

周淑貞 編著

大气中的光象

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本书介绍大气中几种重要的光学现象，侧重以图解和实验方法分析各种光象的成因及形成过程。对于若干比较稀有而且复杂的光象则用实例阐明科学道理。此外并就光象中的气象条件来研究未来天气的变化，作为预测天气的帮助。

本书可供一般爱好气象知识的读者阅读，亦可供学习气象和从事测候工作的读者参考。

大 气 中 的 光 象

周淑贞 编著

*

上海科学技术出版社出版

(上海南京西路2004号)

上海市书刊出版业营业许可证出093号

上海市印刷五厂印刷 新华书店上海发行所总经售

*

开本 787×1092 1/32 印张 5 插页 1 字数 105,000

(原科技版印1,50)册 1958年6月第1版)

1959年11月新1版 1959年11月第1次印刷

印数 1—1,000

统一书号: 13119 · 132

定 价: (十二)0.64元

目 录

引 言.....	1
一、視太阳的形象.....	2
(一)太阳光盤为什么冬大夏小?	3
(二)在地平綫上的視太阳为什么比在天頂上的大?	5
(三)为什么太阳在地平綫上的时候好象一个扁平的柑子形?	12
二、天空的顏色.....	17
(一)太阳光有那些顏色?	18
(二)美妙的綠光.....	24
(三)天空为什么是蔚藍色的?	27
(四)空气混濁时的天色.....	33
三、曙光和暮光.....	40
(一)曙光和暮光是怎样产生的?	40
(二)薄明时的天色和照度.....	42
(三)薄明的時間有多長?	49
(四)暮光和曙光的銜接——白夜和暗晝.....	54
四、海市蜃楼.....	58
(一)远近的变幻和高矮的改形.....	59
(二)上現蜃楼.....	66
(三)下現蜃楼.....	72
(四)側現蜃楼.....	76
(五)幻变蜃楼.....	78

五、閃爍.....	81
(一)閃爍的特性和种类.....	82
(二)閃爍是怎样产生的?	86
六、虹.....	89
(一)虹霓及其他多次虹是怎样产生的?	90
(二)虹的色彩是怎样变化的?	98
(三)虹的反射和反射虹.....	100
(四)虹在天气变化上的预兆.....	103
七、暈.....	107
(一)22 度暈 46 度暈和 90 度暈.....	108
(二)奇妙复杂的暈.....	115
(三)暈在天气上的预兆.....	127
八、华.....	136
(一)华的大小和色彩.....	136
(二)华的成因——光的衍射.....	138
(三)华在天气上的预兆.....	144
九、峨眉光.....	145
(一)关于峨眉光的記述.....	146
(二)峨眉光是怎样产生的?	153
参考文献.....	156

引 言

在辽阔无垠的宇宙空间里，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遥远了，我们看上去就远不如太阳光亮。普通一等星的光度只相当于太阳光的六百万万分之一。因此当夜晚尽管是繁星满天，大地上仍然是一片黯黑，只有在太阳光照耀下的晝半球才是光明的。

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晝，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晝。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晝，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。它不但供给地面上巨大的热能，并且当太阳光线穿过大气圈时产生许多美妙奇异的光象。这些光象不是什么神怪在作弄。它具有一定的科学道理，通过这些光象的研究可使我们更正确地来认识自然，并且能够掌握它的规律来帮助预测天气的变化。所以本书先从太阳谈起。

一、視太阳的形象

由天文望遠鏡的觀察，太阳在天空中看起来总是一个圓盤，这証明太阳是一个球形。球的直徑約为 1,390,600 公里，也就是相当于地球直徑的 109 倍强。太阳的表面积約为地球表面积的 11,900 倍。整个太阳的体积是地球体积的 1,301,200 倍^①。因此拿我們的地球和太阳相比真是“渺滄海之一粟”了。

太阳的实际体积虽然如此巨大，但我們在地面上肉眼所看到的“視太阳”好象一个光盤，它的尺度并不大，这是什么緣故呢？

要解答这个問題，首先必須了解地球和太阳間的相互位置。前面已經說过太阳是最接近我們的一个恒星；这里所謂的“最接近”是就天文学上的尺度比較而言的。根据天文測量，日地的平均距离是 149,500,000 公里。这一数字在我們地球上看起来是多么遙远啊！假定地球和太阳之間用一座桥梁連接起来，又假如每一节桥的骨架相当于地球的直徑，那末这一座桥会有 11,720 节骨架。如果有人在这座桥上步行，每小时走 5 公里，那末必須繼續走 3,400 多年才能走完。如果在这座桥上有一列快速火車以每小时 60 公里的平均速度駛向太阳，那末它虽中途毫不停站，也得 285 年以后才会到达。用一架快速飞机不作任何停留的飞行，也要在將近 30 年的時間以后才可以飞达太阳^②。

任何人都这样的實踐經驗：物体距离我們愈远，看起来愈

① 見参考文献[1]第 337 頁。

② 見参考文献[2]第 4 頁。

小。那末在地球上看到这样遥远距离外的太阳，当然要縮小成尺度不大的光盤了。

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單位。在恒星世界中，除了太阳要算南部天空的半人馬座比鄰星离地球为近，它离地球是 272,000 个天文單位^①。其他恒星离开地球更是大得惊人。若是用天文單位来度量，就好像用一柄小湯匙来量海洋的水量似地不适用。天文上通常所用的長度單位是光年。光年等于光在一年內所走的距离。光在真空中所走的速度是每秒鐘 300,000 公里。一天有 86,400 秒，一年有 365.24 天，所以 1 光年的距离是：

$$365.24 \times 86,400 \times 300,000 \text{ 公里} = 9.46 \times 10^{12} \text{ 公里}$$

相当于 63,300 天文單位^②。

前面所說的鄰星距地球約为 4.2 光年，但是太阳光到地球上來只需要 8 分多鐘。因此从宇宙比例尺講来，太阳是最接近地球的一个恒星了。

視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。我們北半球的人用仪器觀測，在冬季看出視太阳略微大些，夏季又显得小些。但是仅凭我們的肉眼来看，在早晨日出和傍晚日落的时候，視太阳的光盤是大些、扁些，正午日麗天頂的时候是小些、圓些。为什么有这些变化呢？

讓我們来逐个地解决。

(一) 太阳光盤为什么冬大夏小？

地球离开太阳的距离不是固定不变的。这是因为地球繞着

① 見参考文献[3]第 96~97 頁。

② 見参考文献[3]第 96 頁。

太阳做公转运动,公转运动的轨道是一个椭圆形,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147,000,000公里,远日点与太阳中心的距离是152,000,000公里,两者的差数是5,000,000公里(图1)。

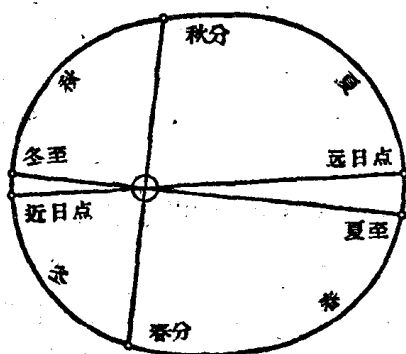


图1 地球绕太阳公转的行程简图

在我们这一时代里,地球绕太阳公转每年一月三日通过近日点,七月四日通过远日点^①。十月四日前后与四月三日前后,则通过日地的中距点(恰好在日地平均距离处)。因此在北半球冬季地球离太阳最近,视太阳就显得大些,夏季地球离太阳最远,视太阳就

显得小些。一年各季视太阳的大小因此就有些变化。

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2所示,太阳直径对地球中心所张开的角度,叫做太阳

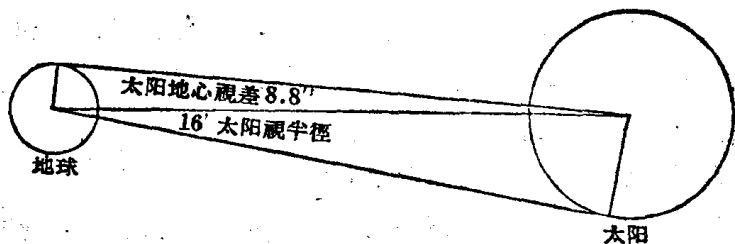


图2 太阳的视半径和地心视差

① 见参考文献[4]第38页。

的視直徑(視直徑的一半叫做視半徑)。根據實測的結果:在日地平均距離處,太陽的視直徑是 $31'59.26''$ 。在近日點處太陽的視直徑是 $32'31.4''$ 。在遠日點處太陽的視直徑是 $31'27.2''$ ①,所以在一月初的視太陽要比七月初的視太陽大 $1'4.2''$ 。這種差異只有憑儀器觀察才能發現,肉眼是不容易分辨的。

(二)在地平綫上的視太陽為什麼比在天頂上的大?

由上所述,可知視太陽在冬季比夏季大些是因為日地距離不同所引起的。那末晨昏時的視太陽用我們肉眼看起來就比正午大,是不是日地距離不同的關係呢?這卻不然。如果地球依著真正的圓形軌道運行,而太陽正在這個圓形軌道的中心,那末由於地球自轉我們在中午時正好朝向太陽,這時離太陽的距離當然比早晨和黃昏時為近。對於赤道上的各地來講,正午跟太陽的距離比黃昏時近約 6,400 公里(地球赤道半徑的長度 = 6378.388 公里,極半徑 = 6356.912 公里②)。

但是,前面已經講過,地球公轉的軌道是橢圓形的。從一月三日到七月四日這上半年日地距離逐漸變遠,從七月四日到一月三日這下半年日地距離逐漸靠近。這個距離的變化平均每晝夜大約 30,000 公里。因此,從日出到中午,或從中午到日沒(一晝夜的四分之一)地面各點跟太陽的距離,平均變化大約 7,500 公里,它比地球自轉所造成的距離變化還要大些③。

所以,從一月三日到七月四日這上半年的時期里,我們在早晨比中午離太陽近一些,黃昏比中午離太陽遠一些;而從七月四

① 見參考文獻[1]第 338 頁。

② 見參考文獻[1]第 334 頁。

③ 見參考文獻[5]第 43 頁。

日到一月三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,那末为什么中午时的太阳看起来总比晨昏为小呢?不仅如此,月亮在接近地平面时,看起来也比它在天顶时为大。

从近代光学的研究上证明:太阳的视直径在一天当中根本没有什么显著变化,在近日点与远日点时,日地距离相差5,000,000公里,太阳的视直径亦仅差 $1'4.2''$ 。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时的差别要小得多。因此实际上太阳的视直径用仪器观测时在一天中是看不出什么变化的。我们肉眼所看到的太阳在地平面上比在天顶时大些,完全是一种光学幻觉。也就是凭人目估计天穹上物体大小和高度时的一种错觉。

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复盖在地平面上。天顶是高的,可是地平方向的天边却是更远的。它不是一个半球形而是一个比较扁平的弧形,好似一张未拉紧的弓,又好像一个沿着长轴剖开的鸭蛋壳。

为了表示天穹扁平的程度,我们用天顶到地平的弧线 ZH 的中点 M 的高度角 α (见图3)来度量。由图3可知,天穹愈扁

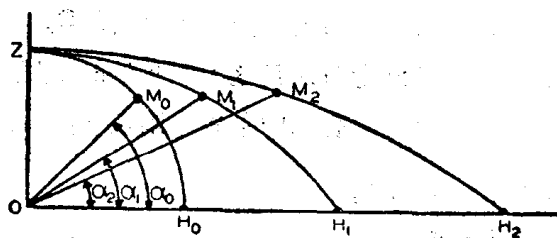


图3 天穹的扁平程度

平, α 的角度愈小。若天穹系半圓形(如图 3 的 ZM_0H_0 弧綫), 則 $\alpha_0 = 45^\circ$ 。若天穹做 ZH_1 弧形, 則其中点 M_1 的高度角为 α_1 。若天穹更为扁平如 ZH_2 所示, 則其中点 M_2 的高度角为 α_2 。很显然, $\alpha_0 > \alpha_1 > \alpha_2$ 。

根据許多学者在不同地区, 不同時間, 不同的天空亮度下, 觀測到此 α 的角度是介于 20° 与 40° 之間, 如下表所示^①。

第 1 表 各种情况下天穹扁平程度
(以 α 角大小表之)

觀 測 者	白 晝		薄 明	无 云 夜 間	
	曇 天	晴 天		有 月 光	无 月 光
丹白与犹布 ^②	29.0°	32.0°	32.2°	36.7°	40.1°
密勒 ^③	29.9°	34.0°		—	—
萊曼 ^④	21.0°	22.5°		26.6°	30.0°
曼德森与丹白 ^⑤	—	31.9°		36.6°	—

由上表可知, 各学者在不同地区, 不同高度的所在觀測所得的 α 角度各不相同。但其共同特点則为白晝的天穹比夜間扁平, 多云的曇天比晴天扁平, 有月光的夜間比无月光的夜間扁平。

天穹扁平的程度还可以用 OH 与 OZ (参看图 3) 長度的比值来表示。下表即为 α 角和 $\frac{OH}{OZ}$ 間的关系:

① 見参考文献[5]第 61 頁。

② Dember, H. & Uibe, M.

③ Miller, A.

④ Reimann

⑤ Mendelssohn, T. & Dember, H.

第 2 表 α 角与 $OH:OZ$ 間的关系

α (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

地球外面包圍着一層大氣圈，光線來自天頂則通過大氣圈的厚度小，來自地平則通過大氣圈的厚度大(見圖 4)。大氣中

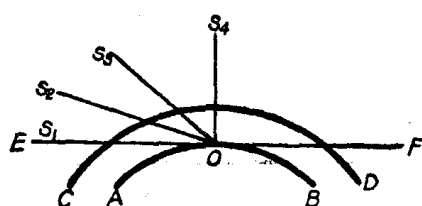


圖 4 太陽在不同高度下光線穿過
大氣圈的厚度

浮懸着許多微粒塵埃，使空氣的透明度減弱。因此我們向天頂方向看天穹上的物體，看起來最清楚，也就覺得它最近。向天邊地平方向看天穹上的物體，因為通過的大氣層厚，空氣的透明度較弱，看上去就

有些朦朧不清，因此覺得它非常遙遠。這就使我們所看到的天空不是個半圓球形，而成為一個壓扁了的弧形。當天空愈光亮的時候，這種地平方向與天頂方向長短的比例看起來愈顯著，天穹的弧形就愈顯得低而扁。

在這個扁弧形的天穹上，來看晨昏和正午時的太陽光盤就會有大小不同的錯覺。如圖 5 (甲)所示， HZH 為扁弧形的天穹， O 為觀測者。圖中有斜綫陰影的部分在觀測者眼中所張開的角度(視角)本來是相等的。但是它們和天穹所交的弦卻大不相同。在近天頂 Z' 的部分在天穹上所交的弦很小，而在近地平 H 的部分在天穹上所交的弦卻很大。在正午時太陽位在天頂或在接近天頂的地方(只有在南北回歸綫內的热帶地方太陽才有機會升到天頂)，因此我們看到太陽光盤在天穹上顯得較小。在

① 見參考文獻[45]第 903 頁。

早晨日出和傍晚日落的时候，尽管太阳光盘在我們眼中实际上所張开的角度与正午相仿，但由于它位于地平綫上，我們看它在天穹上的角直徑却显得較大(見图 5 乙)。

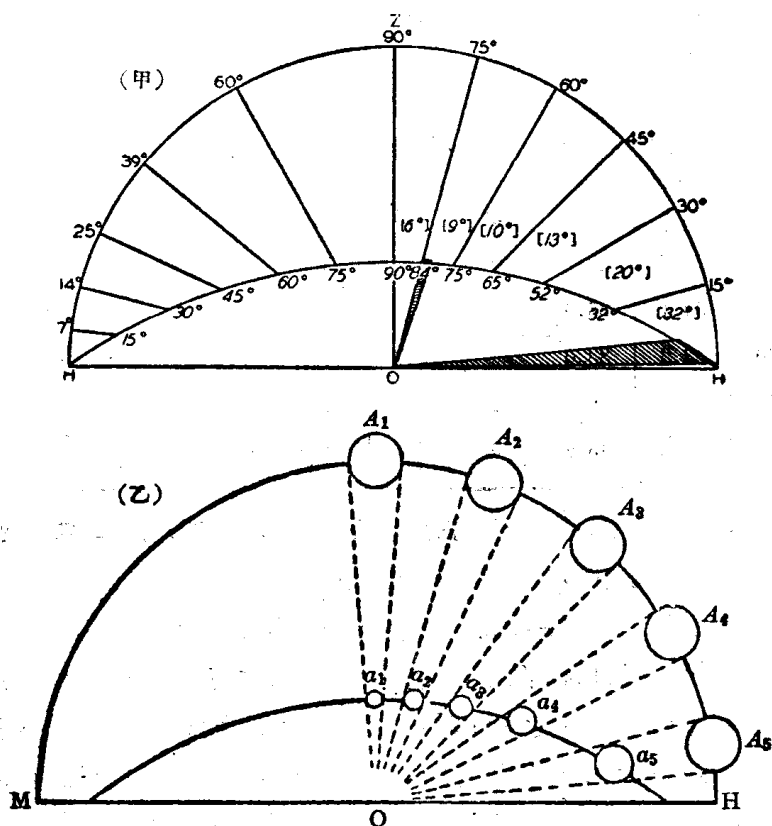


图 5 在扁平天穹上估計高度及大小的錯覺

在图 5 (甲)的左半部，我們將天穹上地平与天頂間的弧綫均分为 15° 的間隔，再和实际上应有的高度角（高出地平的角度）相比，很显然我們在天穹上所估計的高度角除天頂外皆比真正的高度角为大。这是我們在天穹上估計天体高度时的錯覺。当

天体实际高度在 $30^\circ \sim 40^\circ$ 时, 这种错觉最大。由计算得出视高度与实际高度的差值如第 3 表所示。

第 3 表 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 $60^\circ \sim 70^\circ$ 上下。

在图 5 (甲) 的右半部, 我们将天顶与地平间真正的高度角均分为 15° 的间隔, 再和它们在天穹上所占有的弧度相比。那么很显然在真正高度角为 $0^\circ \sim 15^\circ$ 的所在, 而在天穹上所显示的弧度却为 $0^\circ \sim 32^\circ$, 其间所占有的角度为 32° 。在真正高度为 $15^\circ \sim 30^\circ$ 的所在, 而在天穹上看来却由 $32^\circ \sim 52^\circ$, 其间所占有的角度为 20° 。这表示当天体实际高度小于 30° 的时候, 我们在天穹上来估计天体的角直径, 必然比天体的真实角直径为大。愈近地平, 这种估计过大的错觉愈厉害。当天体真实高度大于 35° 的时候, 则我们在天穹上来估计天体的角直径, 必然失之过

① 见参考文献[45]第904页。

小。例如在真实的高度角为 $75^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 的时候,实际上为 15° 的角距离,在天穹上看来只有 6° 的角距离(参看图 5 (甲) 右半部括号中的数字)。只有当天体真实的高度角在 $30^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 时,天体在天穹上角直径的大小和它的应有角直径相仿。因此当太阳真实的高度角小于 30° 的时候,它的光盘在天穹上显得大些。当太阳真实高度角大于 35° 的时候,它的光盘在天穹上显得小些。只有当太阳真实高度角在 $30^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 时,它的光盘在天穹上看来是恰如其分的。

我們在天穹上看月亮的大小亦有同样的錯覺。当月亮才升到地平綫上的时候,看起来比它在天頂的时候要显得大些。不过大小的比例和太阳光盘略有不同。据学者的估計,当太阳在地平綫上时,我們看到太阳光盘的視直径相当于它的真实視直径的 2.7 倍。当月亮在地平綫上时,我們看到它的視直径,相当于它的真实視直径的 2.2 倍^①。

造成上述錯覺的另一原因,是由于我們用不同的标准来比較天穹上物体的大小的緣故。图 6 是一幅很有趣的景象^②。图中画出两个月亮,一个月亮剛露出在地平綫上,这时我們若掩住图中另一个月亮,而凝視远方地平綫上的电杆是那么矮小,而这一輪滿月却显得很大。若是我們用手將这个地平綫上的月亮掩蔽,而观察另一个位在天頂上的月亮,它和近景的电杆相比却又显得很小时。

早晨和傍晚时,太阳在地平綫上,这时我們看上去觉得它离开我們很远,再看看那个地方地平綫上的实物如山丘、村庄、河

① 見参考文献[7]第 322 頁。

② 見参考文献[8]第 79 頁。

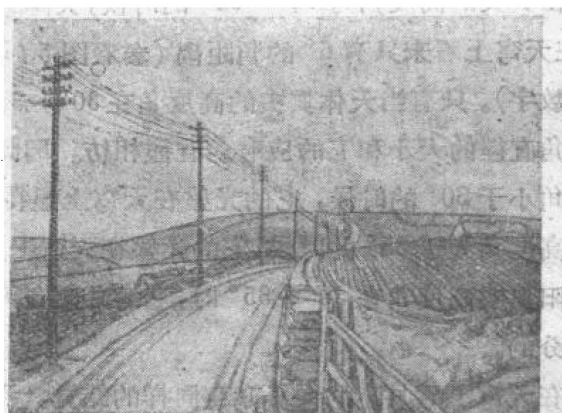


图 6 月亮大小的错觉

湖等等都显得很小时，两下一对比，觉得在如此遥远的距离处，太阳的光盘还呈现出这样的尺度，这时的太阳好大啊！当中午的时候，太阳位在天顶或天顶附近，我们看上去觉得它这时离我们比较近，这时在天穹上又没有别的物体和它相比，我们再低下头来看看我们眼前所见的房屋树木都比它大得多，因此在我们的印象中就觉得这时的太阳比早晨或傍晚时小了。

因此，我们可以肯定地说：太阳（或月亮）在地平线上的时候看起来比它在天顶时大些，完全是一种光学幻觉，并不是由于日地距离不同所引起的。

（三）为什么太阳在地平线上的时候好象一个扁平的柑子形（见图7）？

要回答这个问题，必须先从小光射线在大气中的折射现象说起。

当光射线在同一密度的介质内进行的时候，光的速度不变，它以直线的前进。可是当光射线由这一介质进入另一密度不同的介质，光的速度就会发生改变，光进行的方向也发生屈折。这

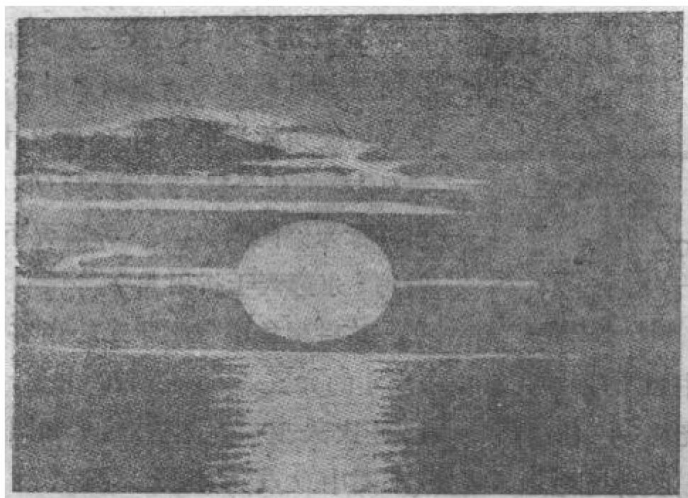


图 7 日 落

种现象叫做折射。

当直杆倾斜地插入水中，我们看到杆在水面下的部分与它露出在水面上的部分好象折断的一般(如图 8 所示)。这就是折射现象的一个实例。

当我们把直杆垂直地插入水中，那末看起来杆在水面下的部分与它露出在水面上的部分仍然是笔直的连贯在一起，并没有折断的形状。由此我们知道当光线以垂直于不同介质分界面的方向进行时，虽然两种介质的密度不同，也不会发生折射。

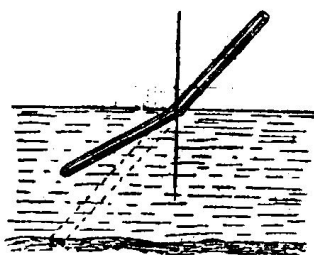


图 8 光线折射的实例

通过许多实验研究，我们得出折射的规律如下(参考图 9)：设 AO 为一支通过空气层的入射光线，在 O 点射入水中，通过 O 点垂直于水面的 DOE 直线称为法线。入射线与法线所交的角称为入射