

A. B. 康德拉什科夫 著

国家測繪总局技术处 译

光干涉及其在 測量中的应用

中国工业出版社

光干涉及其在測量中的应用

A. B. 康德拉什科夫 著

国家測繪总局技术处 译

中国工业出版社

本书阐述了光干涉现象及其在测量中的应用等有关问题，系统地叙述光干涉现象，详细地介绍了光干涉和各种类型的干涉仪应用在长度测量方面的发展过程及其成就。对在室内和室外条件下用干涉检定仪检定基线尺及对24米以上长距离的野外干涉测量方法的介绍尤为详尽。

本书供高等测绘院系天文大地专业和仪器制造专业师生、有关科研人员和专业人员参考。

А. В. Кондрашков

Интерференция света и ее применение в

геодезии

Под общей редакцией профессора В. А. Барина

Геодезиздат

Москва 1956

* * *

光干涉及其在测量中的应用

国家测绘总局技术处译

*

国家测绘总局测绘书刊编辑部编辑 (北京三里河国家测绘总局)

中国工业出版社出版 (北京德胜门内大街10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第110号)

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行，各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $6^{1/16}$ ·插页2·字数153,000

1962年11月北京第一版·1963年9月北京第二次印刷

印数1,601—2,208·定价(10-7)1.10元

*

统一书号：15165·1572 (测绘-26)

原 序

現時，在科学和技术方面，为了各种不同的目的，已广泛地利用光干涉。根据这一现象而制成的仪器，也已广泛地用于物理学上的各种各样的检验，以及光学机械工业、机器制造业和精密仪器制造业的仪器零件质量与规格的检查。在天文测量方面，则采用干涉仪测定恒星的直径与双星組成部分間的距离。在大地测量方面，也采用根据光干涉现象而制成的仪器来进行最精确的长度测量。

透明介質折射率的測定、高度鉴别力的光譜仪以及各种不同光学零件光反射系数的縮小，也都广泛地利用这一现象。

用干涉仪测量长度具有很高的精度，这种高精度使长度单位(米)必須改变为与光波长度有关的一单位。

革命前的俄国，由于沒有自己的光学机械工业，同时机器制造业也不发达，因而干涉装置主要只用于物理試驗而已。

只有在伟大的十月社会主义革命以后，才有可能广泛地研究、改进和制造各种各样的干涉仪。

科学院院士Д.С. 罗日捷斯、特文斯基、С.И. 瓦維洛夫、А.А. 列別捷夫、В.П. 林尼克和技术科学博士 М.Ф. 罗蒙諾娃教授在研究这些仪器的构造和应用方面作出了巨大的贡献。

中央測繪科学研究所开始在О.Г. 季茨教授、Г.В. 瓦尔里赫和У.О. 什瓦尔茨的领导下，后来又在В.В. 达尼洛夫教授的繼續领导下对这一問題进行了許多工作，創造了一种干涉检定仪，可用来測量24米殷鋼基綫尺(用于精密大地基綫測定)的长度。

关于光干涉在测量上的应用問題，目前只在期刊的論文和各科学研究机关的文集中进行闡述。至于有关利用光干涉现象以測量长度的某些問題，則在普通物理光学教程中单独講述。

著者力图系統地敘述光干涉现象及其在长度测量上的应用，

特别是在大地测量方面的应用，借以促进最精确的长度测量新方法在实际测量作业中的应用，并使之获得进一步的发展。

同时，著者也希望本书能作为高等测量学校的学生阅读“专门物理学”教程时的参考书。本书选择材料时就是以这两种想法为依据。

全书共三篇。第一篇讲述有关测量长度时所应用的光干涉和光衍射现象、干涉仪系统及光源的必要物理光学知识。本书讲述这些问题，是为了使测量员和大学生等读者们不必再去参阅各种物理光学教程和专门书籍。

本书第二篇对利用光干涉现象测量一米以内和一米以上的长度问题进行了必要的叙述。欲懂得用干涉法测量长距离，以及欲变现有长度单位为新单位时能得到正确的变换关系，都必须熟悉这些问题。

第三篇叙述了在大地测量中利用光干涉测量长度的问题。

著者对本书的校阅者技术科学博士B. A. 巴林诺夫教授、莫斯科测绘工程学院物理教研室主任A. Г. 穆拉维耶夫教授、大地测量教研室B. H. 拉宾诺维奇副教授、仪器制造教研室C. B. 耶利谢也夫副教授，以及评阅者莫斯科物理工程学院物理教研室E. П. 奥斯姆洛夫斯卡雅副教授和中央测绘科学研究所高级研究员B. M. 纳札洛夫致以衷心的感谢，由于他们提出了宝贵的意见，使本书有了很大的改进。

目 录

原 序

第一篇 物理光学简述

第一章 光干涉.....	6
§ 1. 光振动	6
§ 2. 光干涉	12
§ 3. 夫累涅耳镜	18
§ 4. 牛顿环	20
第二章 矩形板和楔形板中的干涉现象	28
§ 5. 等倾带	22
§ 6. 等厚带	25
§ 7. 干涉光线多次反射时干涉花样中亮度的分布	28
§ 8. 两矩形板中的干涉现象	32
第三章 光之衍射	36
§ 9. 概述	36
§ 10. 惠更斯-夫累涅耳原理	37
§ 11. 弗朗戈菲之方孔衍射	39
§ 12. 双方孔衍射时之干涉	45
§ 13. 光源大小、方孔大小和两孔间隔对干涉花样的影响	48
第四章 干涉测量的光源。光谱线的构成及其对长度干涉测量的影响	51
§ 14. 干涉测量的光源	51
§ 15. 光谱线的宽度	54
§ 16. 光谱线的复杂结构	57
§ 17. 光波的有效长度	61
第五章 干涉仪	64
§ 18. 迈克尔逊干涉仪	64
§ 19. 法布利和珀罗干涉仪与标准尺	67
§ 20. 瑞利干涉仪	70

第二篇 光干涉现象在长度测量中的应用

第六章 长度干涉测量法	72
§ 21. 绝对和相对干涉测量	72
§ 22. 用等倾环测定法布利和珀罗标准尺的长度	73
§ 23. 小数部分一致法	75
§ 24. 根据等厚带测定端度尺之长	77
§ 25. 长度绝对干涉测量的改正数	81
§ 26. 由光学长度化算为机械长度的改正数以及由研合层的厚度而引起的改正数	83
第七章 距离光学倍乘法	85
§ 27. 用光学倍乘法测量大距离的原理	85
§ 28. 法布利和珀罗标准尺之比较	86
§ 29. 法布利和珀罗标准尺的长度与底面平行端度尺长度之比较	88
§ 30. 維埃夏廖距离光学倍乘法	90
§ 31. 增大原距离的微分法	93
第八章 一米长度与光波长度之比较	96
§ 32. 概述	96
§ 33. 国际度量衡局和日本用光波长度对一米长度所进行的测量	98
§ 34. 英国国家物理试验室和德国物理技术研究所用光波长度对一米长度所进行的测量	100
§ 35. 門捷列也夫全苏度量衡科学研究所用光波长度对一米长度所进行的测量	103
§ 36. 用全苏度量衡科学研究所大型水平干涉仪和用光波长度对一米长度所进行的测定	108
§ 37. 光波——长度单位和长度标准	112

第三篇 大地测量中的长度干涉测量法

第九章 国外采用光干涉进行大地长度测量的情况	119
§ 38. 简要历史资料	119
§ 39. 維埃夏廖光干涉检定仪	120

§ 40. 德国测量局密尤利哥及史篤拉-尤特赤光干涉检定仪	128
§ 41. 东京大地检定仪 5 米杆尺长度之干涉测定	133
§ 42. 25 米殷鋼基綫尺长度之测定	134
第十章 蘇聯在大地測量中采用光干涉进行長度測量 的情况	137
§ 43. 历史簡录	137
§ 44. Г. В. 瓦里赫光干涉检定仪	139
§ 45. 中央測繪科学研究所野外干涉检定仪(第一型)	143
第十一章 中央測繪科学研究所野外干涉檢定儀 (第二型)	148
§ 46. 检定仪的光学結構	148
§ 47. 野外检定仪 (ПНК-2) 概述	149
§ 48. 检定仪的整置和調节	158
§ 49. 叶德林基綫尺在干涉检定仪上的检定	164
§ 50. 在室內条件下用干涉检定仪检定基綫尺的誤差来源 和精度	168
第十二章 野外的長度干涉測量	174
§ 51. 在野外条件下用干涉检定仪量定基綫尺的长度	174
§ 52. 24 米以上距离之野外干涉測量	177
参考文献	188

第一篇 物理光学簡述

第一章 光 干 涉

§ 1. 光 振 动

光干涉、光衍射和光偏振諸現象証明，光的传播在很大程度上是适应于并且服从于物体內的所謂橫波的传播定律。物体內的橫波是由于物体質点在垂直于振动传播方向的平面中振动而形成的。

此外，还有一些光学現象，如物体发射和吸收光的現象，以及光的电化学作用，則不能用“光是連續波动的过程”的假說来解释，而要用“光是流动微粒”的假說来解释。

于是，只有从不同角度来解释光本身的性質，才似乎有可能了解各种不同的光学現象。

长期以来，光的性質已为人們研究的对象。但是，由于光学現象的多样性和复杂性，使人們很难建立一种統一的理論，来准确地和全面地解释所有察覺到的光学現象。

关于光的学說，有过这样的历史时期，在这个时期中对于光的性質，同时存在着两种完全相反的看法。

同时，科学上也有过这样的时期，在这个时期里，关于光的性質問題，似乎已經得到了統一的彻底的解决。

經驗証明，发射光的物体会失去能量，吸收光的物体則会增加能量。

因此，光的传播与能量的轉化有关。能量的轉化可利用光的微粒来实现，也可通过波动来实现。

能量轉化既具有这样两种可能性，因而也就产生了两种关于光的学說——微粒說和波动說。

这两种学說差不多是在十七世紀末同时出現的，前者系牛頓

(1643—1727) 所建立，后者系惠更斯 (1629—1695) 所建立。由牛頓发展起来的光的微粒說，認為光是由发光体发射出来的一种特殊流动微粒。这一学說，在整个十八世紀最为流行。

由惠更斯建立的光的波动說，直至十九世紀該学說的定律已能确凿地說明光干涉、光衍射、光偏振和光双折射等現象以后，才得到了公認。若采用波动說，自然会引起依据什么样的介質进行振动的問題。惠更斯假定这种介質具有弹性体的性質。以后，便将这种介質叫做以太，并認為它是一种属于密度极小且具有弹性的固体。

上世紀七十年代，由麦克斯韦 (1831—1879) 建立了一种新的学說——光的电磁波說，它起而代替了光的机械波动說。按照麦克斯韦的学說，光乃是一种电磁振荡，类似于电荷改变时所发生的电磁振荡。

随后，П.Н. 列別捷夫 (1866—1912) 和亨利·赫芝 (1857—1894) 等人用电磁波进行直接实验，証明了各种波的性質都相同。这样，一方面最后确定了电磁振荡的传播速度等于光的传播速度，另一方面又証实了电磁振荡同样也具有反射、折射、干涉、衍射和偏振等現象，而形成这些現象所依据的定律，也和相应的光学現象所依据的定律一样。

这样，麦克斯韦的学說便确定了光学現象和电学現象的共同性，而这两种現象在以前被認為是完全不同的。

如前所述，光的波动說虽則相当圓滿地解释了光传播过程中所产生的一些光学現象，但对于解释物体发射光和吸收光的过程，亦即光和物体互相作用时所产生的現象，它却显得无能为力了。

在各元素、光化学反应和光电效应的光譜中所发现的規律性表明，由于光和物体的互相作用，物体并非不断地发出或者吸收光能，而是发出或吸收光能的最后部分，这一部分就是所謂光子或光量子，其大小与光振动的頻率成比例，而不取决于光振动的强度。光量子这一学說是由麦克斯·普朗克在廿世紀初首先提出

的。

由最近五十年发展起来的光的量子說，把光子的微粒性質和光子传播的波动性質互相联系在一起，从而使光的微粒說和光的波动說結合了起来。

就确定光干涉和光衍射現象中所发生的数量关系來說，光振动不論是属于以太的弹性振动，或者是属于电磁的性質，都完全一样。为了解释这一現象，只要假定在其垂直于光綫传播的方向中，构成光波的諧振即可。

諧振可理解为繞 O 点均匀旋轉的矢量 OA 的端点沿 Y 軸投影之运动(图 1)。当該矢量不断旋轉时，其端点在 Y 軸上的投影点 A_1 ，便会在 O 点附近进行諧动。

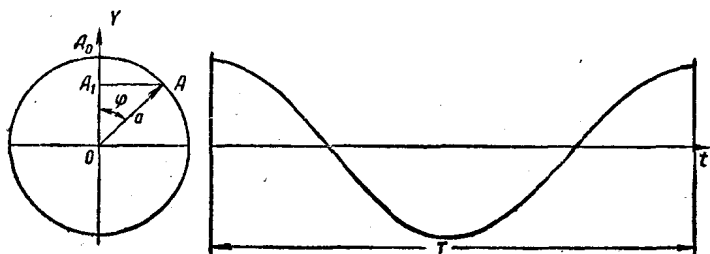


图 1 均匀轉动矢量时，矢量末端的投影所构成之諧动

众所周知，等于 a 值的矢量 OA 叫做振幅。矢量 OA 与 Y 軸的夹角 φ 叫做振动位相。

若以 y 表示点 A_1 与其中央位置 O 的距离(此距离随矢量的轉动而变化)，并以之作为 φ 的函数，即得：

$$y = a \cos \varphi. \quad (1)$$

若动点在時間 t 內从 A_0 移至 A ，而以 φ 角确定 A 的位置，并令該点繞 O 点一整周所需的時間为 T ，則：

$$\varphi = 2\pi \frac{t}{T}, \quad (2)$$

此时方程式 (1) 可写成如下形式：

$$y = a \cos 2\pi \frac{t}{T}. \quad (3)$$

T 叫做振动周期，在这段时间内， A_1 点由起始点出发，经过两极限位置，最后重返回原处。

A_1 点的运动也可用直角坐标系表示，这时便可得出一条如图1右部所示的曲线。

如果振动开始而 $t=0$ 时， A 点的位相为 δ ，则方程式(3)可写成如下形式：

$$y = a \cos \left(2\pi \frac{t}{T} + \delta \right). \quad (4)$$

方程式(3)中之振动周期为 T ，通常以数值 $\nu = \frac{1}{T}$ 代之，此值谓之振动频率，表示一点在单位时间内所完成的全振动数。这时，方程式(3)便可写成如下形式：

$$y = a \cos 2\pi \nu t. \quad (5)$$

若光所包含的振动仅为单频率 ν ，那末这种光即叫做单色光。就可見光谱范围而言，频率 ν 在 3.94×10^{14} 秒⁻¹至 7.57×10^{14} 秒⁻¹之間。

空間的橫向諧振传播可作如下理解。

設有一直綫 AN ，沿該綫分布着許多点，它們的振动沿此直綫而传播(图2)。

A 点若在某一时刻运动，那么由于各点間的相互联系，其右邻点稍后也会接着运动，依此类推。这样，所有各点将依次全部投入振动。图2,a表示振动点在 $t = \frac{T}{4}$ 时的位置，此时 A 点已經达到了自己的第一个极限位置。若其时諧振传播到 B 点，則 B 点右边各点仍静止不动。

图2,b表示各点在 $t = \frac{T}{2}$ 时的位置。此时， A 点已完成全振动的一半， B 点完成了四分之一，而振动过程已传播到了 C 点。在图上，箭头表示以后各时刻內質点的运动方向。

图2,b表示 $t = \frac{3}{4}T$ 时各点的位置。此时 A 点已到达第二

个极限位置，而 D 点则刚刚开始振动。

图 2, r 表示 A 点从开始振动起经过时间 T 以后所达到的位置。这时， A 点已完成了一次全振动， C 点完成了全振动的一半，而振动已传播到了 E 点。

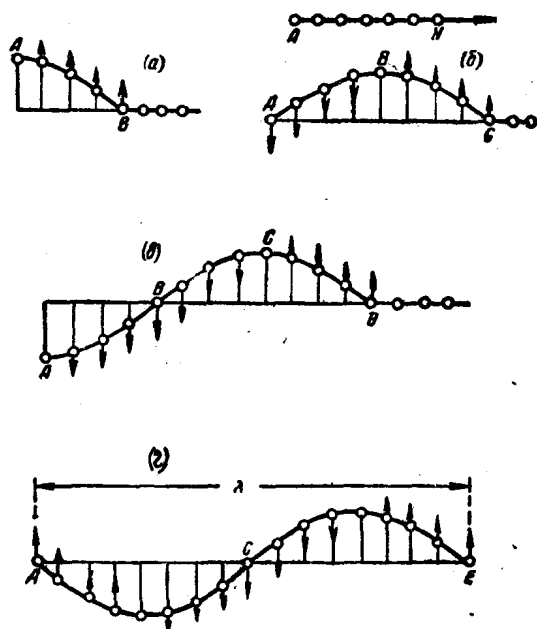


图 2 横波的形成

此时， A 点和 E 点开始同时振动，它们具有同一的方向速度，并处于相同的位相中。

显然，以后 A 点和 E 点的振动将会相同。

在时间 T 内振动位相所传播的距离 AE 叫做波长，通常以希腊字母 λ 表之(图 2)。

若以 v 表位相速度，即表振动位相在某一介质中的传播速度，则，

$$\lambda = vT. \quad (6)$$

如顾及 $\frac{1}{T} = \nu$ ，即可看出，波长既与周期 T 或振动频率 ν

有关，同时也与介质的性质有关。

兹以 c 表光在真空中的速度，而以 v 表光在某一介质中的速度，那么下述关系式

$$n = \frac{c}{v}$$

就叫做介质的折射率。

显然，
$$v = \frac{c}{n}. \quad (7)$$

若以 λ_n 表光波在折射率为 n 的介质中的长度，而以 λ 表光波在真空中的长度，那么由

$$\lambda = cT, \quad (8)$$

即得，
$$\lambda_n = \frac{\lambda}{n}. \quad (9)$$

对于可见光来说，由光谱的紫端到红端的 λ 之值，在 0.396—0.760 微米之间。

若由振源 S (图 3) 所引起的振动在时间 t 内传播到 M 点，则该点在时刻 t 所看到的振动可用方程式 (3) 表之：



图 3 推求彼此距离为 x 的两点的振动方程式之图示

$$y = a \cos 2\pi \frac{t}{T}.$$

在同一时刻 t ，在与 M 点的距离为 x 的一点 M_1 ，可以看到下述振动：

$$y = a \cos \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{v} \right),$$

或
$$y = a \cos \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{nx}{c} \right). \quad (10)$$

光程的几何长度 x 和光在其中传播的介质的折射率 n 之乘积 nx ，叫做光程的光学长度。

按照第(8)式, 方程式(10)可化为:

$$y = a \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{nx}{\lambda} \right) \quad (11)$$

A_1 点完成諧振时的运动速度 V , 可由光程关于时间的导数而

求得,
$$V = \frac{dy}{dt} = -2\pi \nu a \sin 2\pi \nu t.$$

进行諧振的質点在一周期内的平均动能 J , 显然可由下式算得:

$$J = \frac{m}{2T} \int_0^T V^2 dt,$$

或
$$J = m\pi^2 \nu^2 a^2, \quad (12)$$

亦即: 频率为 ν 的振动, 其能量与振幅 a 的平方成比例。

§ 2. 光 干 涉

如果两光波或两光綫同时射至空間某一点上, 則此点的光扰动等于每一光波单独引起的扰动之代数和。

由惠更斯首先提出的这一事实, 就是著名的迭加原理。

我們認為互相迭加的光綫之夹角甚微, 所以光的振动可認為在同一方向进行。

令下列同一周期的光振动达到空間的某一点:

$$y_1 = a_1 \sin \varphi_1, \quad y_2 = a_2 \sin \varphi_2, \quad \dots, \quad y_n = a_n \sin \varphi_n.$$

茲求出: 在所有到达此点的振动的影响下, 此点所完成的光波振动的振幅。

如前所述, 每一振动可理解为均匀轉动着的矢量 (其值为 $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$) 末端的投影沿着垂直軸的运动。

当这些振动在某一时刻 t 同时单独作用时, 振点将位于 Y 軸 $A_1, A_2, A_3, \dots$ 等处 (图 4)。

此时, $OA_1 = n p_y a_1,$

$$OA_2 = n p_y a_2,$$

$$OA_3 = n p_y a_3,$$

.....

.....

$$OA_n = np_y a_n.$$

根据迭加原理，一点在所有到达该点的振动的的影响所获得的位置，将决定于Y轴上的OA线段：

$$OA = OA_1 + OA_2 + OA_3 + \dots + OA_n.$$

令 $OA = np_y a$ ，便可写出：

$$np_y a = np_y a_1 + np_y a_2 + np_y a_3 + \dots + np_y a_n.$$

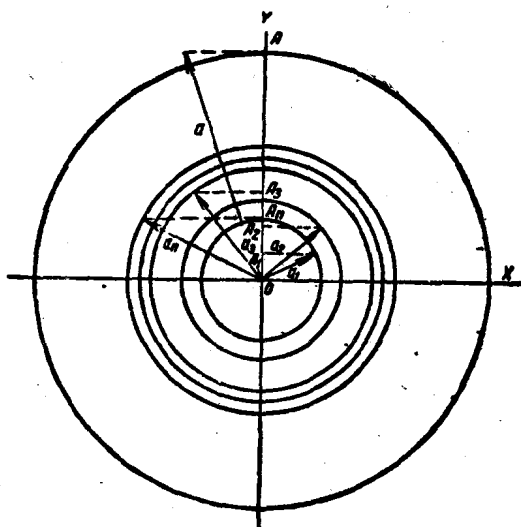


图 4 同周期谐振的构成

因为这一关系适合于任何时刻，故若令合振动的振幅等于 a ，而令其位相为 φ ，则有

$$y = y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n.$$

或 $a \cos \varphi = a_1 \cos \varphi_1 + a_2 \cos \varphi_2 + a_3 \cos \varphi_3 + \dots + a_n \cos \varphi_n.$

若将每一矢量投影于x轴，则可得出：

$$np_x a = np_x a_1 + np_x a_2 + np_x a_3 + \dots + np_x a_n,$$

或 $x = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n,$