



现代自然科学普及丛书

大气光象

周淑贞

上海科学技术出版社

·现代自然科学普及丛书·

大 气 光 象

周 淑 贞

上海科学技术出版社

现代自然科学普及丛书

大 气 光 象

周 淑 贞

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 上海中华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 6.75 字数 149,000

1959年11月第1版

1982年7月第2版 1982年7月第3次印刷

印数: 4,001—8,300

统一书号: 13119·132 定价: (科三) 0.56 元

前 言

拙著《大气中的光象》一书已经出版二十多年了。1966年本拟再版,后因十年动乱,停了下来。近年来气象界许多同志和上海科学技术出版社编辑曾多次要我将原书修订再版。我自己多年来又陆续搜集了不少有关大气光象的资料,抽暇将过去断断续续写的内容,加以整理,对原书进行全面修改,并列入《现代自然科学普及丛书》。本书主要增加了以下几个方面的内容:

一、关于我国古代对大气光象的一些认识和成就,如对太阳光盘的大小变化、朝晚霞、海市蜃楼、虹、晕和峨眉光等,在我国古籍中都有不少真知灼见和可贵的观测记录,此次都作了必要的补充。

二、对于各种光象的形成原因作了进一步的说明。增补了:太阳光的分解、蓝天与红日、虹、晕、华等演示实验。这些实验都是作者与华东师大物理系的王纯伦、江浩,地理系的张秀宝、虞景伟等同志协作,于1976年在师大光学实验室中做出,并曾展览过的。通过这些演示实验能够更形象化地阐明这些光象形成的物理机制。

三、大气光象能显示高层大气的物理性质,是未来天气变化的重要先兆。我国古代已有不少天气歌谚利用光象来预测天气。近年来广大气象台、站的工作同志通过大量的观测实践积累了丰富的“观光象,报天气”的经验,散见于《天气月刊》、《气象》等杂志中。作者广为搜集,去粗取精,并从物理意

义上加以说明,充实本书内容,期供参考,以提高单站天气预报的质量。

四、近二十年来欧美对于大气光象的研究进展并不很快,这方面的文献资料我见到的不多。查阅了七十年代以来一些关于大气光象的专著、气象学、气候学书籍和有关杂志(如文献^[56]),吸取了一些新的科研成果,如关于晕和露面宝光的形成理论等,力求能反映国际上新的科学成就。

五、为了适应不同程度读者的需要,在叙述上尽量做到通俗易懂,书末仍附参考文献,目的之一在说明各部分资料的来源出处,其二在供进一步研究者参考。

由于增加和修改的内容较多,乃改名为《大气光象》以示与原书有别。在重写本书的过程中,承中央气象局程纯枢总工程师和南京气象学院王鹏飞教授的敦促鼓励,并提了许多宝贵意见,在此一并致谢。

作 者

目 录

前言

一、视太阳的形象	1
(一)太阳和视太阳	1
(二)太阳光盘为什么冬大夏小	3
(三)小儿辩日中的一个难题	5
(四)难题的奥秘在哪里	6
(五)难题的另一种解答	12
(六)为什么太阳在地平线上的时候呈椭球形	13
二、天空的颜色	19
(一)太阳光有哪些颜色	19
(二)日色的变化与天气	23
(三)美妙的绿光	29
(四)天空为什么是蔚蓝色的	32
(五)青天有多高	34
(六)两个有趣的实验	36
(七)空气混浊时的天色	39
(八)云雾与天色	42
(九)天色与天气	46
三、曙暮光和朝晚霞	47
(一)曙光和暮光是怎样产生的	47
(二)朝晚霞的颜色和方位	49
(三)朝晚霞与未来晴雨的关系	55
(四)曙暮光的照度	59
(五)薄明的时间有多长	61
(六)暮光和曙光的衔接——白夜和昏昼	66
四、海市蜃楼	71
(一)关于海市蜃楼的传说	71
(二)为什么会发生地面折射	72
(三)地面折射耍了哪些把戏	75
(四)蓬莱仙境——上现蜃景	80
(五)沙漠幻景——下现蜃景	87

(六)侧面的镜子——侧现蜃景	90
(七)动荡变化的长空幻影——幻变蜃景	93
五、闪烁	97
(一)闪烁的种类和特性	97
(二)闪烁是怎样产生的	101
(三)闪烁与天气	104
六、虹	107
(一)认识虹的故事	107
(二)虹是怎样形成的	108
(三)霓和多次虹	115
(四)虹的色彩是怎样变化的	118
(五)虹的反射和反射虹	121
(六)云虹和雾虹	124
(七)虹与天气	126
七、晕的一家	133
(一)最早观晕测天的国家	133
(二)晕的一家有哪些成员	136
(三)什么样的云能产生晕	144
(四)22度晕、46度晕和90度晕的形成	149
(五)假日(月)环上各种假日(月)的由来	157
(六)为什么会出现多种多样的晕珥和光弧	162
(七)光柱和光十字是天国的象征吗	166
(八)晕与天气	171
八、华	177
(一)华的大小和色彩	177
(二)华是怎样形成的	179
(三)为什么会出现多种多样的华	185
(四)华与天气	187
九、峨眉光和露面宝光	191
(一)关于峨眉光的传说和记述	191
(二)峨眉光只出现在峨眉山吗	194
(三)峨眉光是怎样形成的	201
(四)露面宝光的现象和成因	202
参考文献	208

一、视太阳的形象

(一) 太阳和视太阳

在辽阔无垠的宇宙空间,有无数发光的星体。从我们地球上看起来,太阳是距我们最近的一个恒星,它的光辉最强。其他的恒星因为距离地球太远了,看上去就远远不如太阳光亮。普通一等星的光度只相当于太阳光的六百万万分之一,因此,夜晚尽管是繁星满天,大地却仍是一片黯黑,只有在太阳光的照耀下的昼半球才是光明的。

我们可以设想,倘使太阳投射到地球上的光度与其他恒星相似,那么地球上根本就没有白昼,任何时刻都处在黑夜状态中。相反地,倘使地球四周其他恒星投射到地球上的光度大多数和太阳相仿,那么地球上就根本没有黑夜,任何时刻都是光明的白昼。正是因为投射在地球上的太阳光以无比强烈的亮度胜过了其他的恒星,大地又是一个不透明的球形体,向着太阳的半个球就形成白昼,背着太阳的半个球就形成黑夜。

太阳是地球上最主要的光源。由天文观测得知太阳是一个炽热的火球。它的直径约为 1391980 公里^①,相当于地球直径的 109 倍多。太阳的表面积约为地球表面积的 12000 倍,整个太阳的体积是地球体积的 130 万倍强,因此拿我们的地球和太阳相比,真是“渺沧海之一粟”了。

^① 见参考文献[1]。

太阳的实际体积虽然如此巨大，我们在地面上肉眼所看到的“视太阳”却好象一个光盘，它的尺度并不大，这里我们所称的“视太阳”表示直观视觉所看到的太阳，以区别于太阳在宇宙间真实的形象和大小。

为什么视太阳的尺度并不大呢？要解答这个问题，首先必须了解地球和太阳间的相互位置，太阳是最接近我们的一个恒星，这里所谓的最接近是就天文学上的尺度而言的。根据天文测量，日地的平均距离是 149597892 公里^①，简作 149600000 公里，这一数字在我们地球上看起来是多么遥远啊！假定地球和太阳之间用一座桥连接起来，又假如每一个桥孔相当于地球的直径，那么这一座桥会有 11742 个桥孔的跨度；如果有人在这座桥上步行，每小时走 5 公里，那么必须继续走 3400 年才能走完；如果在这座桥上有一列快速火车以每小时 100 公里的平均速度驶向太阳，而且中途毫不停站，也得 170 年以后才会到达。用一架快速飞机不作任何停留地飞行，也要在将近 30 年的时间才可以飞抵太阳。任何人都有这样的实践经验：物体距我们愈远，看起来愈小。那末在地球上看到这样遥远距离外的太阳，当然要缩小成尺度不大的光盘了。

但是，就整个宇宙的比例尺来看，太阳和地球的平均距离仅算做一个天文单位。在恒星世界中，除了太阳，要算南部天空的半人马座比邻星离地球最近，它距地球是 272000 个天文单位。其他恒星离开地球的距离更是大得惊人。若是用天文单位来度量，就好象用小汤匙来量海洋的水量似地不适用。天文上通常所用的长度单位是光年。光年等于光在一年内所走的距离。光在真空中所走的速度是每秒 300000 公里。

^① 见参考文献[1]。

一天有 86400 秒, 一年有 365.24 天, 所以 1 光年的距离是:

$$365.24 \times 86400 \times 300000 \text{ 公里} = 9.46 \times 10^{12} \text{ 公里}.$$

相当于 63300 天文单位。

前面所说的比邻星距地球约为 4.3 光年, 但是太阳光到地球上只需 8 分多钟。因此从宇宙比例尺讲来, 太阳是最接近地球的一个恒星了。

视太阳的形象又随着一年中的季节和一天中的时刻而略有变化。我们北半球的人用仪器观测, 在冬季看出视太阳略微大些, 夏季又显得小些。但是仅凭我们的肉眼来看, 在早晨日出和傍晚日落的时候, 视太阳的光盘是大些、扁些, 正午日丽天顶的时候是小些、圆些。为什么会有这些变化呢?

让我们来逐个地解答。

(二) 太阳光盘为什么冬大夏小

地球离开太阳的距离不是固定不变化的。这是因为地球绕着太阳做公转运动, 其轨道是一个椭圆形, 椭圆形有两个焦点, 太阳恰好位于其中的一个焦点上。因此在地球公转轨道

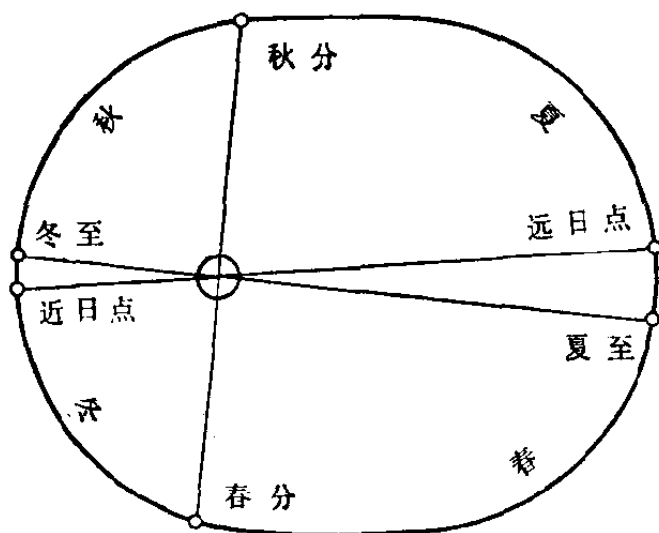


图 1-1 地球绕太阳公转的行程简图

长轴的两端,有一点距太阳所在的焦点最近,称为近日点;另一点距太阳所在的焦点最远,称为远日点。近日点与太阳中心的距离是 147100000 公里,远日点与太阳中心的距离是 152100000 公里,两者的差数是 5000000 公里(图 1-1)。

在我们这一时代里,地球绕太阳公转时于每年一月初通过近日点,七月初通过远日点。例如 1978 年地球经过近日点的时间是 1 月 2 日 7 时,经过远日点的时间是 7 月 5 日 8 时,因此在北半球冬季地球离太阳最近,视太阳就显得大些,夏季地球距离太阳最远,视太阳就显得小些。所以一年各季视太阳的大小就有些变化。

所谓视太阳的大小是用太阳的视直径(或视半径)来表示的。如图 1-2 所示,太阳直径对地球中心所张开的角度,叫做太阳的视直径(视直径的一半叫做视半径)。

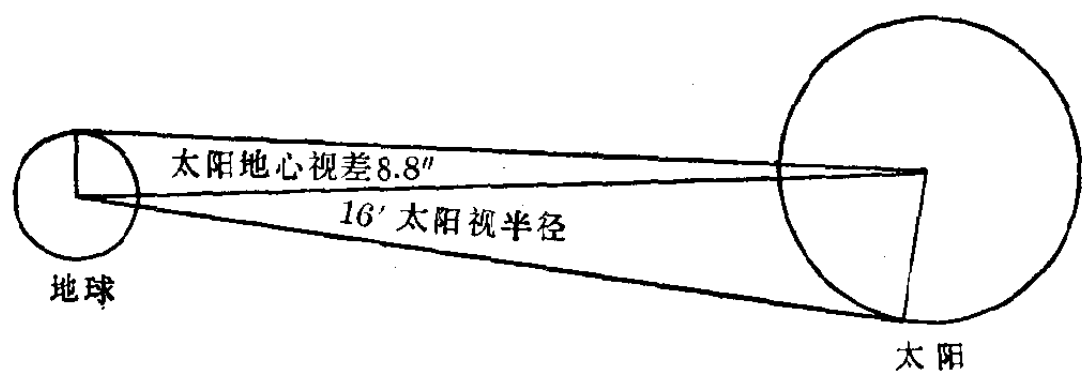


图 1-2 太阳的视半径和地心视差

根据实测的结果:在日地平均距离处,太阳的视直径是 $31'59.26''$ 。在近日点处太阳的视直径是 $32'31.4''$ 。在远日点处太阳的视直径是 $31'27.2''$ ^①,所以在一月初的视太阳要比七月初的视太阳大 $1'4.2''$ 。这种差异只有凭仪器观测才能发现,肉眼是不容易分辨的。

① 见参考文献[2]。

(三) 小儿辩日中的一个难题

为什么早晨的太阳光盘比中午时大?

在《列子》一书中有“小儿辩日”的一段故事,大意说:有一天孔夫子走在路上,遇到两个小孩正在争辩,一个说:“我讲太阳在早晨离我们近,中午远。”另一个说:“不,早晨远,中午近。”他们问孔子到底谁说得对?孔子要他们先说说各自的理由。这个说:“早上看太阳,太阳大得象车轮;中午看太阳,太阳小得象饭碗,不是大的近,小的远吗?”那一个说:“我讲早上太阳离我们远,因为晒在身上一点不热,中午离我们近,因为晒在身上热乎乎地。”究竟谁是谁非,孔子也搞不明白。

早晨太阳位于地平面附近,中午太阳高度角最大,尤其在低纬度地带这时太阳位于天顶或接近天顶,看起来早晨的太阳光盘确比中午时大,这是不是日地距离不同的缘故呢?显然不是的,如果地球依着真正的圆形轨道运行,而太阳正在这个圆形轨道的中心,那么由于地球自转,我们在中午时正好朝向太阳,这时离太阳的距离当然比早晨和黄昏时为近。对于赤道上的各地来讲,正午跟太阳的距离比黄昏时近约 6400 公里(地球赤道半径的长度为 6378.164 公里,极半径 6356.799 公里)。

但是前面已经讲过,地球公转的轨道是椭圆形的,从一月二日到七月五日这上半年日地距离逐渐变远。从七月五日到一月二日这下半年日地距离逐渐靠近。这个距离的变化平均每昼夜大约 30000 公里。因此,从日出到中午,或从中午到日没(一昼夜的四分之一),地面各点跟太阳的距离,平均变化大约 7500 公里,它比地球自转所造成的距离变化还要大些^①。

^① 见参考文献[3]。

所以,从一月二日到七月五日这上半年的时期里,我们在早晨比中午离太阳近些,黄昏比中午离太阳远一些;而从七月五日到一月二日这下半年的时期里恰好相反。

既然在一年中,正午跟太阳的距离并不一定总是比早晨或黄昏时都远,那么为什么中午时的太阳看起来总比晨昏为小呢?不仅如此,月亮在接近地面时,看起来也比它在天顶时为大。

近代光学研究证明:太阳的视直径在一天当中根本没有什么显著变化,在近日点与远日时,日地距离相差5000000公里,太阳的视直径仅差 $1'4.2''$ 。在一天当中早暮与中午时日地距离的差别比近日点与远日点的差别要小得多。因此,实际上太阳的视直径用仪器观测时,在一天中看不出什么变化。我们肉眼所看到的太阳在地平面上比在天顶时大些,是另有原因(下详)的,至于中午时太阳光热比早晨强,那是因为中午时太阳高度角比早晨大,单位面积上受到太阳辐射热的强度远比早晨强,这种差异显然并不是因为日地距离远近而引起的。

(四) 难题的奥秘在哪里

要解答上述难题,必须先了解天穹的形状,然后再看太阳光盘在天穹上所截出“视弧”的大小。

在平坦辽阔的原野上或在一望无际的海洋上,极目四顾,我们看到蔚蓝色的天空好似一个巨大的天穹覆盖在地平面上。天顶是高的,可是地平方向的天边却是更远的。它不是一个半圆球形而是一个比较扁平的弧形,好似一张未拉紧的弓,又好象一个沿着长轴剖开的鸭蛋壳。古人以“天似穹庐、笼盖四野”来形容,的确是维妙维肖的。

为了表示天穹的视觉扁平的程度，我们用天顶到地平
弧线 ZH 的中点 M 的高度角 α (见图 1-3) 来度量。由图 1-3 可
知，天穹的视觉扁平程度愈大， α 角度愈小。若天穹系半圆形
(如图 1-3 的 ZM_0H_0 弧线)，则 $\alpha_0=45^\circ$ 。若天穹呈 ZH_1 弧形，
则其中点 M_1 的高度角为 α_1 。若天穹更为扁平，如 ZH_2 所示，
则其中点 M_2 的高度角为 α_2 。显然， $\alpha_0>\alpha_1>\alpha_2$ 。

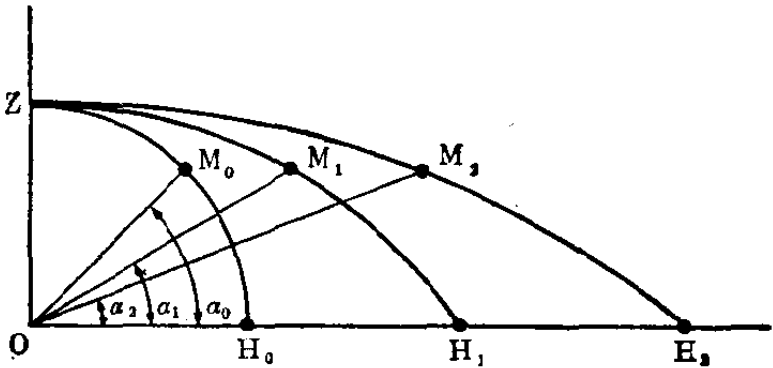


图 1-3 天穹的扁平程度

根据许多学者在不同地区，不同时间，不同天空亮度下，
观测到此 α 角度是介于 20° 与 40° 之间，如下表所示①。

表 1-1 各种情况下天穹的视觉扁平程度(以 α 角大小表示)

观 测 者	白 昼		薄明	无云夜间	
	云天	晴天		有月光	无月光
丹白与犹布(Dember,H.& Uibe,M.)	29.0°	32.0°	32.2°	36.7°	40.1°
密勒(Miller,A.)	29.9°	34.0°		—	—
莱曼(Rcimann)	21.0°	22.5°		26.6°	30.0°
曼德森与丹白(Mendelssohn,T. & Dember,H.)		31.9°		36.6°	—

① 见参考文献[3]。

由上表可知,各学者在不同地区、不同高度所观测得的 α 角度各不相同。但其共同特点则是:白昼的天穹比夜间扁平,多云的云天比晴天扁平,有月光的夜间比无月光的夜间扁平。

天穹的视觉扁平程度还可以用 OH 与 OZ (参考图 1-3) 长度的比值来表示。下表即为 α 角和 OH/OZ 间的关系:

表 1-2 α 角与 $OH:OZ$ 间的关系

$\alpha(\text{度})$	18°	20°	22°	24°	26°	28°	30°	32°
$OH:OZ$	4.49	3.98	3.55	3.19	2.88	2.60	2.36	2.14

地球外面包围着一层大气圈,光线来自天顶则通过大气圈的行程短,来自地平面则通过大气圈的行程长(见图 1-4)。大气中浮悬着许多微粒尘埃,使空气的透明度减弱。因此我们向天顶方向看天穹上的物体,看起来最清楚,也觉得它最近。向天边地平方向看天穹上的物体,因为光线通过大气的行程长,空气的透明度较弱,看上去就有些朦胧不清,因此觉得它非常遥远。这就使我们所看到的天穹不是半圆形,而是一个压扁了的弧形。又,当天空愈光亮的时候,这种地平方向与天顶方向长短的比例看起来愈显著,天穹的弧形就愈显

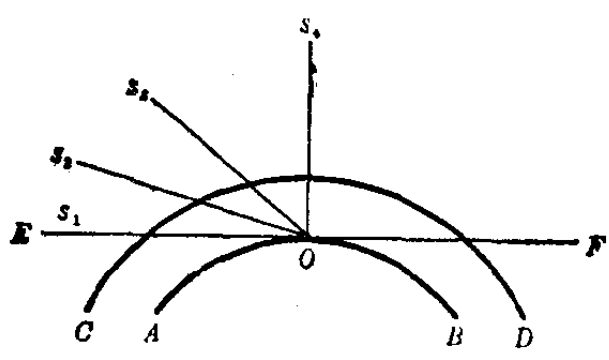


图 1-4 太阳在不同高度下光线穿过大气圈的厚度

得低而扁。

在这个扁弧形的天穹上，来看晨昏和正午时的太阳光盘就会有大小不同的错觉。如图 1-5(甲)所示： $HZ'H$ 为扁弧形的天穹， O 为观测者，图中有斜线阴影的部分在观测者眼中所张开的视角本来是相等的，但它们和天穹所交截的视弧却大不相同，在近天顶 Z' 的部分在天穹上所交截的视弧很小，而在近地平 H 的部分在天穹上所截交的视弧却很大。因此，在正

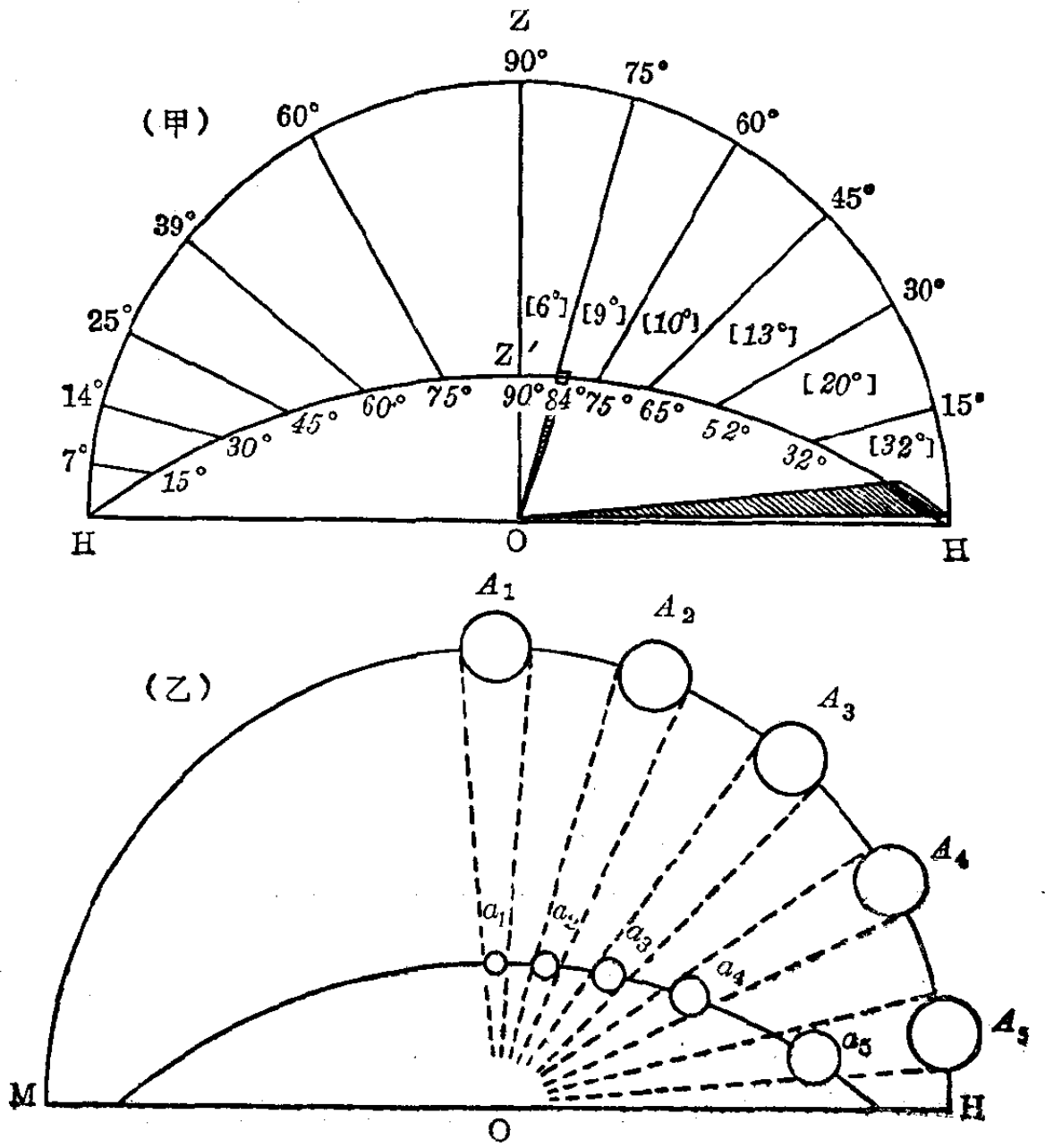


图 1-5 在扁平天穹上估计高度及大小的错觉

午时太阳位于天顶或接近天顶的地方，我们看到太阳光盘在天穹上显得较小。早晨日出和傍晚日落的时候，尽管太阳光盘在我们眼中实际上所张开的视角与正午相仿，但由于它位于地平线上，我们看它在天穹上的视弧却显得较大(见图 1-5 乙)。

在图 1-5(甲) 的左半部，我们将天穹上地平与天顶间的弧线均分为 15° 的间隔，再和实际上应有的高度角(高出地平的角度)相比，很显然我们在天穹上所估计的高度角除天顶外皆比真正的高度角为大。这是我们在天穹上估计天体高度时的错觉。当天体实际高度在 $30\sim 40^\circ$ 时，这种错觉最大。由计算得出的视高度与实际高度的差值如表 1-3 所示。

表 1-3 天穹上各点的实际高度和视高度^①

实际高度	视高度		实际高度	视高度		实际高度 ($\alpha = 22^\circ$)	视高度	
	白天 ($\alpha = 22^\circ$)	夜间 ($\alpha = 30^\circ$)		白天 ($\alpha = 22^\circ$)	夜间 ($\alpha = 30^\circ$)		白天 ($\alpha = 22^\circ$)	夜间 ($\alpha = 30^\circ$)
5°	13.3°	9.6	35°	59.5	50.4	65°	78.9	74.6
10	24.7	18.2	40	63.7	55.3	70	81.3	77.9
15	34.1	25.9	45	67.4	59.7	75	83.6	81.0
20	42.2	33.0	50	70.7	63.7	80	85.8	84.0
25	48.9	39.4	55	73.7	67.6	85	87.9	87.0
30	54.6	45.2	60	76.4	71.2			

在中纬度的人，夏天正午看太阳，好象高挂在天顶，其实太阳的真正高度亦不过在 $60\sim 70^\circ$ 上下。

在图 1-5(甲) 的右半部，我们将天顶与地平间真正的高

① 见参考文献[4]。