} + r_{\text{aphe}}}{2} = 16 \text{ A.U.}$$

由开普勒第三定律，代入具体数据得：

$$\frac{a_{\text{comet}}^3}{T_{\text{comet}}^2} = \frac{G(m_1 + m_2)}{4\pi^2}$$

可以解得

$$T_{\text{comet}} = 64 \text{ years.}$$

但这种做法颇为复杂。因为彗星与地球绕的是同一个太阳，所以可以有：

$$\frac{a_{\text{comet}}^3}{T_{\text{comet}}^2} = \frac{a_e^3}{T_e^2},$$

而 $T_e = 1 \text{ years}$ ，因此也有

$$T_{\text{comet}} = 64 \text{ years.}$$

彗星在64年里扫过的面积为整个椭圆的面积

$$S = \pi ab.$$

对于这个椭圆，

$$b^2 = a^2(1 - e^2) = (a + ae)(a - ae) = (\text{aphelion distance}) \times (\text{perihelion distance}),$$

故 $b = 3.97 \text{ A.U.}$

所以面积速度为

$$\frac{dS}{dt} = 3.1 \text{ A.U.}^2/\text{yr.}$$

□

题目 3. 假设太空中飘着一粒灰尘，且假设这粒灰尘是球形的，且距离太阳 1 A.U. 。以下忽略除太阳外其他天体对该灰尘的影响。令人惊奇的是，这粒灰尘可以静止在它原来的位置不动。假设灰尘的密度为 $\rho = 4 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。请求出该灰尘的直径。

解答：显然，一粒灰尘只在引力作用下是平衡不了的。这里忽略了地球引力，所以也不是在拉格朗日点。因此只能考虑光压。

电磁学中，电磁波的能流密度为（坡印廷矢量）

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}.$$

电磁波有动量。电磁波被物体表面反射或吸收时，必定产生压强，称为辐射压强，也叫光压。可以证明，真空中光压大小就等于真空中电磁波的能量密度（具体细节请参看电磁学教材）

$$w = \frac{1}{2}\epsilon E^2.$$

还有真空中能流密度和能量密度的关系：

$$S = wc.$$

真空中电磁波动量密度为

$$g = \frac{S}{c^2} = \frac{w}{c},$$

而动量密度乘以光速恰好等于光压大小，所以

$$p = w = \frac{S}{c}.$$

对于太阳而言，

$$S = \frac{L_\odot}{4\pi a^2},$$

$$p = \frac{L_\odot}{4\pi a^2 c},$$

设灰尘半径为 r ，截面大小就为 πr^2 ，受到的辐射压力为

$$F_r = \frac{L_\odot \pi r^2}{4\pi a^2 c}.$$

灰尘受到的万有引力为

$$F_g = \frac{GM_\odot}{a^2} \frac{4\pi r^3 \rho}{3}.$$

两个力等大反向，得到：

$$r = \frac{3L_{\odot}}{16\pi\rho GM_{\odot}c} \approx 0.6\mu m.$$

直径就是

$$d \approx 1.2\mu m.$$

□

题目 4. 一次引力灾变使太阳瞬间损失了一半的质量。如果假定地球的轨道是椭圆的，轨道周期是 $T_0 = 1$ 年，地球轨道的椭率 $e = 0.0167$ 。分别计算在以下时间发生引力灾变后地球轨道的运动周期：

1. 7月3日（远日点）

2. 1月3日（近日点）

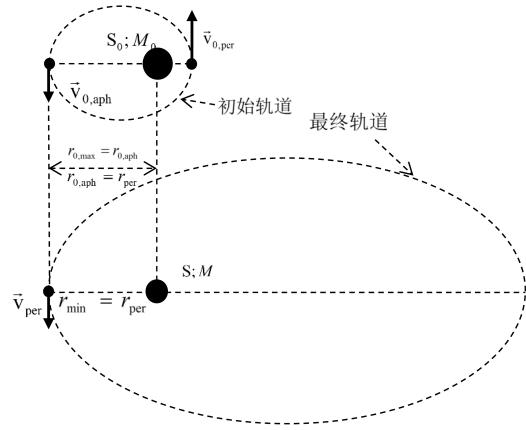


Figure 1: 引力灾变图

解答：地球的轨道是椭圆，太阳发生灾变后地球轨道的形状与太阳发生质量衰减的时刻有关。

1. 7月3日地球位于远日点。此时地球的速度比地球在半径为 $r_{0,max} = a_0(1 + e_0)$ 的圆轨道上的速度小。
2. 1月3日地球位于近日点。此时地球的速度比地球在半径为 $r_{0,max} = a_0(1 - e_0)$ 的圆轨道上的速度大。

所以，只有情况1的轨道周期是可求的。该情况下轨道仍为椭圆，地球可能会与太阳发生碰撞。

相关计算如下：

1. 如图1，在7月3日地球距太阳距离最大，距离为 $r_{0,max} = a_0(1 + e_0)$ 。灾变之前，设：

$v_{0,aph}$	地球在远日点的速度
a_0	地球轨道半长轴
v_0	如果地球轨道为半径为 $r_0 = a_0$ 的圆时, 地球的轨道速度
M_0	地球质量
e_0	地球轨道偏心率

根据开普勒第二定律和能量守恒定律可得:

$$v_{0,aph}r_{0,aph} = v_{0,per}a_{0,per},$$

$$\frac{v_{0,aph}^2}{2} - \frac{GM_0}{r_{0,aph}} = \frac{v_{0,per}^2}{2} - \frac{GM_0}{r_{0,per}}.$$

之前设出的 $v_0 = \frac{GM_0}{a_0}$ 由题意,

$$r_{0,min} = r_{0,per} = a_0(1 - e_0),$$

$$r_{0,max} = r_{0,aph} = a_0(1 + e_0),$$

所以

$$v_{0,per} = v_0 \sqrt{\frac{1 + e_0}{1 - e_0}} > v_0,$$

$$v_{0,aph} = v_0 \sqrt{\frac{1 - e_0}{1 + e_0}} < v_0,$$

因此, 最终形成的轨道是椭圆。

灾变之后, 设:

v_{aph}	灾变后地球在远日点的速度
a	灾变后地球轨道半长轴
v	灾变后, 如果地球轨道为半径为 $r = a$ 的圆时, 地球的轨道速度
M	灾变后地球质量, 即 $M_0/2$
e	灾变后地球轨道偏心率

对于新的椭圆形地球轨道, 原来的远日点变成了近日点, $r_{per} = r_{0,aph}$. 所以

$$a_0(1 + e_0) = a(1 - e),$$

$$a = a_0 \frac{1 + e_0}{1 - e}.$$

在这一点, 速度没法突变, 所以还是有

$$v_{per} = v \sqrt{\frac{1 + e}{1 - e}} = v_{0,aph} = v_0 \sqrt{\frac{1 - e_0}{1 + e_0}}.$$

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} = \sqrt{\frac{GM_0}{a_0} \frac{a_0}{2a}} = v_0 \sqrt{\frac{a_0}{2a}},$$

$$e = 1 - 2e_0 = 0.9666,$$

$$a = a_0 \frac{1 + e_0}{2e_0} = 30.44 \text{ A.U.}$$

接下来，用开普勒第三定律很容易算得新的轨道周期为

$$T = \sqrt{2} T_0 \left(\frac{1 + e_0}{2e_0} \right)^{1.5} \approx 238 \text{ years}$$

2. 1月3日地球位于近日点。此时地球速度比地球维持圆轨道所需的速度大。因此，灾变后地球轨道会变成开放的轨道，例如双曲线的一支或抛物线。因此轨道周期

$$T = \infty.$$

□

II. 天象、历法

题目 5. 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什么样？

解答：《枫桥夜泊》描写了一个秋天的夜晚，诗人泊船苏州城外的枫桥。江南水乡秋夜幽美的景色，吸引着这位怀着旅愁的游子，使他领略到一种情味隽永的诗意图美，写下了这首意境深远的小诗。表达了诗人旅途中孤寂忧愁的思想感情。诗人运思细密，短短四句诗中包蕴了六景一事，用最具诗意图的语言构造出一个清幽寂远的意境：江畔秋夜渔火点点，羁旅客子卧闻静夜钟声。所有景物的挑选都独具慧眼：一静一动、一明一暗、江岸边，景物的搭配与人物的心情达到了高度的默契与交融，共同形成了这个成为后世典范的艺术境界。

然而破解这道题目的关键是：月落在夜半之前，那一定是上弦月。因此当晚的月相是上弦月。

□

题目 6. “荧惑守心”中的荧惑是指什么？

解答：荧惑是火星。

□

题目 7. 在地球表面，沿经线方向纬度每移动 1° ，实际距离移动了多远？

解答：很容易算得，大约是110千米。

□

题目 8. 彗星闪光最亮可达多少等？

- A. 0 B. -3 C. -6 D. -9

解答：如果你有足够的观测经验，则不难选出是D选项。

□

题目 9. 下列关于地球同步轨道卫星描述错误的是？

- A. 轨道周期为24小时
- B. 轨道高度约为3.5万千米
- C. 轨道倾角为0
- D. 轨道偏心率为0

解答：地球自转一周耗时86164秒，即23小时56分钟，不是24小时。所以A错误。

□

题目 10. 以下太阳的参数为恒定的是?

- A. 赤经 B. 赤纬 C. 黄经 D. 黄纬

解答: 太阳的黄纬恒为0。选D。 □

题目 11. 一位探险家在南极点看日出, 此时他看到日面中心正好位于地平线上, 当天有可能是?

- A. 3月20日 B. 3月24日 C. 9月20日 D. 9月25日

解答: 只有在极夜变为极昼时才能叫做“日出”。3月24日, 太阳赤纬已经不是0了, 考虑到大气折射, 太阳的最低位置已经不能是0。所以最有可能是3月20日。 □

题目 12. 金星与地球的会合周期为多少天?

解答: 由回合周期公式, 我们得到

$$\frac{1}{T_{meet}} = \frac{1}{T_{venus}} - \frac{1}{T_{earth}}.$$

金星的公转周期为224.7天, 所以

$$T_{meet} = 583.95 \text{ days.}$$

□

题目 13. 黄道穿过多少个星座?

解答: 十三个, 分别是双鱼座、白羊座、金牛座、双子座、巨蟹座、狮子座、室女座、天秤座、天蝎座、蛇夫座、射手座、摩羯座、宝瓶座。 □

题目 14. 请说出北半球三大流星雨的名称、母体、极大时间和代号。

名称	母体	极大时间	代号
象限仪座流星雨	2003 EH1	1月3日左右	QUA
英仙座流星雨	109P/Swift-Tuttle彗星	8月13日左右	PER
双子座流星雨	小行星1983 TB	12月14日左右	GEM

□

题目 15. 水星大距时离太阳的角距离大约是多少? 金星呢?

解答: 作为一个粗略的估计, 不考虑轨道倾角以及偏心率等因素。如图2。当大距发生时, 内行星与太阳之间的夹角为:

$$\theta = \arcsin \frac{r_{inner}}{r_{earth}}.$$

对于水星, $r_{mercury} = 0.387 \text{ A.U.}$; 对于金星, $r_{venus} = 0.72 \text{ A.U.}$ 。因此

$$\theta_{venus} \approx 46^\circ.$$

$$\theta_{mercury} \approx 23^\circ.$$

□

题目 16. 某年10月8日发生月全食时, 太阳位于哪个星座?

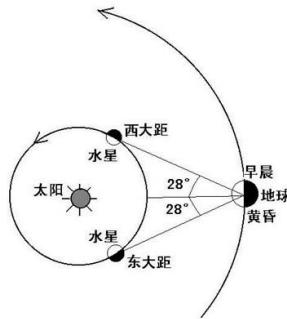


Figure 2: 水星大距

解答：无论10月8日是否发生月全食，太阳都是10月8日的太阳，位于室女座。 □

题目 17. 在天象预报中经常会见到某行星合月。请问行星合月是什么意思？

解答：行星合月，即行星与月亮的角距离最近。 □

题目 18. 北京每个月会有一天没有月出(月出定义为月亮从地平线升起)。请分析这是为什么。

解答：在下弦月的某天(不妨设为某年1月1日)，月出发生在1月1日晚上接近24:00的时候，为了方便不妨假设是23:40。这样月亮落山就是1月2日12点左右(一般情况肯定不是这样，但为了简单不妨设月亮这一天的赤纬为0)。由于月亮第二天比前一天晚升起大约50min，所以1月2日落下的月亮之后再升起，升起时间就到了1月3日。这样，1月2日没有月出。 □

题目 19. 一同学于晴朗的冬季夜晚在城里观测，大约能用肉眼看到10颗左右的恒星，此时他的目视极限星等大概是多少？

解答：在下弦月的某天(不妨设为某年1月1日)，月出发生在1月1日晚上接近24:00的时候，为了方便不妨假设是23:40。这样月亮落山就是1月2日12点左右(一般情况肯定不是这样，但为了简单不妨设月亮这一天的赤纬为0)。由于月亮第二天比前一天晚升起大约50min，所以1月2日落下的月亮之后再升起，升起时间就到了1月3日。这样，1月2日没有月出。 □

题目 20. 计算地球上一个恒星日的长度。如果地球自转方向突然反向，但速度大小不变，那么，新的太阳日和恒星日的长度将分别是多少？(结果以现有的太阳日h、m、s为单位)

解答：设地球参考系中太阳绕地球转的角速度为 ω_{solar} ，设地球自转角速度为 $\omega_{sidereal}$ ，设地球公转角速度为 $\omega_{revolve}$ 。由角速度的合成，在地球按照现在的转法转的时候，有：

$$\omega_{solar} = \omega_{sidereal} - \omega_{revolve},$$

因此有：

$$\frac{1}{T_{sidereal}} = \frac{1}{T_{solar}} + \frac{1}{T_{revolve}}.$$

把 $T_{solar} = 86400\text{ s}$, $T_{revolve} = 365.2422\text{ days}$ 代入：

$$T_{sidereal} = 86164\text{ s}.$$

自转反向之后，变成了：

$$\omega_{solar} = \omega_{sidereal} + \omega_{revolve},$$

即

$$T_{sidereal} = 85929.4 \text{ s.}$$

□

III. 天球坐标系

题目 21. 恒星时的定义是什么？

解答: 春分点的时角就是恒星时。与此定义等价的定义是：此刻上中天的天体的赤经就是恒星时。

□

题目 22. 恒星时 s 、某个天体的时角 t 、这个天体的赤经 α 之间满足什么关系？

解答:

$$s = t + \alpha.$$

□

题目 23. 天体上中天、下中天的时角分别为多少？

解答: 天体上中天时的时角为 $t = 0h$ ，下中天时的时角为 $t = 12h$ 。

□

题目 24. 地球上两个地方的恒星时差为 $2h45m$ ，那么地理经度差了多少？

解答: 绕地球一圈，地理经度差了 360° ，恒星时也差了 $24h$ 。所以这两个地方的地理经度相差

$$\Delta\lambda = \frac{2h45m}{24h} 360^\circ = 41^\circ 15'.$$

□

题目 25. 已知观测地的纬度为 ϕ ，某天体的赤经为 α ，赤纬为 δ ，试问该天体上中天、下中天时的地平高度各是多少？

解答: 由赤道坐标系的知识可以知道，该天体上中天时的地平高度为

$$h_{up} = 90^\circ - |\phi - \delta|,$$

下中天时的地平高度为

$$h_{down} = |\phi + \delta| - 90^\circ.$$

□

题目 26. 永远不落下的星称为拱极星。已知观测地的纬度为 ϕ ，某天体的赤经为 α ，赤纬为 δ ，请给出判断是否为拱极星的判据。

解答: 所谓拱极星，就是下中天地平高度恒大于 0 的天体。由上题得：

$$h_{down} = |\phi + \delta| - 90^\circ > 0,$$

即

$$|\phi + \delta| > 90^\circ.$$

这就是对拱极星的判据。

□

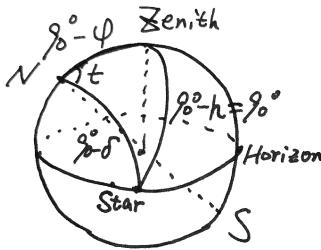


Figure 3: 天球

题目 27. 3月21日，一位观测者在东经120°，北纬30°的位置进行观测，他想拍到猎户座腰带三星于地平线附近的照片，请问什么时间(北京时间)拍摄比较合适？

解答：在这个题目里，我们复习一下天体升落的知识。这里要用到球面三角。在赤道坐标系中，我们建立如图3所示的球面三角形。其中N是北天极，Zenith是天顶，Star是刚好落山的天体，于是 $N - Zenith - Star$ 组成了一个球面三角形。三条边： $N - Zenith = 90^\circ - \phi$, $N - Star = 90^\circ - \delta$, $Star - Zenith = 90^\circ$. 一个顶角 $\angle Zenith - N - Star = t$, 即时角。

球面三角余弦公式：设一个球面三角形的三条边分别为 a, b, c , 三个角分别为 A, B, C , 则有

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A.$$

把这个公式运用在球面三角形 $N - Zenith - Star$ 上：

$$0 = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos t,$$

化简得：

$$\cos t = -\tan \phi \tan \delta.$$

这就是天体升落时角的计算公式。 t 的正值对应落山，负值对应升起。

下面进入正题。猎户座腰带的三颗星分别是 $Ori \alpha, \beta, \gamma$, 它们的赤纬都在0附近，赤经大约为 $5h40m$ 。所以落山时的时角为

$$t = 6h.$$

由公式 $s = t + \alpha$ 我们得到：

$$s = 9h40m.$$

也就是要在恒星时为 $9h40m$ 的时候去拍摄。那北京时间几点对应恒星时 $9h40m$ 呢？我们知道，秋分那天，恒星时与地方时的差别为0。秋分过后第一天，恒星时比地方时快 $3m56s$ ……一直到了春分那天，恒星时比地方时快 $12h$ 。所以北京时间(也就是东经120°的地方时) $21h40m$ 的时候，观测地的恒星时为 $9h40m$ 。

此题回顾了赤道坐标系与相关时间概念的关系。 □

IV. 简单天体物理

题目 28. 太阳系位于银河系的哪条旋臂上？

解答：太阳系在猎户臂上。 □

题目 29. 五车二(御夫座 α)的视差(parallax)为 $\pi'' = 77.2 \text{ microarcsecond}$ (毫角秒)。请问它到地球的距离为多少光年？多少A.U.?

解答：由视差的定义可以迅速得到五车二到地球的距离 d :

$$d = \frac{1}{\pi''} = \frac{1}{77.2 \times 10^{-3}} = 12.95 \text{ pc}.$$

秒差距与A.U.、光年的换算关系为：

$$1 \text{ pc} = 206265 \text{ A.U.}$$

$$1 \text{ pc} = 3.2616 \text{ light year.}$$

所以五车二到地球的距离为42.25光年， 2.67×10^6 A.U. □

题目 30. 比邻星距离我们 $d_0 = 4.243$ 光年，它的视星等大约是 $m_0 = 11.5$ 等。已知它正以 $v = 21.7 \text{ km/s}$ 的速度靠近我们，那么大约多少年后它将变得肉眼可见？

解答：肉眼的极限星等约为6等。所以我们需要计算多久以后比邻星视星等为6等。设能够看到比邻星时，比邻星的距离、视星等、辐射流量分别为 d, m, F .

$$m - m_0 = -2.5 \log \frac{F}{F_0},$$

辐射流量满足距离平方反比：

$$F \propto \frac{1}{d^2},$$

因此

$$\frac{F}{F_0} = \frac{d_0^2}{d^2}.$$

代入星等公式得：

$$m - m_0 = -5 \log \frac{d_0}{d},$$

即

$$d = d_0 \times 10^{\frac{m-m_0}{5}}.$$

于是以 v 的速度，比邻星需要运动的时间为

$$t = \frac{d - d_0}{v}.$$

注意， $1 \text{ light year} = 9.46 \times 10^{12} \text{ km}$, $1 \text{ day} = 86400 \text{ s}$. 代入数据得：

$$t \approx 5.4 \times 10^4 \text{ years.}$$

□

题目 31. 如果把地球压缩成刚好使光线无法逃逸并且不旋转的黑洞，那么它半径大约为多少？

解答：逃逸速度公式为

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{r}}.$$

要使逃逸速度为光速，则：

$$r = \frac{2GM}{c^2}.$$

地球质量约为 $M = 5.965 \times 10^{24} \text{ kg}$, 因此

$$r = 8.8 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

□

题目 32. 一颗绝对星等 $M_V = 10m$, 表面温度为 $T = 10000 \text{ K}$, 热改正B.C. = 0.6m的白矮星, 其半径大约是多少个太阳半径 R_\odot ? (本题中太阳的绝对热星等为 $M_\odot = 4.8m$, 且热星等 $M_{bol} = M_V + B.C.$, 太阳表面温度设为 5800K 。)

解答：不同文献对于热改正B.C.的定义不同, 这里给出了一种定义。热星等对应温度。所以我们算一下这颗星的绝对热星等为

$$M_{bol} = 10.6m.$$

因此有

$$M_\odot - M_{bol} = -2.5 \log \frac{L_\odot}{L},$$

假设这两个星都是绝对黑体:

$$\frac{L_\odot}{L} = \frac{R_\odot^2}{R^2} \frac{T_\odot^4}{T^4},$$

因此

$$M_\odot - M_{bol} = 5 \log \frac{R}{R_\odot} + 10 \log \frac{T}{T_\odot},$$

$$R = 10^{(M_\odot - M_{bol} - 10 \log \frac{T}{T_\odot})/5} R_\odot.$$

代入数据:

$$R \approx 0.02R_\odot.$$

□

题目 33. 一个理想的折射望远镜焦比为5, 物镜焦距是 $f_o = 100\text{cm}$, 目镜焦距为 $f_e = 1\text{cm}$ 。这个望远镜的角放大率是多少? 物镜与目镜之间的距离是多长? 我们给这个望远镜配一个像素大小为 $10\mu\text{m}$ 的CCD, 请问一对角距为 $\theta = 20''$ 的双星在CCD上间距为多少个像素?

解答：角放大率

$$m = \frac{f_o}{f_e} = 100.$$

由光路图可知, 物镜到目镜的距离为 $f_o + f_e = 101 \text{ cm}$.
双星在焦平面上的大小为

$$l = f_o \theta(\text{rad}) = 100\text{cm} \times \frac{20}{206265} = 97\mu\text{m},$$

也就是 $9.7 \approx 10$ 个像素。

□

题目 34. 月亮上某个环形山的直径为 8km 。对于视力最好的人而言，他肉眼可以分辨这个环形山吗？

解答：我们只需要估计一下量级就能知道肉眼有没有可能分辨。一般圆形孔径光学仪器的分辨角都可以用 $\theta = 1.22 \frac{\lambda}{D}$ 来衡量。忽略系数1.22，只看量级。人眼在黑暗中瞳孔直径约为 6mm ，在 $\lambda = 550\text{nm}$ 的波长下， $\theta = 9 \times 10^{-5}$ 。地月距离为 384400km ，所以分辨角对应在月球上是 $Distance \times \theta = 35\text{km}$ 。因此，8千米的环形山不可由肉眼直接分辨。 \square

题目 35. 一个双星系统中，主星的视星等为1等，次星的视星等为2等。求双星系统总星等。

解答：设次星的辐射流量为 F 。则我们可以算出主星的辐射流量为：

$$F_{primary} = 10^{(m_{secondary}-m_{primary})/2.5} = 2.512F.$$

所以总的辐射流量为 $3.512F$ 。所以总星等为

$$m = m_{secondary} - 2.5 \log \frac{3.512F}{F} = 0.636.$$

\square

第二部分 观测部分

题目 36. 你现在站在一片星空下。用指星笔指出天赤道、春分点。

解答：这要熟悉星空中某些具有标志性的星。具体从略。 \square

题目 37. 你现在站在一片星空下。仔细观察飞马座四边形的四颗星，并指出哪一颗最亮。

解答：飞马四边形中最亮的是 α And。如图4。 \square

题目 38. 下图5是2017年9月8日凌晨北京大学位置所见的星空。

1. 请在星图上标出黄道。
2. 请至少连出5个星座，并写出名称。
3. 小明同学不小心将图中一颗亮星给擦掉了，请补上，并说出该星的名称。

解答：答案如图6。丢失的是织女星。 \square

题目 39. 提供的仪器有：接电的赤道仪一台，望远镜一台，目镜若干，星图7.

1. 请写出面前这台望远镜的口径及焦距。
2. 请利用星图在望远镜中寻找辇道增七(β Cyg)。
3. 辇道增七是双星。请使用正确的目镜分解辇道增七A与辇道增七B。在纸上画一个圆圈，标出圆圈对应“东南西北”方向，在这个圆圈中记录你在视场中看到的影像。最后计算这台望远镜的放大倍数。
4. 已知辇道增七A与B的距离为35角秒，估算视场大小。

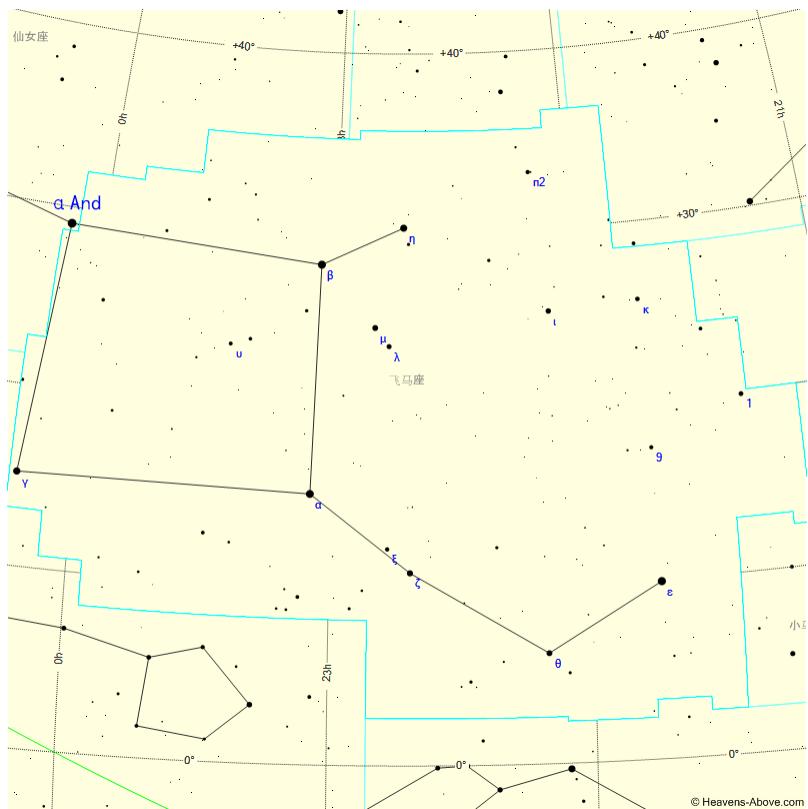


Figure 4: 飞马座星图

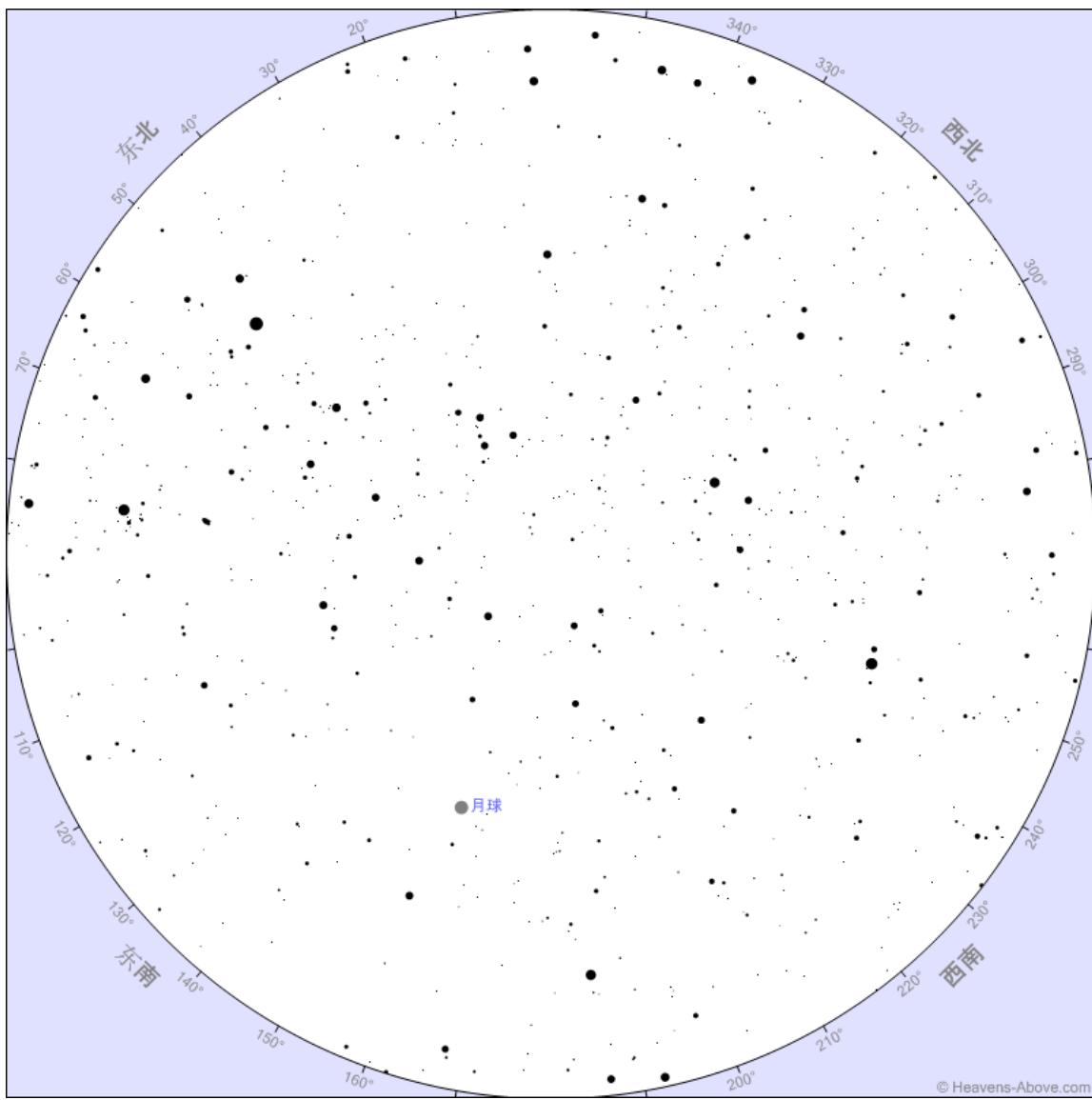


Figure 5

- 解答：
1. 注意：焦距/口径=焦比。自行复习望远镜的有关知识。
 2. 先使用寻星镜寻找辇道增七的大致位置，再用主镜配焦距较长的目镜寻找。
 3. 正确的目镜肯定是要分辨开双星的目镜，所以可以尝试用焦距较小的目镜。判断圆圈东西南北的方法是：关掉赤道仪的跟踪，星点移动的方向即为W，反方向为E；增加赤纬刻度，星点移动的方向为S，反方向为N。放大倍数=物镜焦距/目镜焦距。
 4. 在没有秒表的情况下，只能通过目视，用这35角秒丈量视场大小。

□

题目 40. 提供的仪器有：赤道仪一台，望远镜一台，目镜若干。

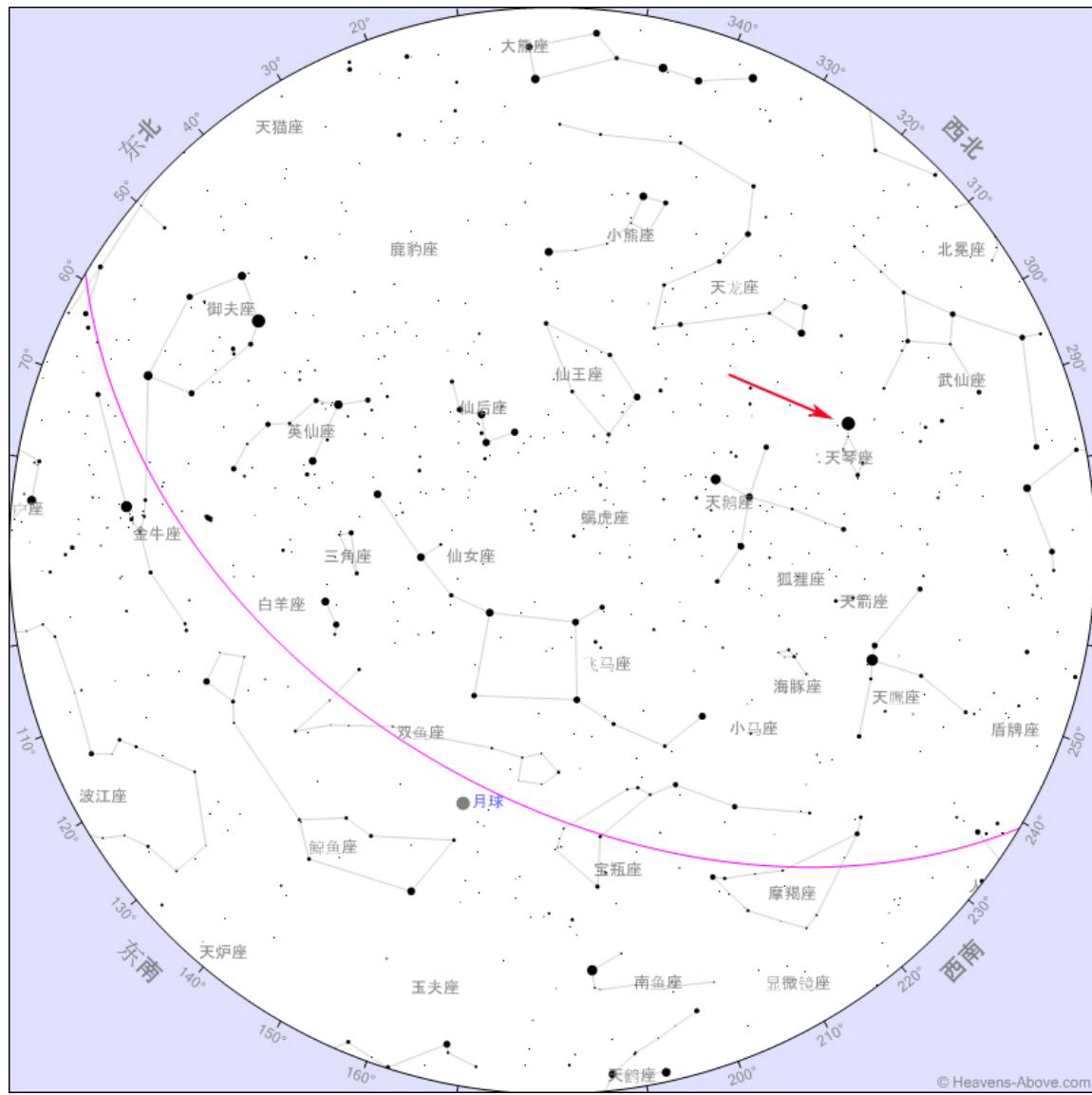


Figure 6: 飞马座星图

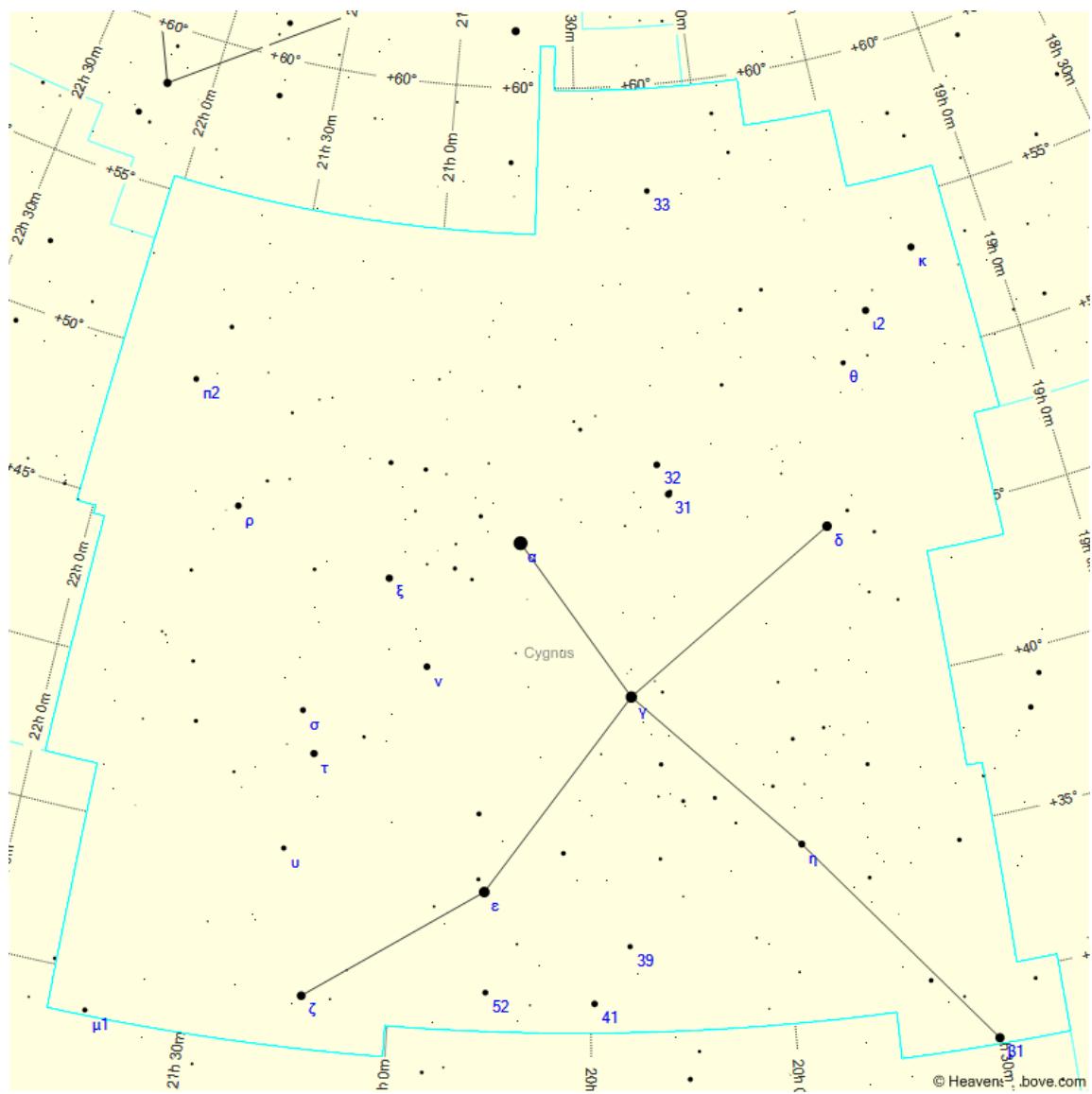


Figure 7: 天鹅座星图

1. 请将这台望远镜调平衡。
2. 请使用使用望远镜找到金星，用合适的目镜观察金星，在纸上画出金星的形状。
3. 请在纸上标出北方向。

解答： 1. 调平衡应该先将赤经轴调整至与地面平行，将望远镜筒指向天，然后调节重锤的位置，使赤经轴平衡。保持赤经轴不动，把望远镜调整至与地面平行，调整望远镜位置，使赤纬轴平衡。在天文摄影中，调平衡是很重要的环节，平衡没调好增加赤道仪的压力，导致跟踪精度下降。要注意，一定是在安装好了目镜、寻星镜之后再调平衡。

2. 金星是内地行星，所以有相位的概念。在东西大距的时候容易观测。这里贴一张图：



Figure 8: 金星相位

3. 判断圆圈东西南北的方法是：关掉赤道仪的跟踪，星点移动的方向即为W，反方向为E；增加赤纬刻度，星点移动的方向为S，反方向为N。

□

题目 41. 提供的仪器有：C8望远镜一台，赤道仪一台，目镜若干。

1. 请观察这台折反射望远镜，画出望远镜的光路示意图，指出这是哪一种光路结构。
2. 现在在望远镜上安装天顶镜和25mm焦距的目镜，并将望远镜调平衡。
3. 使用望远镜观测三个梅西耶天体，在纸上画下你所看到的影像。
4. 计算望远镜的放大倍数。

解答： 1. 折反望远镜有两种大类：马克苏托夫-卡塞格林式，施密特-卡塞格林式。施卡的主要镜是球面反射镜，视场大，容易加工，但是有球差。为了消除球差，在主焦点加一片改正透镜和第二反射镜，可以得到较好的成像效果。施卡视场大，适合于巡天。光路图如图9。

2. 调平衡应该先将赤经轴调整至与地面平行，将望远镜筒指向天，然后调节重锤的位置，使赤经轴平衡。保持赤经轴不动，把望远镜调整至与地面平行，调整望远镜位置，使赤纬轴平衡。在天文摄影中，调平衡是很重要的环节，平衡没调好增加赤道仪的压力，导致跟踪精度下降。要注意，一定是在安装好了目镜、寻星镜之后再调平衡。

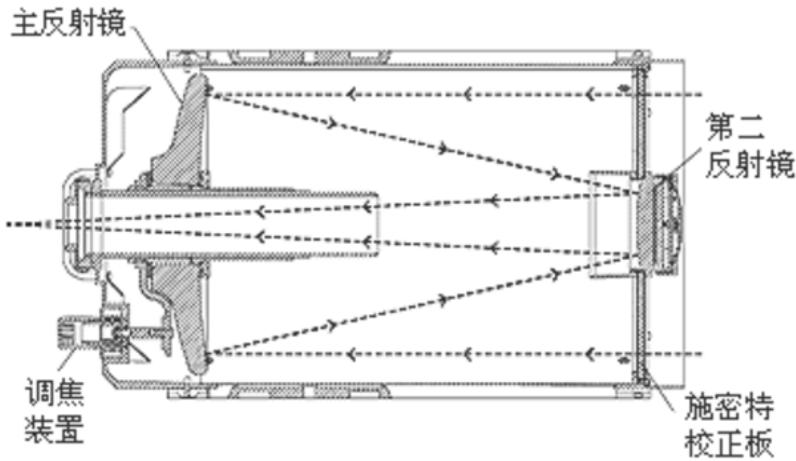


Figure 9: 施密特-卡塞格林望远镜

3. 依不同季节而定。夏天人马座、天蝎座那边有很多星云和疏散星团，很漂亮也很容易看。
冬天猎户座大星云、御夫座、英仙座都有不错的目標。
4. 放大倍数=物镜焦距/目镜焦距。

□

题目 42. 使用望远镜观察月面。

1. 将望远镜组装好。为保护视力，也为使像更加清晰，请考虑采用简单的遮光措施。
2. 请用望远镜找到以下目标：①第谷坑②柏拉图坑③静海。
3. 在图10的月面图上画出今日的月相。
4. 用这台望远镜可分辨的月球上最小的结构有多大？

解答： 1. 组装望远镜时应该注意顺序。一般的顺序是先组装赤道仪，再把主镜安装在赤道仪上。满月的视星等约为-13等，非常耀眼。若不用减光装置观测月亮的话，眼睛会受到严重损伤。减光有不同方式，一种是减小有效口径：用某些东西遮住望远镜口，或者给望远镜盖上打一个小洞；另一种是使用放置在目镜端的减光滤镜。

2. 下面给出月面图（图11）。第谷坑、柏拉图坑和静海都很容易看到。
3. 注意：月面明暗分界线是一条弧线！不要画错了。
4. 我们可以先算一下。望远镜的最小分辨角度为

$$\theta = \frac{1.22\lambda}{D}.$$

设地月距离为 r 。这个角度对应到月面（月面中心，这样不考虑曲率的问题）上的长度为：

$$l = \frac{1.22\lambda}{D}r.$$



Figure 10: 月面图

当然肉眼看见的跟理论计算的有偏差。

□

题目 43. 使用望远镜观测太阳。

1. 请将巴德膜安装在望远镜上。将望远镜对准太阳。
2. 在纸上画出望远镜中的黑子分布，并标出北方向和东方向。
3. 如果使用像素大小为 $24\mu m \times 24\mu m$ 的CCD来进行拍摄，太阳在像中的直径约为多大（太阳的角直径 $\theta \approx 0.5^\circ$ ）？需要至少多大规模的CCD才能拍摄？

解答： 1. 注意：千万不要在无防护措施的情况下将望远镜指向太阳！在寻找太阳的时候，千万不要用无防护的寻星镜寻找太阳！

2. 在画黑子时，如果条件允许，可以画出黑子的本影和半影。在观测考试时，请使用铅笔作答，这样容易修改。标记方向的方法见前文。
3. 设望远镜焦距为 f ，太阳在焦平面上的直径为

$$d = \theta f,$$

其中 θ 必须要化成弧度。一个像素大小为 $l = 24\mu m$ ，所以要把太阳放在视野中，一条边的像素数为：

$$N = \frac{d}{l}.$$

□



Figure 11: 月面地图

题目 44. 现在是7月15日晚上8:00, 北京晴空万里。请估计当前时刻织女星的地平高度。

解答：在星空下估计某颗星的地平高度是天文奥赛常考的内容。常用的方法是：用自己手掌或者手指对应一个视角来衡量天空中的角度。举个例子：将胳膊伸直后，一根手指宽度对应的角度大约是 1° 。这样的话，就可以拿一根手指去度量天空中的角度了。当然还有别的方法，比如可以用两颗星来标定一根手指长度对应多少角度，之后用一根手指的长度去度量天空。方法很多，不再赘述。最后，补充一个计算两颗星间距的公式：

$$\cos d = \sin \delta_1 \sin \delta_2 + \cos \delta_1 \cos \delta_2 \cos(\alpha_1 - \alpha_2).$$

其中 δ_1, δ_2 分别是两颗星的赤纬, α_1, α_2 分别是两颗星的赤经。

题目 45. 请用指星笔指猎户座三星的位置。

解答: 猎户座(图12)应该是天上最好认的星座了。“三星正南，家家拜年”。还需要知道，猎户三星的赤纬都在0附近。 □

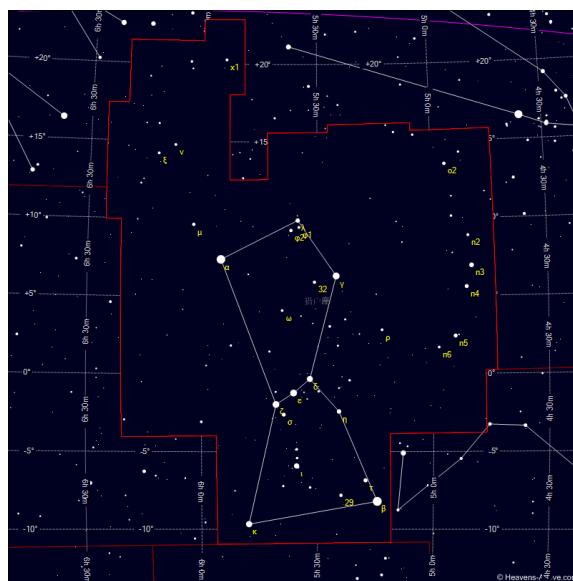


Figure 12: 猎户座

题目 46. 请用手指出可能经过天顶的星的周日运动轨迹。

解答: 考察对天体周日视运动的理解, 参见图13。

题目 47. 把望远镜指向M45,之后让考官检查。写出它的类型:

- A. 疏散星团 B. 球状星团 C. 星系 D. 星云

解答：M45是著名的昴星团，在日本也叫做Subaru。坐落在Mauna Kea山上的日本望远镜也叫做Subaru。昴星团是个疏散星团，非常漂亮，冬天肉眼可见。见图14。 □

题目 48. 如图15所示，2017年9月8日晚19时许位于北京大学静园观测天宫二号。天宫二号过境的轨迹如图中黑线所示。请标出轨迹的方向。

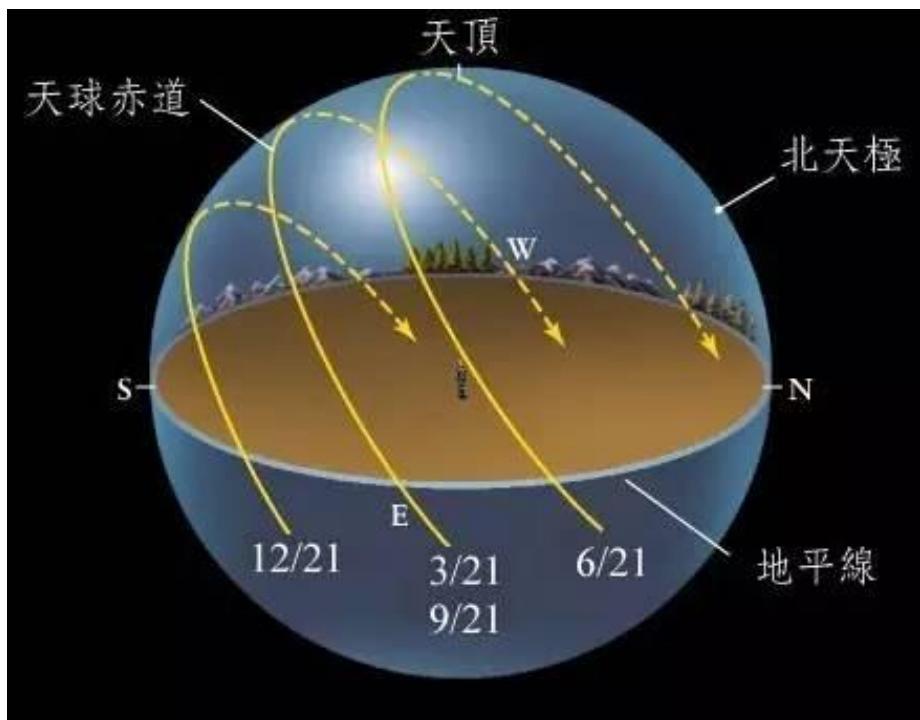


Figure 13: 周日视运动



Figure 14: 昴星团

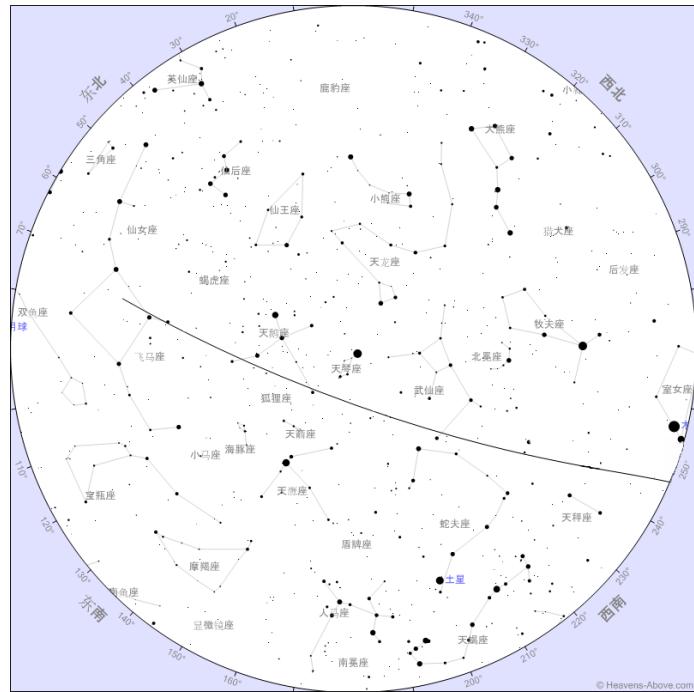


Figure 15: 天宫二号过境

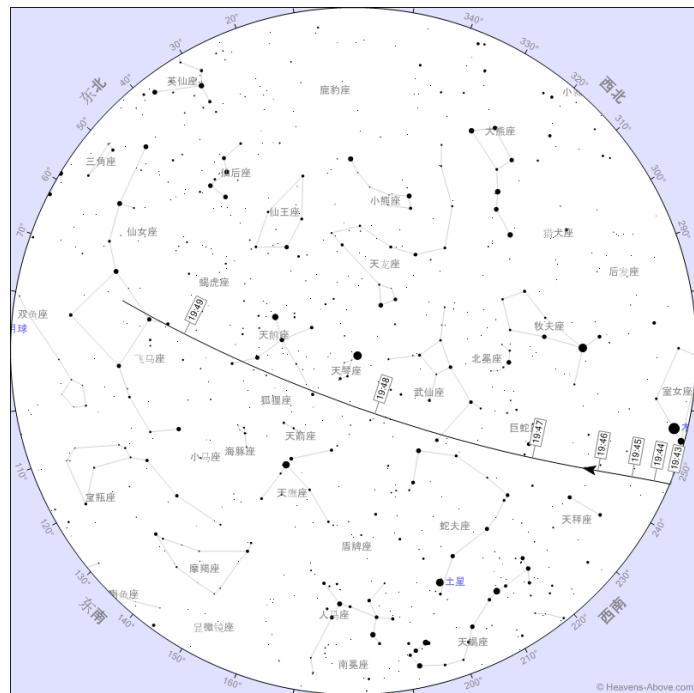


Figure 16: 天宫二号轨迹的方向

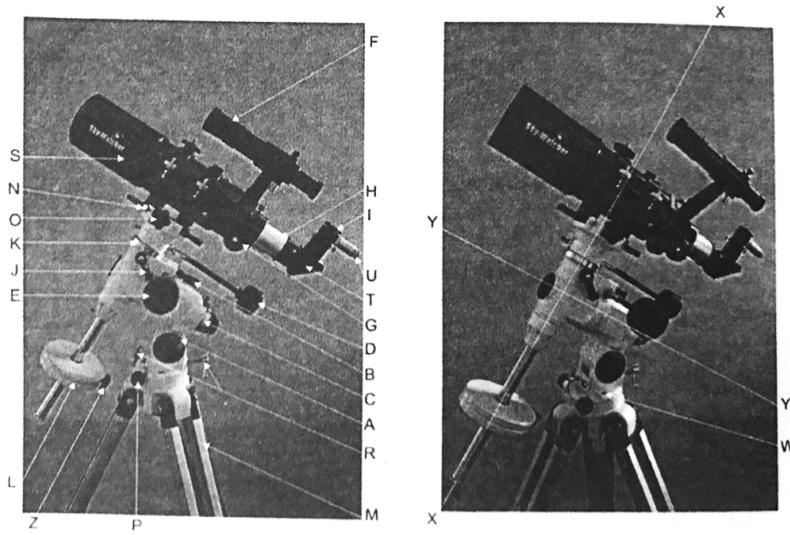


Figure 17: 一台望远镜

解答: 如图16所示: 天宫二号从地平线升起, 最后走进了地球的影子, 所以才变得不可见。 □

题目 49. 如图17所示, 这是一台望远镜。请完成下表格。

名称	字母
(例)三脚架	M
重锤	
赤经刻度盘	
赤纬刻度盘	
赤经锁紧旋钮	
赤纬锁紧旋钮	
地理纬度刻度盘	
寻星镜	
调焦筒	
调焦螺旋	
目镜	
赤纬轴	
赤经轴	
赤经微调杆	
赤纬微调杆	
天顶镜	
水平调节旋钮	
仰角高度调整杆	
重锤锁死螺旋	
水平泡	
目镜十字丝亮度控制旋钮	

解答：

名称	字母
(例)三脚架	M
重锤	L
赤经刻度盘	C
赤纬刻度盘	K
赤经锁紧旋钮	B
赤纬锁紧旋钮	J
地理纬度刻度盘	A
寻星镜	F
调焦筒	H
调焦螺旋	G
目镜	I
赤纬轴	X
赤经轴	Y
赤经微调杆	E
赤纬微调杆	D
天顶镜	T
水平调节旋钮	P
仰角高度调整杆	R
重锤锁死螺旋	Z
水平泡	W
目镜十字丝亮度控制旋钮	U

□

题目 50. 接上题。见图17。

1. 图中赤道仪是什么类型?
 A. 叉式 B. 水平式 C. 道布森式 D. 德国赤道式
2. 光学系统是什么类型?
 A. 牛顿式 B. 卡塞格林式 C. 开普勒式 D. 伽利略式
3. 用寻星镜看物体，看到的像是什么情况?
 A. 旋转了90度 B. 旋转了180度 C. 镜像 D. 正常
4. 该望远镜的口径为 $80mm$ ，焦距为 $1000mm$ ，目镜焦距为 $10mm$ ，请计算角放大率。
5. 计算理论角分辨率(单位：角秒)。
6. 估算极限星等。

解答： 1. 德国赤道式。

2. 开普勒式。
3. 旋转180度。
4. 角放大率为100倍。

5. 最小分辨角公式

$$\theta = 1.22 \frac{\lambda}{D_{telescope}}.$$

取波长为550nm, 可得:

$$\theta = 1.73''.$$

6. 估算极限星等。这里提供一种粗略估算的方法。假设望远镜不会损失光量。则

$$\frac{F_{telescope}}{F_{eye}} = \left(\frac{D_{eye}}{D_{telescope}} \right)^2.$$

由星等公式:

$$m_{telescope} - m_{eye} = 2.5 \log \frac{D_{telescope}^2}{D_{eye}^2} = -5 \log \frac{D_{eye}}{D_{telescope}}.$$

假设人眼的极限星等为6等, 瞳孔直径6mm, 则经过计算, 可得

$$m_{telescope} = 11.6$$

□

第三部分 答题要点

国际天文与天体物理竞赛(IOAA)评分标准:

1	没有详细计算但给出了正确答案	扣50%分数
2	计算中有小错误: 正负号、代换等问题	扣20%分数
3	最终结果没有单位	扣10%分数
4	有效数字不对	扣10%分数
5	物理概念错误 (无论答案正确与否)	扣100%分数
6	从之前步骤传递下来的小错误	不扣分
7	从之前步骤传递下来的大错误	扣20%分数

1. 答题时尽量写英文。在读题时若中文把握不准或者感觉翻译不通顺, 请务必看英文原题。
2. 建议记住考试地点的经纬度 (出国前就做做工作), 以及注意夏令时、地方时、时区之间的关系, 以免考试时紧张出错。
3. 建议将观测考试当天的恒星时、太阳升落、月亮升落的时间记下来, 可能会有助于考试。在观测地点, 要熟悉方位, 提前认清天极和天球上的各个圈, 以免考试时紧张出错。
4. 理论和实测考试中, 不同题目难度不同。试卷题目设置顺序并不一定按照从易到难, 所以在考试时遇到不会的题目先跳过, 不用纠结于答题顺序。
5. 观测考试时, 记得先摘掉镜头盖, 再进行后续操作。

第四部分 补充材料

点击蓝框中的文字会自动跳转到网页。

1. 人造卫星观测指南: *Heavens-Above*非官方使用指南
2. 有关金星的知识: 金星——天堂还是地狱?
3. 有关水星的知识: 谜一样的舞者——水星
4. 有关太阳的知识: “天空中最亮的星”(上), “天空中最亮的星”(下)
5. 有关天文摄影: 天文摄影和极轴的校对; 推荐书目: 《星野摄影》第二版, 作者王为豪。
6. 有关太阳8字与时差的知识: 走不准的时钟和歪七扭8的太阳之舞

参考文献

- [1] 天文爱好者增刊: 天文奥赛指南, 2010, 北京
- [2] Aniket Sule. "A Problem Book in Astronomy and Astrophysics", Cygnus Publishing House, 2014, Romania.
- [3] <http://www.chinaiao.org/>