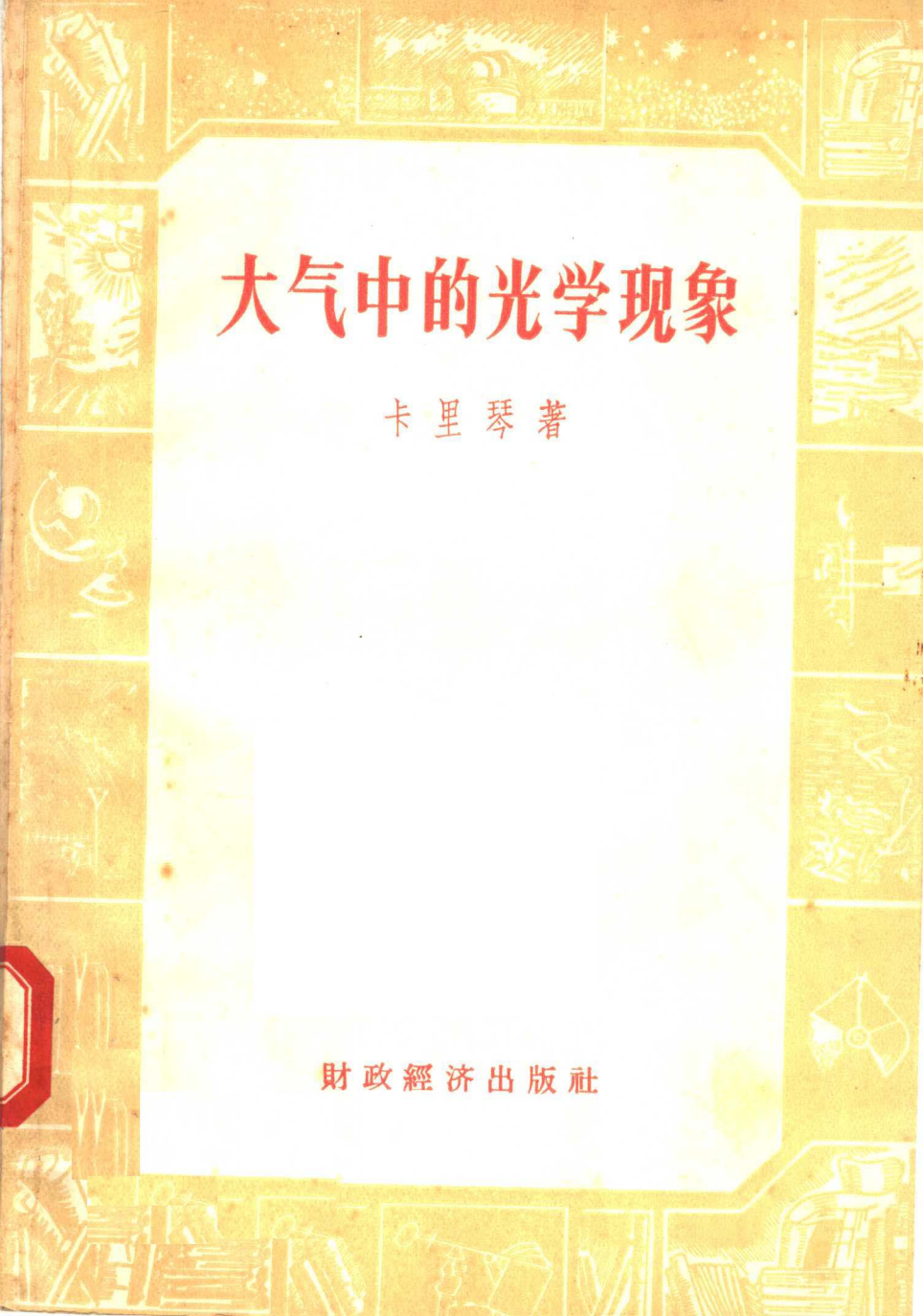


The book cover features a decorative border composed of various scientific and technical illustrations. These include diagrams of optical lenses, mechanical components like gears and pistons, and other scientific symbols. The border is rendered in a golden-yellow color against a darker background.

大气中的光学现象

卡里琴著

財政經濟出版社

大气中的光学现象

周 昌 著

科学出版社

大气中的光学现象

卡 里 琴 著

戴禾年、沈浦洲译

內 容 提 要

本書通俗地介紹了大氣中光學現象的發生及其物理實質。作者卡里琴是蘇聯功勳科學家，曾長期從事光學現象的觀測；作者在這本小冊子裡介紹了不少的實際觀測經驗。本書把光學現象的觀測同天氣的變化和預報聯繫起來，尤為本書之特點。

本書由中央氣象局推薦出版，供氣象台站觀測員和氣象學校學生參考，此外並可供廣大讀者閱讀。

Н. Н. Калигин
ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ
Гидрометеорологическое издательство
Ленинград 1948

根據蘇聯水文氣象出版社
1948年列寧格勒俄文版本譯出

大氣中的光學現象

[蘇] 卡里琴 著

戴禾年、沈浦淵 譯

財政經濟出版社出版

(北京西便門胡同7號)

北京市書刊出版業營業許可證出字第60號

中華書局上海印刷廠印刷 新華書店總經售

787×1092 1/32 · 17/8 頁碼 · 3 插頁 · 35,000 字

1957年2月第1版

1957年2月上第1次印刷

印數：1—4,500 定價：(9) 0.32 元

統一書號：13.055.28 57.1. 京型

原出版者說明

水文气象出版社以這本小冊子的問世作为出版一套新的科学普及叢書的开始。这套科学普及叢書主要是供苏联观测站哨網的工作人員閱讀的。

这套叢書的主要目的是由它的名称决定的。

“水文气象观测員叢書”的使命，是帮助水文气象站的工作人員，对观测到的水文气象現象的物理实質以及它們对国民經济的实际意义，建立明确而清晰的概念。叢書將帮助观测員提高在各个課目方面的熟練程度，找到工作中所遇到的問題的答案，也可以供他們作投考水文气象学校的基本参考書。

同時，叢書將滿足每一位希望較詳細地了解自然界中的水文和气象現象的讀者的要求，因为本叢書文字淺显易懂，并以若干具体实例來說明自然界中發生的現象，解釋了这些現象的起因和实际意义。

目 录

原出版者說明.....	3
序.....	5
天穹的形狀.....	7
天空的藍色.....	11
大气的透明度.....	15
折射,太陽、月亮在地平綫附近的變形,海市蜃樓.....	22
星星的閃光.....	27
綠光.....	30
曙暮光.....	35
霞.....	39
虹.....	47
华.....	55
暈.....	61

序

写这本小册子的主要目的是要使气象和高空气象观测員們对大气中所發生的光学現象發生更大的兴趣，帮助大家用大气中發生的过程来解釋这些現象，并找出它們之間的关系。

大气中的光学現象和天气情况的变化，其間有着十分密切的关系。因此，大家都知道，前者的出現常是天气变化的主要的地方性預兆。

如果观测員不仅記錄下了观测到的光学現象，同时也了解引起这一光学現象的那些大气过程，那末，不單观测工作本身將成为内容更有趣、更丰富，和更值得深入探討的工作；而且观测員也能了然于当时大气中所發生的过程了。大气——是我們每天都得翻閱的一本書。一定要学会讀這本書，这样我們就能看到其中包含着多少有趣的內容了。

这本小册子以培养观测員对科学研究工作的爱好为目的。有价值的科学研究工作，不仅是在設備优良的实验室里或观察台里可以完成，也不仅是在具有复杂貴重的仪器基础上才能完成，同样也可以在完全没有仪器的情况下完成，特别是大气光学領域中的研究工作，更是如此。爱好研究的熟練的观测員，不仅能够也应当收集資料，而且还应当亲身参加科

学研究工作,特别是按照区域研究的方针参加研究工作。

这本小册子里所谈到的,只是一些不需要任何仪器或者仅借助于最简单的自己都能制作的设备来进行观测的现象。

天穹的形狀

如果我們在開曠的地方注視天穹，就可以發覺，我們所看到的天穹不是半球形的，却是略呈拱起的形狀的。先用肉眼來估計天頂和地平綫間距離的中點，或者我們所認為的位于地平綫之上高度為 45° 的那一點；然後不論用什麼量角儀器測量一下這一點的位置，那我們將親眼看到這一點的高度並沒有 45° ，而只有 22° 左右。這個在圖1中用字母 α 表示的角，或是 OB 與 $O3$ 的比值，可以作為天穹扁平率的量度。位于地平綫附近的點，我們看來比位于頭頂上（天頂）的點，距離觀測員要遠2倍到3倍。

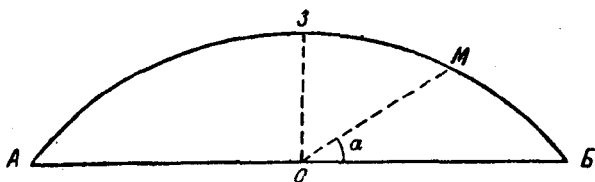


圖1. 表示天穹扁平率的草圖

按照我們的感覺， α 角愈小，天穹的扁平率愈大。表1表示 α 角和扁平率 $OB:O3$ 中間的關係。

表1. α 角和天穹扁平率之間的關係

α°	18	20	22	24	26	28	30	32
$OB:O3$	4.5	4.0	3.6	3.2	2.9	2.6	2.4	2.1

不論用什么方法,只要量出 α 角后,我們就能按照表 1 来确定天穹的扁平率。圖 2 說明了实际天穹与我們所感觉到的天穹的情况。

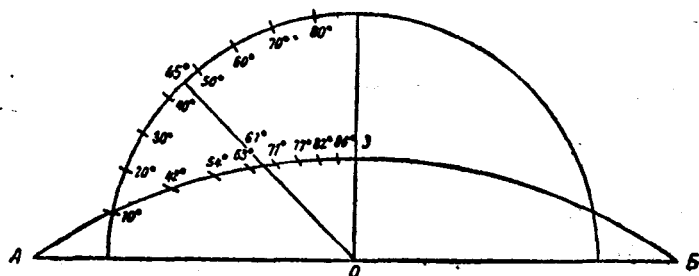


圖 2. 顯示視天穹和实际天穹的关系圖

天穹上各点的視高度位于弧 A3B 上,而实际高度却在半圓周上。实际高度和視高度之間的关系列于表 2 中。根据該表

表 2. 天穹上各点的实际高度和視高度

实际高度	視 高 度	
	白 天	有星的夜間
5°	13°	10°
10	25	18
15	34	26
20	42	33
25	50	39
35	60	50
45	67	60
55	74	68
65	79	74
75	84	81
85	88	87

可以作出一系列有助于气象观测员实际工作的非常重要的结论。表内的数据指明,进行观测时,我们往往过高地估计了所见目标物的高度。例如,如果有个别云块实际位于高度 5° 处,而观测员每记作云块位于高度 13° 处。对于高度为 15° 的云,观测员每估计成位于 34° 等等。

在中纬度的正午时分,我们看到的太阳几乎是在天顶,其实它的真正高度为 60° 左右。观测极光和流星时,我们也总是过高的估计了它们的高度。

如果云主要分布在地平线附近;那末,在按照十成制估计云量时,我们往往将云量估计得过多。

这又怎么解释呢?主要原因在于当我们向上看时,如果不把头向后仰,那目标物看来似乎比位于水平方向上的同样的目标物缩短了一些。例如一棵砍倒的树木,看起来好象比长在地上的要长些。这是因为沿着水平方向,由于有空气远

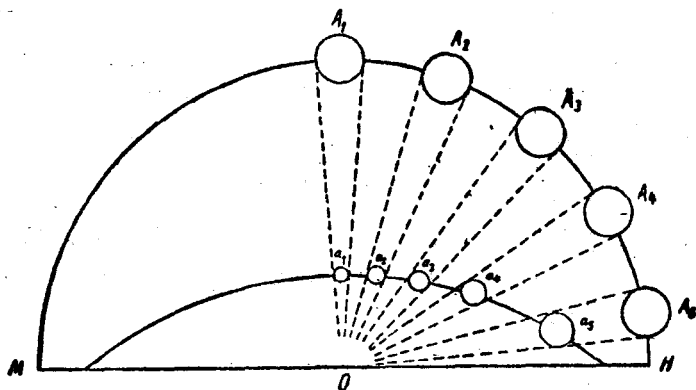


圖 3. 地平線附近太陽和月亮視大小的解釋

景的作用,物体被遮上了一層霾色,看起来较为昏暗,因而也就显得遥远,而沿着垂直方向的空气則较为透明。

除此以外,目光向上看时遇不到什么物体,而沿着水平方向,視線必然会遇到大量的物体,其中也有很远的,这样就造成地平綫距离增大的印象,也就構成天穹扁平的概念。

如果每天測量天穹上我們看来是位于天頂到地平綫中点的高度角 α ,那末,我們將會發現这个 α 角是可以随着不同的天气情况和季节,在 18° 到 32° 的范围中变化的。

α 角的各季平均值如下:

季节	春	夏	秋	冬
α°	20.4	21.5	22.0	20.7

人們尚未对天穹的扁平率,特别是它与天气变化的关系,进行过有系統的观测,要是詳細地研究这个问题,最好是进行有系統的观测。

地平綫附近的太陽和月亮比在較高处时要大些,这是由于天穹在我們看来是扁平的緣故。我們可以把天穹看成是一个大銀幕,观测員所看到的就彷彿是已投影到銀幕上的星球。假如天穹不是扁平的,那末距离观测員一样远的星球,大小就应当相同。圖 3 中 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 和 A_5 几个圓圈代表离地平綫不同高度的太陽,要是把这些圓圈投影在扁平的天穹上,就得到相应的圓圈 a 、 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 和 a_5 ,这些圓周愈接近地平綫就变得愈大。这也可以說明为什么星球愈靠近地平綫看起来就愈大的事实。

观测的結果証明,当太陽和月亮在地平綫附近时,我們看到的大小可以比它們处于較高位置时大二倍。

天空的藍色

這是一個看來很簡單的問題：為什麼天空是藍色的，而不是其他顏色呢？不久以前雷萊（Релей）曾就這一問題求出答案。他先從理論上論證。隨後又以實驗証實了當光綫射到任何來源的質點上時，只要質點的直徑比光波波長還要小，就要發生散射，散射量與波長的四次方成反比。這些質點可以是構成大氣的气体分子本身，也可以是水汽、微塵等等。

所以從煙筒里冒出來的煙，特別是當燃燒旺盛時，對着暗色的背景，看起來就成為藍色的。從煙卷燃着的一端冒出來的煙是淡藍色的，而從相反一端冒出來的却是灰白色的。吸煙時灰白色的煙是由于呼吸中的水汽附着于煙粒上，使之體積增大，從而對較長波長幾乎和對較短波長具有同樣的散射能力而形成的。

例如，假若有兩種光綫，其波長的比例為 $1:2$ ；那末，按照雷萊的散射定律，第一種光綫和第二種光綫的散射量比例是 $2^4:1^4$ ，也就是 $16:1$ 。

假定太陽光中紅光的散射量定為 1 個單位，那末按照雷萊散射定律，其他色光的散射量和紅光散射量的比例，可用表 3 中所列數字來表示。表 3 中的資料也就是以百萬分之一毫

米即毫微米($M\mu$)表示的各个色光的波長。

表 3. 光線的散射和波長的关系

光 色	波 長 ($M\mu$)	散 射
紅	700	1.0
橙	620	1.6
黃	570	2.3
綠	520	3.3
青	470	4.9
藍	440	6.4
紫	410	8.5

由表 3 中可以看出,从紅光到紫光,光綫的散射增加得十分快,这也就决定了天空的淡藍色。这种关系只有在發生散射的質点小于光波波長的情形下是正确的。如果同样的光綫射在直徑大于或等于波長的質点上;那末,所有色光的散射都会是一样的,投射光和散射光的光色相同。因此当大气中有較大的粗粒悬浮着时,在气体分子散射所引起的天空藍色中会添加上一些白色,結果天空就成为帶有白色的淡藍色。天空發白色的程度随大气中悬浮的粗粒数量的增多而加强。久旱之后,或者当森林或沼澤起火的时候,我們就会看到特別明显的这样的天空顏色。当空气中存在着大量的成为水滴或冰晶的水汽凝結物时,天空也可以变得較白。

当空气特別潔淨时,如到山地去或者乘飞机航行于空中,就会得到另一种結果——在这种情形下观测員总是觉得天空是深藍色的。平流層气球的观测記錄証实:愈到高空,天色

愈暗。所有乘平流層气球上升的人都能看到，在 12 仟米到 20 仟米之間，天空是暗紫色的，根据雷萊定律也必然得到这样的結果。

在空曠的野外，天頂附近的天空呈現最純的藍色；愈接近地平綫，顏色就愈來愈發白，而在地平綫附近的天空，就常常呈褐色或是黃色。这是因为愈靠近地平綫，光綫穿过的低層空气愈厚，而低層空气中悬浮的灰塵粗粒較大，并且水滴和冰晶的量也較多。再加上光綫所穿过的大气層加厚，因此白色的程度也加强了。

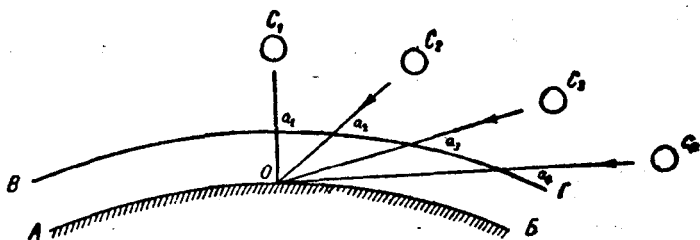


圖 4. 陽光在大气中所經路程的長度

圖 4 解釋了这种現象。假定 AB 是地面，BG 是大气边界。那末当太陽位于 C_1 (天頂) 时，太陽光在大气中穿过的路程是 a_1O ；当太陽位于 C_2 时，陽光在大气中穿过的路程長度是 a_2O ；当太陽位于 C_3 时，路程長度是 a_3O ；位于 C_4 时是 a_4O 。由圖 4 中可以看出， a_2O 大于 a_1O ， a_3O 大于 a_2O ， a_4O 大于 a_3O ，这就是說，太陽愈接近地平綫，陽光在大气中穿过的路程就愈長。

通常把太陽位于天頂時陽光穿过大气的路程作为一个單

位，并称为大气質量。太陽高度角和陽光所通过的大气質量数和其間的关系如表 4 所示。

表 4. 太陽高度角和陽光所經的大气質量数

太陽高度角	90°	60°	30°	10°	5°	3°	0.5°
大气質量数	1.0	1.2	2.0	5.6	10.4	15.5	35.4

根据此表，显然可以看出，当太陽高度角为 5° 时，陽光所穿过的路程長度（質量）为太陽在天頂时的十倍，而当太陽紧挨着地平綫时，則所經路程增大到三十五倍。这也就解釋了在离地平綫上不高处天空白色程度增加的現象。觀測的結果，証實了理論上所得出的結論。例如，用簡單天色藍度表（測定天空藍色深淺的仪器）所作的測定，得出了表 5 中所列的关系。簡單天色藍度表是由一套塗以不同深度的藍色紙标所組成的。

表 5. 高地平綫不同高度上天空藍色的深淺

天空中各点的高度	60°	40°	30°	20°	10°	1°
天色藍度表标尺讀数.....	20	17.5	15.5	13	9	4

在長时期的干热天气之后，空气中含有大量的灰塵，天空顏色显著地發白；这时如果下一場大雨，天空的藍色就会变得較深，因为雨滴洗淨了大气中的灰塵。

根据严格的科学原理而設計的天色藍度表，最先是由布尔考夫斯克（Пулковск）觀象台的天文学者 Г. А. 季霍夫（Тихов）制造成功的。其中一个是为应用分光鏡而設計的；另一个發明者称之为藍宝石天色表，这种天色表是利用藍宝石在某种条件下，能改变其本身顏色——自淡藍色到暗藍色

的特性制成的。藍寶石改變顏色的這種特性，即被用來作為測定天空藍色深淺變化的量度。

Н. И. 庫切羅夫 (Кучеров) 在整理了用藍寶石天色表所作的觀測記錄後，找出了天空藍色深淺和氣團性質之間的關係。原來這兩個因子之間有着直接的關係。深藍色的天空相當於北極氣團；而當天空帶白色的時候，就是多沙的熱帶大陸氣團。

由此可見，研究（測定）天空藍色深淺的程度對天氣預報工作是有所幫助的。

大氣的透明度

許多發生在大氣中的光學現象，都可以拿光的折射、反射、吸收和散射來解釋。大氣的不完全透明性使我們看到藍色的天空、彩霞、曙暮光、大氣遠景以及許多其他現象。表 6 中所列的數據是根據在 4,400 米和 10 米高度上的觀測記錄而得出的潔淨而乾燥的大氣的透明度系數，這些系數證明，空氣並非對於所有的光綫都是同樣透明的，短波輻射在大氣中減弱得最厲害，大氣對於紅外線輻射卻是最透明的。

從表 6 中可以看出，在離海平面不高處的大氣，其波長小於 0.3 微米的短波射綫已難以透過，可見光綫平均透過 75% 左右，而紅外光綫約透過 90%。在高處，那裡的空氣密度較小，光綫（特別是短波射綫）透過的百分數顯著地增大。