



田 志 偉 編

偏振光及其应用

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本書對光波偏振的性質、發生及應用等概念，都作了比較全面的介紹，內容通俗易懂，可作為大、中學生的課外讀物，或一般具有中等文化水平的青年們的科技常識讀物。

偏 振 光 及 其 應 用

田 志 偉 編

上海科學技術出版社出版

(上海南京西路2004號)

上海市書刊出版業營業許可證出093號

上海市印刷五廠印刷 新華書店上海發行所總經售

開本787×1092 1/32 印張3 字數65,000

(原科技版印3,700冊 1957年6月第1版)

1959年2月新1版 1959年11月第2次印刷

印數1,001—2,000

統一書號：15119 · 508

定 價：(十二)0.36元

53.2

5

0012

序

光学課程中，干涉、衍射与偏振是大部分学生認為比較难理解的，但是这些現象却非常重要。因此，很早我就想写一些关于这几类問題的通俗讀物，作为高等学校学生課外自学的参考書。

此外，苏联詩人 H. A. 涅克拉索夫所写的那首詩——“播种者”对我的鼓舞也很大。他說：

“人民土壤上的知識播种者！

是你播种的那块土地貧瘠？

还是你的种子枯癯？

是你的心儿胆怯？还是手儿无力？

劳动的代价是些奄奄生長的苗芽，收成怎不見佳！

能干的、心胸开闊的人們，你們在哪里？

携着滿籃谷粒的人們，你們在哪里？

別再畏縮地星星地点种，

把播种工作开展起来吧！

播种些理智的、善良的、不朽的东西，

播种吧！俄罗斯人民

將會真誠地向你們致謝

.....”

因而使我想，虽然我自己还懂得太少，但是仍然有責任將自己已經知道的全部知識，用語言、文字、以及其其他各种各样的方式交給周圍的广大群衆。

正因为如此,我在整个编写过程中,就有意識地尽量避免运用数学公式及較繁复較深奥的理論。希望它不仅是一本大学生們自学起来毫无困难的書(作为高等学校普通物理学課程中,有关章节的先导或补充),同时又能够成为一般具有中等以上文化水平的人們都看得懂的科学通俗讀物。

編写本書时,参考得最多的有:“Polaroid Corporation Cambridge, Massachusetts: Polarized Light and Its Application”及“F. A. Jenkins 与 H. E. White, 物理光學基础”“T. C. 蘭斯別尔格, 光学”“M. M. Frocht (董太穌譯), 光測彈性力学”等書。

最后,我真誠地渴求并預先感激大家告訴我,書中錯誤的与不妥当的地方!

田 志 偉

1956.9. 于浙江师范学院

目 录

第一章 光的一般性質	1
§1. 引 言.....	1
§2. 光的傳播.....	3
§3. 看得見的光.....	4
§4. 光波的特性.....	7
§5. 自然光綫.....	8
§6. 偏振波.....	11
§7. 偏振光.....	12
第二章 偏振光	14
§1. 起偏振鏡与檢偏振鏡.....	14
§2. 振动的矢量.....	16
§3. 單个起偏振鏡的起偏振 效应.....	17
§4. 馬呂斯定律.....	18
§5. 部分偏振光.....	20
§6. 偏振光与人的眼睛.....	21
第三章 光的起偏振鏡	23
§1. 折射与双折射.....	23
§2. 尋常光和非常光.....	24
§3. 晶体的吸收性.....	26
§4. 电气石.....	27
§5. 尼科耳棱鏡.....	29
§6. 洛匈棱鏡與渥拉斯頓棱 鏡.....	32
§7. 希拉柏斯晶.....	34
§8. 人造偏振片.....	35
第四章 天然的偏振光	37
§1. 由玻璃面反射所引起的 偏振現象.....	38
§2. 由玻璃折射所引起的偏 振現象.....	42
§3. 光綫在金属面上的反射.....	44
§4. 空气与尘埃对光的散射.....	44
§5. 由双折射产生的天然偏 振光.....	48

第五章 物質的旋光性.....49

- | | |
|-------------------|-------------------|
| §1. 物質的旋光性.....49 | §3. 物質的旋光率.....51 |
| §2. 旋光色散.....50 | §4. 旋光的理論.....52 |

第六章 圓偏振光与橢圓偏振光.....53

- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| §1. 阻波片.....53 | §4. 由阻波片透出的直綫偏振光.....58 |
| §2. 全波片、半波片与四分之一波片.....55 | §5. 圓偏振光.....60 |
| §3. 阻波片的光学效应.....56 | §6. 橢圓偏振光.....61 |

第七章 偏振光的应用.....62

- | | |
|----------------------------|--------------------------|
| §1. 偏振太阳眼鏡.....63 | §9. 剧、影院休息室的門与窗.....80 |
| §2. 避炫照明——偏振光台灯.....65 | §10. 測量光强的仪器.....82 |
| §3. 汽車前灯的避炫装置.....66 | §11. 偏振計与糖量計.....82 |
| §4. 体視象片与体視电影(立体电影).....69 | §12. 皮肤檢驗鏡.....84 |
| §5. 五彩光学广告.....75 | §13. 偏振光檢眼鏡.....84 |
| §6. 偏振望遠鏡.....77 | §14. 特殊的檢眼仪器.....85 |
| §7. 火車、輪船及飞机上的窗玻璃.....77 | §15. 偏振光显微鏡.....86 |
| §8. 照相机上用的偏振濾光片.....78 | §16. 織物檢驗鏡.....88 |
| | §17. 研究物体內部应力变的仪器.....89 |

“存在着的物質世界（运动着的物質）為我們提供出两种基本形式——實質与光。”

——С. И. 瓦維洛夫——

第一章 光的一般性質

§1. 引 言

人的眼睛能看見物体、能够分辨白晝黑夜，或者电灯是亮着还是熄着……，究竟依靠什么东西、是什么緣故？

我們可以簡短地回答：“因为有‘光’。”“当光綫穿过眼睛的瞳孔到达网膜时，它便刺激那里的視神經末梢；然后，通过神經末梢的反应，將这种刺激傳到大腦。大腦把各种反应組合在一起，就形成了眼前那整幅画面”。

可是，接下去又极其自然地会发生另一些問題，例如：“倒底‘光’是一种怎样的东西？”“它如何从发光的物体上跑到我們眼睛里来”？要回答这类問題，我們不妨先举一个大家都比較熟悉的例子：

当我們在轉动无綫电收音机的旋鈕时，有一根指針在一支具有刻度的标尺面前移来移去；指針所指的数字就是当时我們在收听的、那种无綫电波的波長或頻率。

无綫电波是肉眼看不見的。可是，丢一块石子到湖里去，水面所起的波动；抖动一根繩索，繩子上所成的波动；以及彈簧受到打击或压縮时的振动等，却是每个人都非常熟悉的。从这些

看得見的“波”，就很容易說明“波長”與“頻率”是什麼意思（見圖 1-1）

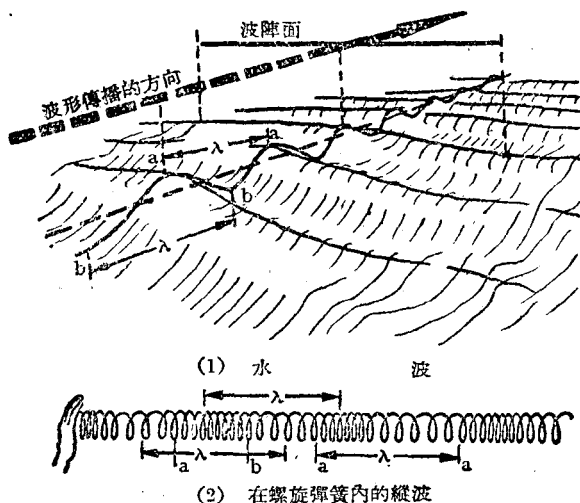


圖 1-1 水波與彈簧波的波長

所謂“波長”，我們常常用希臘字母 λ 來代表，它是指一系列波中，相鄰兩頂點之間的距離。例如，水波或繩波的一個波長就是相鄰的兩個波峰（圖中突起的部分 a ），或相鄰的兩個波谷（凹下的部分 b ）之間的長度。

每秒鐘內，從波源發出的波長個數，稱為這個波的頻率或周率。通常用字母 f 代表。

因此，當一個波離開波源被發射出來時，如果波源的發射是連續的，那末經過一秒鐘後，波源已連續發出 f 個同樣的波。這樣，第一個波和波源中間隔着 f 個波；所以，它的末端離波源的距離應該等於這 f 個波接起來的長度“ $f\lambda$ ”。這就是一個波在一

秒鐘之內所跑的路，我們叫它為“波速”，用字母 V 表示。于是

$$V = f \lambda$$

这个公式对于任何形状或性质的波都是适合的；当然，从广播电台的天线所发送出来的无线电波也并不例外。

§ 2. 光的傳播

无线电波跑得非常快，莫斯科电台所播送的节目，我們在中国几乎与它播送的同时就收听到了。可是，中苏直达火車从莫斯科开出，要经过 215 小时才能到达北京；即使乘飞机沿着铁路綫，飞完这末一段长达 9,050 公里的路程，也还得十几个鐘头。然而，对无线电波来说，这样一个还花不掉三十分之一秒时间就能结束的航程（按照沿着铁路綫曲折地傳播計算），实在是太短，短得簡直象沒有一样。

因为它在空气或真空中跑，比目前最新式的噴气式飞机大約快一百万倍，比射出去的枪彈大約快三十万倍……——每秒鐘三十万公里！

“光”与无线电波都是由于电场和磁场以相互垂直的方向振动起来，向空間傳播出去所形成的。电场与磁场都是眼睛看不见、皮肤感触不到的特殊物質，因而由它們的振动所形成的波的“形状”也是看不見的。不过，为了便于說明，我們仍常常借用象图 1-2 那样的机械形象来表示它們：其中， E 代表电场， H 代表磁场；箭头表示这一点位置的电场与磁场方向，長短則是它們的强度。所謂电场与磁场的振动，其实就是指它們的方向与强度在周期地变化；而某一点位置的电场（或磁场）方向，則是說，假使我們把一个帶阳电的物体（或磁铁的 N 极）放在这一点，它便

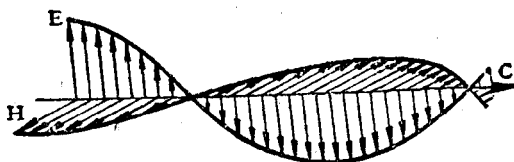


图 1-2 电 磁 波

將受到向着这个方向的一种作用力。換句話說，图中所表示的意思并不是每一点的 E 与 H 真的順着箭头方向、脱离这一点在来回作机械振蕩；而是都只在原位置週期地强弱改变而已。

这种波都叫电磁波，无线电波的波速也就是一切电磁波的速度；因此，光波在空气或真空中傳播的速度也是每秒鐘三十万公里。

§ 3. 看得見的光

要了解人眼的机能与它所能感受的光波范围，只要再看看那些早期的，或者粗劣的收音机好了。当我們在使用这种古老的收音机时，如果將指针对准 760 千周那条刻度上，我們收到的除了这一个电台所发来的电波之外，往往还同时夾杂着許多与 760 千周相鄰近的杂音。这就是說，一架選擇性不高的收音机，在指針調諧到某一点时，它所接收到的并不是單純一种頻率的电磁波，而是在这个頻率附近、相当寬广范围内的許多种电磁波。

人的眼睛就仿佛是这种具有寬闊調諧帶的“收音机”；凡是在这一个調諧范围以內的电磁波，它必定都同时接收，无法分开、揀出。当然，对于眼睛來說，这个調諧范围應該是愈寬愈好，它的選擇性倒是无关紧要的。

根据实验結果知道，人眼最敏感的光是在空气或真空中，波

長等于 0.000055 厘米 (或寫作 $5,500\text{\AA}$), 或頻率等于每秒 5.45×10^{14} 次的电磁波; 這是一種呈黃綠色的光 (如果光很弱, 人眼感覺最灵敏的波長還要比較短些)。从这种光波將波長逐漸改变, 眼睛的接收能力便也跟着逐漸地下降; 当波長减小到只有 0.00004 厘米, 或增加到 0.00008 厘米附近, 人的眼睛就將完全喪失感受的能力。图 1-3 就是一般人的眼睛在正常光亮下对于

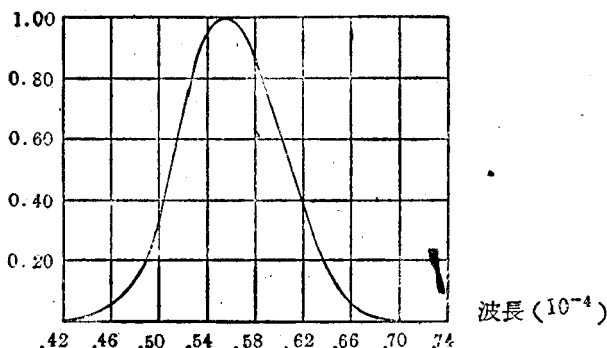


图 1-3 眼睛的視見曲綫 (縱軸为相对灵敏度)

各种波長光感覺的相对灵敏度曲綫 (或称“視見曲綫”)。

这就是說, 如果拿人眼当作“收音机”来看, 这只收音机的指針仿佛是永远固定指在頻率等于 $5.45 \times 10^{14} / 10^3$ 千周的刻度上。但是, “人眼收音机”的选择性非常差, 它除了能最清楚地收到波長为 0.000055 厘米的电磁波外, 还同时可以接收到在这个数值附近, 相当于波長从 0.00004 厘米一直到 0.00008 厘米, 或頻率从 7.5×10^{14} 到 3.75×10^{14} 这样一个范围以內的一切电磁波; 这便是它的調諧范围, 也就是人眼所能看見的“光”——“可見光譜”。

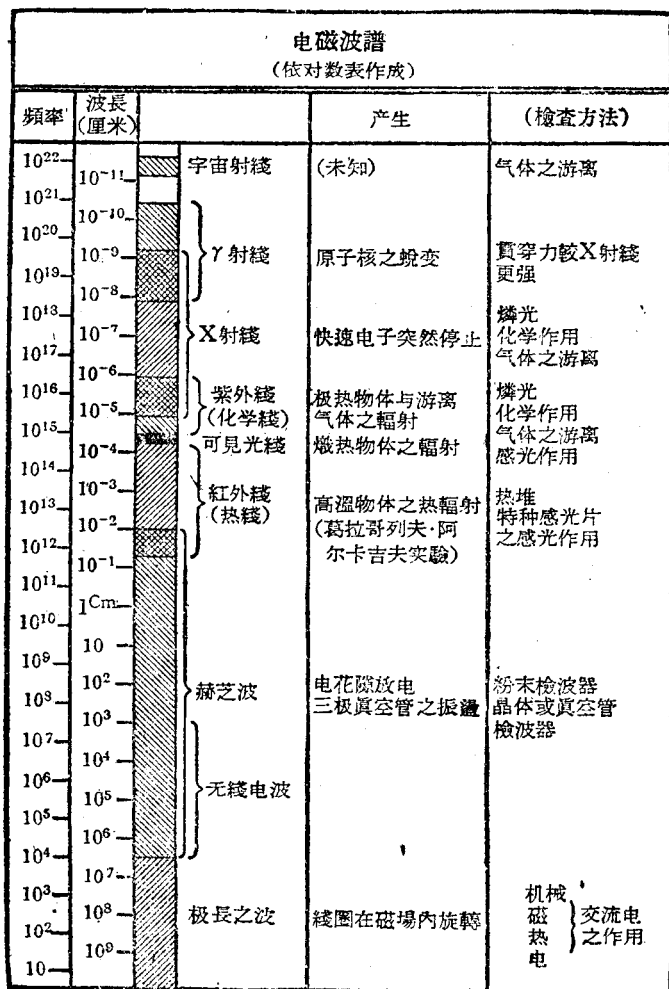


图 1-4 各种辐射光谱

各种可見光在人眼中所引起的顏色感覺是由它的頻率来决定的;过去,有人說“不同的波長代表不同的顏色”,其实是不正确的。因为,当光波在不同的媒質中傳播时,它的顏色与頻率都始終不变,可是波長却是随着媒質而改变的(由于在不同的媒質中,波速改变了)。比紅色光的頻率更小(或波長更長)的电磁波,称做“紅外線”;比紫色光的頻率更大(或波長更短)的电磁波,叫“紫外綫”;以及其他象“X 射綫”“ γ 射綫”和波長远远超过紅外綫的“无綫电波”等,都是属于人眼調諧范围以外的。它們都是人所看不見的“光”。

將可見的与不可見的光全部排列起来,便得到所謂“电磁譜”,如图 1-4。可見光在整个电磁波領域中只占一个小得很的区間而已。

§4. 光波的特性

以振动形式来分,波有縱波及橫波两种。

波質点往复振动方向与波形前进方向一致的称为縱波;象图 1-1 中所举的彈簧压縮波,和眼睛看不見的声波都是这一种波。

另一种,波質点振动方向与波形傳播方向相互垂直的叫做橫波;將繩索的一端固定拴住在物体上,然后用手抖动另一端,繩上所形成的繩波就是橫波的一个簡單例子(见图 1-5)。

田野上的麦浪、图 1-1 中的水波,都是同时包含着縱波与橫波两种形式的复合波。

光波——电磁波是一种特殊形式的橫波。在图 1-5 中,如果我們抖动繩索的一端,繩上就会出现一个沿着繩子进行的波,

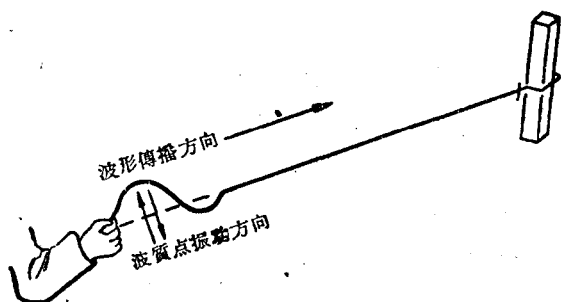


图 1-5 繩 波

但是繩上各个質点都只是在垂直于繩子作着上下或左右的振动而已，它們并没有随着波形而向前移动；光波及一切电磁波也是这样，不过，它們是用人眼所看不見的特殊物質——电場与磁場振动起来（其实是强弱变化）所形成的；这些我們在 §2 中已經討論过，此处不再重复。

無論是縱波还是橫波，都同样具有波的一切共同特性，象反射、折射、干涉、衍射等；可是，只有橫波才会产生“偏振”現象。因此光波的偏振現象是証明“光波是橫波”的一种极重要发现（見 §6）。

在“应用偏振光学”中，主要討論的問題就是如何巧妙地运用人对光波及偏振光的知識、去人为地控制光波中的电場振动方向，以改变与利用光所具有的某些特殊性質。

§5. 自然光綫

一个原子如果在空間很快地振动起来，如图 1-6，便将向四周发射出电磁波（ θ 角愈接近 90° ，波的能量就愈弱；因此，順着原子振动方向是没有电磁波发射出去的）。在波列中，任一点 P

处的電場振動方向必定在原子振動方向和該點所共同組成的平面 POY 上; 換句話說, P 點處的磁場振動方向总是垂直于平面 POY 的。

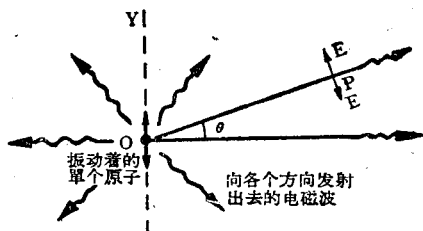


圖 1-6 單個原子的電磁波源

可是在實際上, 任何輻射電磁波的波源都必定是由大量振動着的原子所組成的, 每一個原子都有它特定的振動方向, 因而由這種波源所發射出來的電磁波決不會象圖 1-6 所表示的那末簡單。拿可見光的光源來講也是如此, 一切實際的光源, 象太陽、電燈等所發出來的光波都是由無數種方向的橫振動所合成的複雜形式; 換句話說, 它的電場振動方向並不限於 POY 平面之內, 而包含垂直於光綫的一切可能方向。

這種特殊的橫波想用文字或具體地用圖形表達出來很不容易。圖 1-7 是它的示意圖; 其中 a 圖左邊圖形表示的意思是, 假

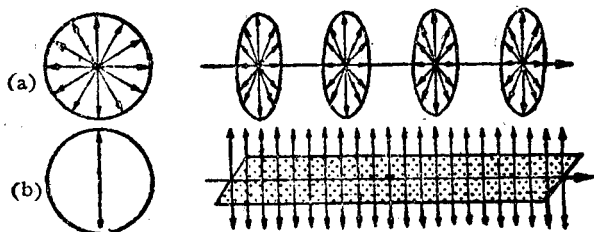


圖 1-7 自然光(a)與偏振光(b)

使電場的振動方向與大小(如果大小是用長短來代表的)能夠用

眼睛看見，那末正对射来(或射去)的光綫看去，电場振动的方向便多得无法計算，而且都以相同的振幅均匀地布滿在垂直于光綫的平面上；右面图形是在光綫傳播的側面所看到的情形。

这样性質的光，叫做自然光綫。不过，自然光那种完全杂乱的横振动很容易加以改变；例如，当它穿过某些物質，或在某些物体面上反射之后，它的振动便可以限制在一个一定方向上(其实是两个方向，一个是电場的，另一个是磁場的，而且这两个方向必定相互垂直)；这样一来，除了在这一个方向上的交叉振动仍被保留下来之外，其余方向的一切振动就都被大大地削弱，或甚至完全消除了。

这种經過改变后新出現的光綫是只有一个振动方向(单独指电場)的横波，见图 1-7b，它与自然光綫是不同的，因此我們把这种光称做非自然光，或偏振光，而且又倒回去給自然光一个別号，叫非偏振光。

图 1-2 所表示的电磁波，其实就是偏振的电磁波，或偏振光。而且，图上各点 E 的振动都在同一个平面上，所以这样的偏振光又叫平面偏振光；可是，当我们正对光綫傳播的方向看去时，这种偏振光的电場振动方向却是一条直綫(参看图 1-7 中的 b)，因此，它还有一个外号，叫直綫偏振光。

前面講过，一个單原子的光源所发的光也是偏振的，不过它的振动方向时时改变、极不稳定，而且实际上我們也不可能得到这样的光源；因此，想获得偏振光并不能从寻求單个原子的光源来打主意，而必須是从改变自然光着手。使自然光变成非自然光的过程，在物理学上就称为光的偏振化；与偏振化相反的过程，则叫做光的退偏振化。

§6. 偏 振 波

在图 1-5 中, 如果拿着繩子上下、左右极不規則地抖动起来, 这样所形成的繩波可近似当作自然光的一种机械横波来看。

若是, 預先使繩子穿过一个(或几个)直立的柵縫, 如图 1-8,

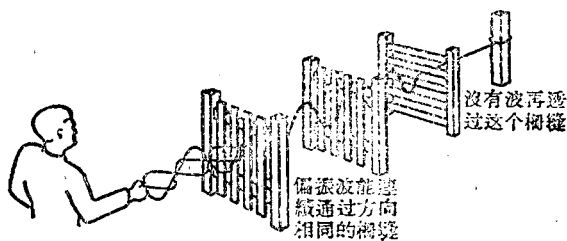


图 1-8 偏 振 波

便只有与柵縫方向一致的那种竖直振动仍可以穿越柵縫而繼續傳播。因此, 透过第一个柵縫的繩波, 就已經不再是在任意方向上作着横振动的非偏振波, 而是只有在单独一个方向上振动的偏振波了。如果第二个、以至第三、四……个柵縫的方向都与第一个的相同, 那末經過第一个柵縫偏振化的繩波, 便将同样地依次穿过第二、三、四……个柵縫。

要是, 后面有一个柵縫与第一个柵縫相互垂直(如图中最后一个柵縫那样), 那末从前面几个柵縫穿出来的偏振波便將被这个水平柵縫完全攔阻下来; 因而, 沒有波再能透过这个柵縫。这样两个相互垂直的柵縫能够完全阻止繩波通过, 所以对繩波来講, 它們这样組合起来的总体是“不透明”的; 可是, 单独一个柵縫, 或方向一致的几个柵縫, 却是能够使繩波产生偏振現象的东西, 并不是完全不透明的。