

5053

物理学★光学之部

鄭一善編著



科学技术出版社

53.7/019

中國科學社主編

理 科 學 習 叢 書

物理学 ★ 光学之部

鄭一善編著

24588/17

科學出版社

內 容 提 要

本書為中國科學社主編的“理科學習叢書”物理學—光學之部。內容包括光的基本性質、光的干涉、衍射、偏振、幾何光學、光色和色度學與光的量子現象等等。

本書依照高等教育部所訂的綜合性大學普通物理學教學大綱而編寫，頗適合大專學生作為課外讀物之用，亦可供中級技術幹部進修物理學時作為自學用書。

理科學習叢書

物理學 ★ 光學之部

編著者 鄭 一 養

*

科學技術出版社出版

(上海延國西路 336 弄 1 號)

上海市書刊出版業營業許可証出〇七九號

上海市印刷五廠印刷 新華書店上海發行所總經售

*

統一書號：13119·9

(原中科院印 2,000 冊)

開本 850×1168 1/32·印張 5 1/2·字數 119,000

一九五六年三月新一版

一九五六年八月第三次印刷·印數 6,021—9,520

定價：(10)九角五分

理科學習叢書總序

在學習蘇聯先進科學技術來進行社會主義建設中，基礎科學的學習佔有極重要的地位。然而在這方面的適當學習資料却極感缺乏。翻譯過來的蘇聯教材，詳備廣博，即使蘇聯的大學生，依照莫斯科大學校長彼得羅夫斯基院士的話，也感到過於厚重，而舊時英美方式的一套書籍，當然也不適合於今天的我們來應用。現在需要有基礎科學方面一系列的精簡扼要的學習資料，不但對大專學生來說，可以學得少一些又學得好一些；尤其對在職幹部，使他們在業餘時間，一卷在手，可以“無師自通”地學到了蘇聯基礎科學的精義。

爲了配合這個需要，我們邀請有經驗的教授專家們來編撰有系統的基礎科學學習資料，定名爲“理科學習叢書”。希望能將蘇聯科學的重要環節精簡突出，學習他們掌握唯物辯證法的規律來理解自然現象的基本內容，從而能夠結合我國的實際情況來從事社會主義建設。

現在先從物理學方面着手，因爲物理學的基礎知識不僅是大專學生必須通曉，而且也是基本建設幹部所必須首先掌握的。這樣深入淺出的、有系統的、簡明扼要的物理學學習叢書，是我們可以初步提供出來的微末貢獻。我們儘管抱有服務的宏願，可是限於人力物力，現在祇能盡一些綿薄的力量，先編撰這一種出來，預擬在一二年內把物理學各部分的叢書出齊。希望社會各界予以關切支持，我們當盡力所及，來考慮繼續編撰其他門類的理科學習叢書。

編者

一九五五年五月

1463864

目 錄

總論	1
----------	---

I. 光的基本性質	4
-----------------	---

引言	4	a. 視見度 光通量	15
1 光學發展的概要 光的本性	5	b. 發光強度 面發光度與照度	18
2 光速和光速的測定	8	c. 亮度	21
3 光的電磁學說和各種電磁輻射	11	例題	23
4 光度學的基本概念	15	結論	24

II. 光的干涉	25
----------------	----

引言	25	例題 1	33
1. 光源的相干性	25	例題 2	35
2. 菲涅耳鏡	27	5. 等傾度干涉條紋	36
3. 光在通過厚度不同的媒質薄層 時所產生的干涉現象	30	6. 干涉儀和它的應用	37
4. 等厚度干涉條紋 牛頓圈	33	結論	40

III. 光的衍射	41
-----------------	----

引言	41	縫衍射	49
1. 菲涅耳和夫琅和費-許維爾特 衍射 菲涅耳帶	42	4. 許多平行狹縫的衍射現象 衍 射光柵	55
2. 菲涅耳衍射的幾種簡單情形	45	5. 衍射光柵的色散率和分辨本領	58
a. 在圓盤邊緣的衍射	45	例題	61
b. 圓孔所產生的衍射	46	6. 衍射光譜 光譜和它的類型	63
c. 直稜邊緣的衍射	47	結論	67
3. 夫琅和費-許維爾特衍射 單狹			

IV. 幾何光學	68
----------------	----

引言	68	2. 全反射	72
1. 光的反射和折射	69	3. 稜鏡 光的色散	74

4. 光在分界面上的折射	77	c. 顯微鏡	99
5. 厚透鏡和透鏡組	87	d. 攝影機	101
例題	89	e. 幻燈	102
6. 透鏡的缺點	91	f. 稜鏡攝譜儀	103
7. 光學儀器	96	8. 光學儀器的分辨本領	104
a. 放大鏡	97	結論	108
b. 望遠鏡	98		

V. 光的偏振 109.

引言	109	6. 單軸晶體內的波面	123
1. 自然光和偏振光 偏振現象 ..	109	7. 偏振光的干涉 橢圓偏振光和 圓偏振光	124
2. 反射和折射偏振光 <u>布儒斯特</u> 定律	112	例題	127
3. <u>馬呂斯定律</u>	116	8. 偏振光的系統分析方法	128
4. 雙折射	117	9. 偏振平面的旋轉	129
5. <u>尼科耳稜鏡</u>	121	結論	132

VI. 光色和色度學 133

引言	133	5. 相減混合色	144
1. 視覺的基礎和視官的靈敏度 ..	133	6. 油漆(或顏料)和墨水的色	145
2. 相加混合色	136	7. 相減原色	146
3. 配合光譜色的三色混合數據 ..	137	結論	148
4. 主波長和純淨度 互補色	141		

VII. 光的量子現象 149

引言	149	2. 光電效應 光量子或光子	153
1. 經典輻射理論的局限性 <u>普朗克</u> 公式——能量子	149	3. 倫琴射線的散射 <u>康普頓效應</u> ..	158
例題	152	4. 光的二象性及其統一	162
		結論	165

結語 166

總 論

最初研究光學的是我們中國人。遠在 2400 多年以前，墨翟（公元前 468～382）在他的著作墨經裏，已講到關於光沿直線進行和影的生成的原理。他也曾討論了光的反射性、並觀察關於平面鏡和球面鏡的造像情況。世界光學知識最早的記錄，以前一般的說法是屬於歐几立德^①，他的生卒年不詳，大概生在公元前第三、四世紀之間，比墨翟約後一百年。在歐氏的書裏雖有關於光的反射定律和光沿直線進行的記載，但關於光的直進的說法，都是一些主觀的敘述。墨經中的記載則不然：就體制來說，它儼然是一部完整的幾何光學；就內容來說，它是從觀測實驗得來，不是憑空的虛文；也就是說，墨經中關於光學部分的知識，不是靠內在的直覺獲得，而是由觀察外界事物、從客觀的分析得來，完全合乎辯證唯物規律。所以墨經上所講的，比歐几立德來得早、並且來得好。

到周朝時候，我們的祖先已能利用平面或凸面鏡照人、以及用凹面鏡會聚日光取火。這種鏡子一般是用銅和錫的合金製成。關於平面、凸面和凹面鏡的造像法則，也很早就被發現。宋朝沈括著的夢溪筆談上說：“古人鑄鑑，鑑大則平，鑑小則凸。凡鑑窪則照人面大，凸則照人面小。小鑑不能全觀人面，故令微凸；收人面令小，則鑑雖小而能納人面。”這裏的“鑑”就是專指用以照人的鏡子。

光學所討論的現象，最初僅限於我們四週所發生的、作用於眼睛的、因而引起主觀視覺的一些客觀現象。到後來物理學上逐步

① Euclid

發展的結果，才概括了這個概念，進一步說明：光就是本性為一致的、一些客觀現象的、更廣泛的總合。這些客觀現象歸結為波長較短的電磁波的傳播，而不論它能引起人的主觀視覺與否。今後我們將在這個基礎上去認識光的意義。

關於光的傳播，有四個較顯著的定律。這四個定律都是由經驗歸納得來：光的直進、反射、折射和獨立定律。從這四個定律所推得的定理和原則很多，集合而成今天所謂的幾何光學。幾何光學是最初物理學家對於光學的貢獻，它祇告訴我們如何應用以上實驗律例的方法，而不去解釋這些律例何以必然如此。如果我們要瞭解這些定律的必然性，就須先談光的本性。在瞭解光的本性後，我們不但可以推導幾何光學中各定律，並且可以解釋許多幾何光學中所不能解釋的現象，同時我們還能發現，這些定律祇在所允許的精確範圍以內才是正確的。這一部分光學稱為物理光學。因此，幾何光學實在是物理光學的粗淺部分。在本書中先討論物理光學，從光的基本性質談起。

從純粹物理學的觀點來講，光學現象和理論的研究，有它自己固有的重要性。從我們對自然界的認識來講，光學方法對原子和分子的結構、以及原子核組成的理論方面，有極重要的貢獻。在近代生產技術上，它也是不可或缺的知識的一部分：光學儀器在研究和生產過程中，是應用最廣泛的工具，它幾乎滲透到我們日常生活中的每個角落裏；倫琴射線結構分析和偏振光偏振面的旋轉等等，在工業上、醫學上的應用，都有它獨到的地方。近年來，光譜分析在化學方面也有它特出的貢獻。在本書裏我們雖不能一一介紹，但讀者應認識光學理論還在繼續發展中，而光學現象的應用範圍也一天天地在擴大着。

光學的範圍非常廣泛,爲研究方便起見,我們把它劃分爲下列七個部分來討論:

- | | |
|--------------|-------------|
| I. 光的基本性質, | II. 光的干涉, |
| III. 光的衍射, | IV. 幾何光學, |
| V. 光的偏振. | VI. 光色和色度學, |
| VII. 光的量子現象. | |

1. 光的基本性質

引言

本章討論的主題是光的基本性質。首先我們從光學發展歷史的過程去認識光的本質。重點放在我們對光的微粒說和光的波動說的取舍方面。進一步說明麥克斯韋的電磁理論和赫芝的實驗，確立起光和電磁波的類同性，使以前認為互不相關的電磁現象和光現象得到了本質上的統一，因而鞏固了波動說的基礎。量子論的發展，解釋了許多波動說所不能解釋的現象，迫使我們對於光的本質的認識又局部地恢復到微粒說的形式。但這種新的微粒——光子和牛頓的把光當作是實質質點的看法不同：這裏所說的光子雖具有一定的能量和動量，但它的靜止質量等於零。這樣說來，光兼有微粒和波動的兩種特性。直到量子力學建立以後，才把光的微粒性和波動性結合起來，統一了其間的矛盾。關於光的量子現象，我們在第七章中另有討論，本章中僅約略地提一下。

光的電磁學說是波動學說的基礎，在本章中特別提出，加以討論。各種電磁輻射的類型，也附帶地加以說明。光速是一個很重要的物理量，不但在描述光過程時要引用它，而且在更廣泛的電磁過程中也都要引用到它，我們把它的測定方法和最近的結果簡略地加以敘述。

整個光度學構成本章的其餘部分。我們要求讀者能把視見度的意義、光通量、發光強度、面發光度、照度和亮度等概念分辨清楚。

1. 光學發展的概要 光的本性

陽光的射入，使我們在地球面上感覺溫暖，一切生命賴以持續。這個例子說明了由於光的傳播，才能使能量——這種能量是輻射能的一種，叫做熱能。——從空間裏的一處向另一處傳遞，我們先來考究這種能量傳遞的過程是怎樣完成的。

我們噙了力學和波動，懂得能量的傳播，它所取的方式，祇有連續的波動過程和不連續的質點流兩種。那麼光的傳播是一種波動呢、還是一種質點流？

光的微粒說和波動說，在十七世紀末葉，幾乎是在同時建立的。牛頓認為光源所發射的是許多微粒，這種看法的最重要的實驗根據，就是光的直進現象。牛頓應用微粒說解釋了當時所知道的許多光的現象，例如，光的反射和折射等等。由於牛頓的聲望，整個十八世紀，微粒說始終佔着優勢，直到十九世紀初葉，波動說獲得實驗證據之後，這種觀點才被放棄。

和牛頓同時，惠更斯創立了光的波動說，他認為光能是以波動方式傳播，但是因為波動說在當時還不能解釋光的直進現象，所以沒有得到人們的公認。直到後來，楊^①在1802年用雙縫解釋了光的干涉現象，菲涅耳^②在1809年另自發現此同一現象，同年，馬呂斯^③宣佈了光的偏振定律，後來（1818）菲涅耳又應用光的波動說解釋了光的直進和其他現象，微粒說才逐漸被淘汰。但微粒說所受到的致命打擊是傅科^④在1851年所做的實驗，這個實驗的結果、證明光在水中的速度比空氣中的速度為小，恰與從前微粒說所要

① T. Young, 1773-1829

② A. Fresnel, 1788-1827

③ E. L. Malus, 1775-1812

④ J. L. Foucault, 1819-1868

求的結果完全相反。到此時人們才完全放棄牛頓的微粒說，而確認光是一種波動。

羅蒙諾索夫^①是光的波動說的一貫擁護者，他曾企圖將光的振動和物質微粒的運動聯繫起來。他在1753年後做了弦在真空中振動的實驗、以闡明伴隨着弦的振動是否有光的發生，顯然這個實驗的結果是否定的，但作為直接證明光的波動說的第一個嘗試、是具有很大歷史意義的。1756年、在科學院隆重的會議上，羅蒙諾索夫批評了微粒說，發表了“關於光的起源的講話，提供關於顏色的新理論”。

雖然惠更斯和羅蒙諾索夫的學說正確地確定了光的波動性質，但他們還沒有明確地把波動過程的基本特性包括進去，光過程的時空週期性、是首經彼得堡科學院院士歐拉^②以明顯的形式發表出來的。

嗣後、麥克斯韋^③在1865年創立了光的電磁說，赫芝^④在1888年進一步發現電磁波的存在、以及它的類同光波的特性，列別迭夫^⑤在1901年用其光輝的特別精細的實驗、證實了光的電磁理論所預期的光壓力的存在，驗證了麥克斯韋的理論，於是光的波動學說便愈形穩固。

但是、到了十九世紀末葉，黑體輻射、光電效應、倫琴射線、放射性等一聯串的現象相繼發現。新實驗的結果，又多與舊時的波動學說格格不入。到了1900年、普朗克^⑥倡立了量子論、以解釋黑體輻射能量的分佈；玻爾^⑦（1911）和索末菲^⑧（1922）用以解釋

① М. В. Ломоносов ② Л. Эйлер ③ J. C. Maxwell, 1831-1879

④ H. Hertz, 1857-1894 ⑤ П. Н. Лебедев ⑥ M. Planck, 1858-1945

⑦ N. Bohr, 1885- ⑧ A. Sommerfeld

光譜學中一系列的現象，德拜^① (1912)並且根據它以說明固體比熱和溫度的關係，光的微粒說又逐漸抬頭。但這並不是表示我們又重新回到“過時”的理論——牛頓對光的微粒說法，也不是放棄波動概念，而我們要在這裏指明：光是一種非常複雜的現象，它在傳播時表現為波動的性質；在和物質作用時，表現出粒子的性質；它具有一定的能量和動量，所以光兼有波動和微粒的特性。現在我們知道光是物質的一種形態，將來我們還要見到實質質點也都同時具有波動和微粒的特性。晚近量子力學的發展，把光的波動性和微粒性結合起來，統一了波動與微粒概念之間的矛盾。對於光的本性，我們才有了正確的認識。

關於光媒問題，近百年來也有許多變遷。我們知道波動的傳播需要相當的媒質。光是橫波而且它的傳播速度很大，所以在光的電磁學說未發明之前，許多學者，如楊和菲涅耳等，都認為光媒是一種奇特的彈性固體，它的密度比最稀薄的氣體來得薄，它的彈性比一般金屬來得大。這種彈性固體稱為以太，彌漫於整個宇宙之間。以太究竟是什麼，在當時並未獲得定論。這種觀點到法拉第^②和麥克斯韋的時代，就被放棄。當時有人認為以太是電力線所合成，而電力線上的橫式波動即代表輻射的進行。同時也有人認為以太是缺乏普通物質的一般特性，而祇能以算學公式——即麥克斯韋場式，來表出。到了十九世紀末年，洛倫茲^③提出以太絕對靜止的說法以求適合布雷特萊^④在1726年所發現的光行差現象。至於菲索在1859年以及邁克耳孫和莫雷在1887年所作以太移動實驗的未有結果，洛倫茲另用相當假定加以說明。後來愛因斯

① P. Debye, 1884-

② M. Faraday, 1791-1867

③ H. A. Lorentz, 1853-1928

④ J. Bradley, 1692-1762

坦^①發表狹義相對論，以太存在的需要遂發生問題。以太的物性既無從觀察，而由狹義相對論的假定，其運動又非在地球上所能測定。所以以太的存在與否和一切自然現象無關。我們現在理解電磁場是物質的一種形態，它的傳播可稱是空間的特性，更無須乎以太的存在。因而我們把以太的空洞名詞棄置不用，而保留波動的實質概念。

2. 光速和光速的測定

光的速度是一個很重要的物理量。我們不僅在描述光學過程時要引用它，而且在更廣泛的電磁過程中也要引用到它。在真空中，光速是一個普通常數，相對論的建立，就以此為論據。在不同的媒質中，光速各有不相同的數值。光的微粒說的失敗，就是因為在媒質中光速的觀測值和依據這個學說所導致的理論值間的矛盾所造成。因此，從歷史的發展來看，光速的測定是一樁極重大的事件。由於光速的巨大，測定就比較困難。在歷史上，最初測定光速時所用的方法，大都是屬於天文學上的間接方法。在地面上直接測定光速，還是在十九世紀中葉才開始的。我們現在提出在地面上測定光速的齒輪法來討論。

斐索^②在1849年用齒輪法首次在地面上完成測定光速的方法。這個方法的裝置，有如圖1-1所示。光從點光源 S 出發通過透鏡 L ，經塗有薄銀層的玻璃片 M 反射後會聚於 T 點。在 T 點處，有一齒輪 A 的齒， A 可繞軸線 OO 旋轉。光線通過 T 點後，繼續通過透鏡 L_1 和 L_2 ， L_1 和 L_2 之間儘可能地保持一個相當遙遠的距離。由於 T 點恰好在透鏡 L_1 的焦點上，因而從 L_1 射出的光束是平行

① A. Einstein, 1879-1955

② H. L. Fizeau, 1819-1896

的。光束射到透鏡 L_2 之後，經 L_2 聚焦在平面鏡 M_1 上，經由它反射後仍沿原路返回。到達玻片 M 時，因片上銀層很薄，所以部分地被反射到 S 點，其餘部分則通過 M 與目鏡 E ，最後進入於觀察者的眼睛中。

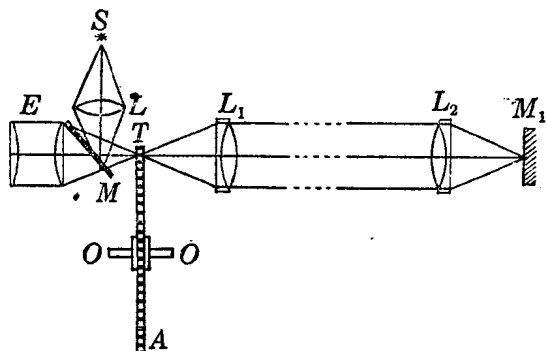


圖 1-1

當齒輪靜止時，如果在 T 點恰為齒輪的一個齒所阻擋，目鏡 E 中就觀察不到光亮。如果在 T 點是連續兩齒間的空隙，那麼就會看到光亮。現在將齒輪慢慢轉動，在目鏡中，我們將一會兒看到光亮，一會兒看不到光亮。如果齒輪轉動達到某一速度，使光線沿 MT 通過齒間空隙出發，在沿 $M_1L_2L_1T$ 折回時，恰巧遇到齒輪上另外一個相鄰的齒，光線就不能到達 TM ，在目鏡 E 中，就看不到光亮。如果將齒輪轉速加快一倍，那麼光線沿 MT 通過一個齒間空隙出發，從 M_1 反射回來時，恰巧遇到相鄰的另一個齒間空隙，這樣，在目鏡中就會看到光亮。繼續加快齒輪的旋轉速度，就可以交替地在目鏡 E 中看到忽明忽暗的視場。

設齒輪 A 有 n 個齒，在目鏡中第一次看到黑暗時，是在齒輪每秒轉動 ν 次的時候。那麼，因為兩齒間空隙的距離是齒輪圓周的

$\frac{1}{2n}$ ，所以轉過這樣角度所需的時間將是：

$$\Delta t = \frac{1}{2nv}.$$

在時間 Δt 內，光線來回一次所行經的距離等於 $2L$ (L 表示 T 和 M_1 之間的距離)。設光速等於 c ，則：

$$\Delta t = \frac{2L}{c}.$$

比較上列兩式，得：

$$c = 4nLv. \quad (1)$$

在斐索的實驗中，距離 TM_1 是 8.633 千米，齒數 n 是 720，測得光速為 315,000 千米/秒。此後人們又重複了斐索的實驗，使用了較完善的儀器，並將 L 加大到 23 千米，如此測得真空中的光速為 $c = 299,870 \pm 50$ 千米/秒。現在真空中光速的公認值，是柏吉^① 在 1941 年用統計法綜合各種光學方法所得到的最近真結果：

$$c = 299,776 \pm 4 \text{ 千米/秒}.$$

在大多數情況之下，認為 $c = 2.998 \times 10^{10}$ 厘米/秒已足夠準確。在較粗略的計算中，並可認為 $c = 3 \times 10^{10}$ 厘米/秒。

近年來隨着量度儀器的改進，科學家曾用各種不同的實驗方法對真空中的光速加以精確測定，其結果如下*：

測 定 者	方 法	結果(千米/秒)
<u>埃森和高登-斯密士</u> ^②	空腔共振器	299,792 $\pm$ 9
<u>柏格斯特蘭</u> ^③ , 1950	光學的	299,793.1 $\pm$ 0.26
<u>阿斯拉克孫</u> ^④	雷達	299,792 $\pm$ 2.4
<u>埃森</u> ^⑤ , 1951	空腔共振器	299,792.5 $\pm$ 3
<u>玻耳</u> ^⑥ , 1950	空腔共振器	299,789.3 $\pm$ 0.4

① R. T. Birge ② Essen & Gordon-Smith ③ Bergstrand

④ Aslakson ⑤ L. Essen

⑥ K. Bol

* 參看物理通報, I, 289-290 (1951).

合起來的平均值為 299,790.2。因此建議在未做出更準確的測量之前，即採取 299,790 千米/秒這個數值。因為空氣中的光速和真空中的光速相差極微，所以在大部分的計算中可以認為它們等於同一個數值，而表為 3×10^{10} 厘米/秒。

3. 光的電磁學說和各種電磁輻射

在十九世紀七十年代，麥克斯韋發展了電磁現象的理論，引導到電磁波的發現。在兩種透明媒質的分界面上，電磁波遭受反射和折射。在其他適當條件下，它還表示出與光波完全相似的干涉、衍射和偏振等現象。因為偏振現象是橫波的特徵，因此我們說明電磁波也是橫波。要確定光波與電磁波等同，還必須證明它們在真空中係以同一速度傳播。根據麥克斯韋的理論，電磁波在真空中的傳播速度，等於電流的電磁單位與靜電單位的比值，它的數值是 $(2.9978 \pm 0.0001) \times 10^{10}$ 厘米/秒。真空中光速的直接測量數值，依據光學上的綜合結果（見 I, 2 節）是 $(2.99776 \pm 0.00004) \times 10^{10}$ 厘米/秒。在測定的誤差範圍之內，上述數字顯與真空中的光速相同。這個結論奠定了光的電磁學說的基礎。電磁波和光波之間的主要差別，首先表現在它們波長的不同上：電磁波波長的數量級是若干米，而光波波長是 5×10^{-5} 厘米左右。其次表現在它們的振動特性上：電荷在宏觀物體內振動（人造振盪器所產生的電振盪）時，產生波長很長的電磁波；而原子與分子內的電子狀態或晶體點陣中及個別分子中離子的振動狀態、以及一切分子的轉動狀態改變時，則產生光波。

依照電磁學說，電磁波為兩個矢量的振動所表徵：電場強度矢量 E 與磁場強度矢量 H 。這兩個矢量以相同的位相在兩個相互垂