

光的微觀結構

瓦維洛夫著

中國科學院出版

光的微觀結構

(研究和概略)

C. 瓦維洛夫著

趙祖森 譯
錢尙武

中國科學院出版

1954年6月

光的微觀結構

МИКРОСТРУКТУРА СВЕТА

原著者	С. И. ВАВИЛОВ
翻譯者	趙祖森、錢尙武
出版者	中國科學院 北京 (7) 文津街 5 號
印刷者	北京市印刷二廠 北京 修 德 閣 路
發行者	北 華 書 店

(譯) 54020

1954 年 6 月 第 一 版

(自然) 037

1954 年 6 月 第一次印刷

(京) 0001-5,200

開本: $787 \times 1092 \frac{1}{32}$

字數: 138 千字

印張: $4 \frac{23}{32}$

定價: 10,000 元

1.2

序

在光的學說中，在它的“解決問題的”、通常的形式中，總是不聲不響地假定，任一光源和任一光流完全可以用輻射能、光譜、偏振態這三個標誌表徵出來。實際上只有在解決宏觀光學問題時，亦即在解決光很強、觀察持續時間很長、輻射源很大的光學問題時，這三個標誌才是真正充份的。宏觀光學的背後藏着微觀光學，微觀光學在某些方面和宏觀光學不同，就像實物（Вещество）的熱力學學說有別於實物的分子說一樣。

在和強度很小的光源打交道時，有賴於光和實物量子本性及光源的分立結構（Дискретное строение）的光流的統計起伏開始顯現出來。很小或很細的發光體的干涉特性可以有很厲害的變化，就看構成光源的輻射體的本性如何，就看我們在實驗中是和偶極體系還是和四極體系及磁偶極體系打交道。在迅速中斷的光內（熒光鏡觀察）發生的現象裏，隱匿在穩定“宏觀”微光中的分子激發狀態的持續性和輻射的特殊偏振性質就顯現出來。

在輻射光時緊靠着輻射體的媒質具有十分特別的意義。如果在吸收媒質中發生微光而隣接的吸收質點離開光源的距離小於光的波長的話，發光分子和從它發出的光遭受到深刻的變化。這時吸收大大地增加並發生輻射的退偏振。從發光並同時吸收光的媒質中輻射出的光的這些特性早先在宏觀光學中歸之於在發光體內進行的特殊物理—化學過程。然而微觀光學的分析指

明，我們面臨的是在吸收分子離發光中心很近的特殊情形下發生的純粹光學現象。

貫穿本書三個不同部份的總樞紐是含義已經指出過的微觀光學，這也就說明為什麼本書的書名是“光的微觀結構”。

本書的主要內容是我和我的同伴近三十年來在不同的地點——在物理和生物物理研究所，在莫斯科大學，在國立光學研究所，在列別捷夫物理研究所，對光的微觀結構問題和一般微觀光學問題所作的某些研究工作的敘述。此外在各別的情形下給出和主題接近的蘇聯和外國的其它研究工作的梗概。

在第一部份中敘述用視覺方法對光量子起伏的實驗研究。這一部份（稍有不同）早先在 1948 年“物理科學的成就”上發表過。

第二部份用來研究（主要是因為光的微觀結構問題的緣故）干涉現象。這兒除了我們研究工作的敘述之外還包含有不少的講授用的材料，給出光的干涉學說的初級陳述，這兒的解釋和平常的解釋有些不同。我覺得用本書中的解釋方法可以比較容易地了解干涉現象和光學中的干涉方法的微觀光學意義。

在第三部份中研究吸收媒質輻射出的光的性質。

本書的編著使我們能回顧許多年前得到的結果，用新的、微觀光學的觀點去理解它們，在許多情形中修正它們。

微觀光學的研究，除了原則上的意義之外，在技術和醫學各部門中也開闢了某些實用的前途（研究眼睛的新方法，光敏化的新方法，發光性化學基團 Люминофор 的改進等等）。同時不要忘記，微觀光學還在它發展的初期，因為光的學說中某

些最重要的問題還沒有解決。到現在為止，光的電磁說實質上只是和量子事實及量子概念機械地聯合在一起。在從 γ -光子形成電子-正電子偶的過程中光轉化為實物的基本現象無疑地直接關係於微觀光學的問題，但這一現象到現在為止在光學中還是特出的，而只有極抽象的形式上的解釋。形式主義和遺留至今的，電磁場經典學說的“不可歸結性 (несводимость)” 尚有待克服。理論物理學這一領域內的進步，應該希望，將決定性地幫助微觀光學進一步地發展。

衷心地感謝我的同志和同伴們 — В. Л. 列夫興、Е. М. 勃洛姆貝克、И. И. 費奧非洛夫、Б. Я. 斯維希尼可夫、А. Н. 雪夫金科、И. А. 切倫可夫、Ф. М. 匹凱芒、Т. В. 梯莫菲也夫、М. Д. 伽朗寧。他們在科學上的成果大有助於我們當前問題的解決。

С. 瓦維洛夫

莫任卡

1950年8月

HC 154

本書內容摘要

本書係根據蘇聯科學院出版社出版的瓦維洛夫 (С. И. ВАВИЛОВ) 著“光的微觀結構”(МИКРОСТРУКТУРА СВЕТА) 1950 年版譯出的。本書分三部分研究微觀光學，第一部分論述用視覺方法研究光的量子起伏，第二部分論述光的干涉，第三部分論述光源和媒質的相互作用。本書曾獲得 1951 年度斯大林獎金，是一本富有創造性、思想性的傑出的科學著作，它開闢了一條研究光學的新道路。

53.712
351.1

目 錄

	頁數
序.....	1

第 一 部 分

用視覺方法實驗研究光的量子起伏

第一章 量度量子起伏的視覺方法.....	3
§ 1. 光的“經典”起伏和量子起伏.....	3
§ 2. 量子起伏視覺觀察的可能性.....	5
§ 3. 量子起伏視覺量度方法的原理.....	9
§ 4. 實驗裝備和量度程序.....	14
§ 5. 對於光譜藍—綠區域的起伏量度的結果.....	21
第二章 國外的視覺起伏量度.....	28
§ 6. S. 亥赫特和他的合作者的起伏量度.....	28
§ 7. 萬·德·凡利登和其他人的起伏量度.....	32
第三章 起伏和眼睛的性質.....	38
§ 8. 在光譜不同區域的視覺起伏.....	38
§ 9. 在人爲增高視覺閾的條件下的起伏.....	43
第四章 在強度很小的情形下光流性質的起伏量度.....	47
§ 10. 相干光束的相對起伏.....	47
§ 11. 光束的偏振起伏.....	49
參考文獻.....	51

第 二 部 分

論光的干涉初級學說的前提和某些結論

第一章	光的疊加原理實現的範圍·····	55
§ 1.	作為方法的干涉和作為原理的干涉·····	55
§ 2.	真空中疊加實現的範圍·····	59
§ 3.	在吸收實物中疊加實現的範圍·····	63
§ 4.	由於光的吸收而發生的“綫性”的破壞·····	71
第二章	干涉初步理論之基礎·····	77
§ 5.	光束之干涉·····	77
§ 6.	理想的單色光束和實際的單色光束·····	83
§ 7.	平行光束之干涉及逆平行光束之干涉·····	87
§ 8.	費涅爾干涉·····	95
§ 9.	費涅爾干涉和光源的大小·····	99
第三章	干涉和元輻射體的本性·····	108
§ 10.	在諸相干光束發散得很厲害的情形下費涅爾干涉的特性·····	108
§ 11.	由偶極子及四極子組成的光源的干涉特性·····	113
§ 12.	大角度的干涉實驗·····	120
第四章	媒質對干涉現象的影響·····	123
§ 13.	自然光的結構和此結構在干涉中的表現·····	123
§ 14.	切倫可夫輻射和媒質中的干涉·····	126

第五章 干涉場的統計結構	132
§ 15. 干涉場中起伏的視覺觀察	132
§ 16. 干涉場中起伏的量的量度	133
參考文獻	136

第 三 部 分

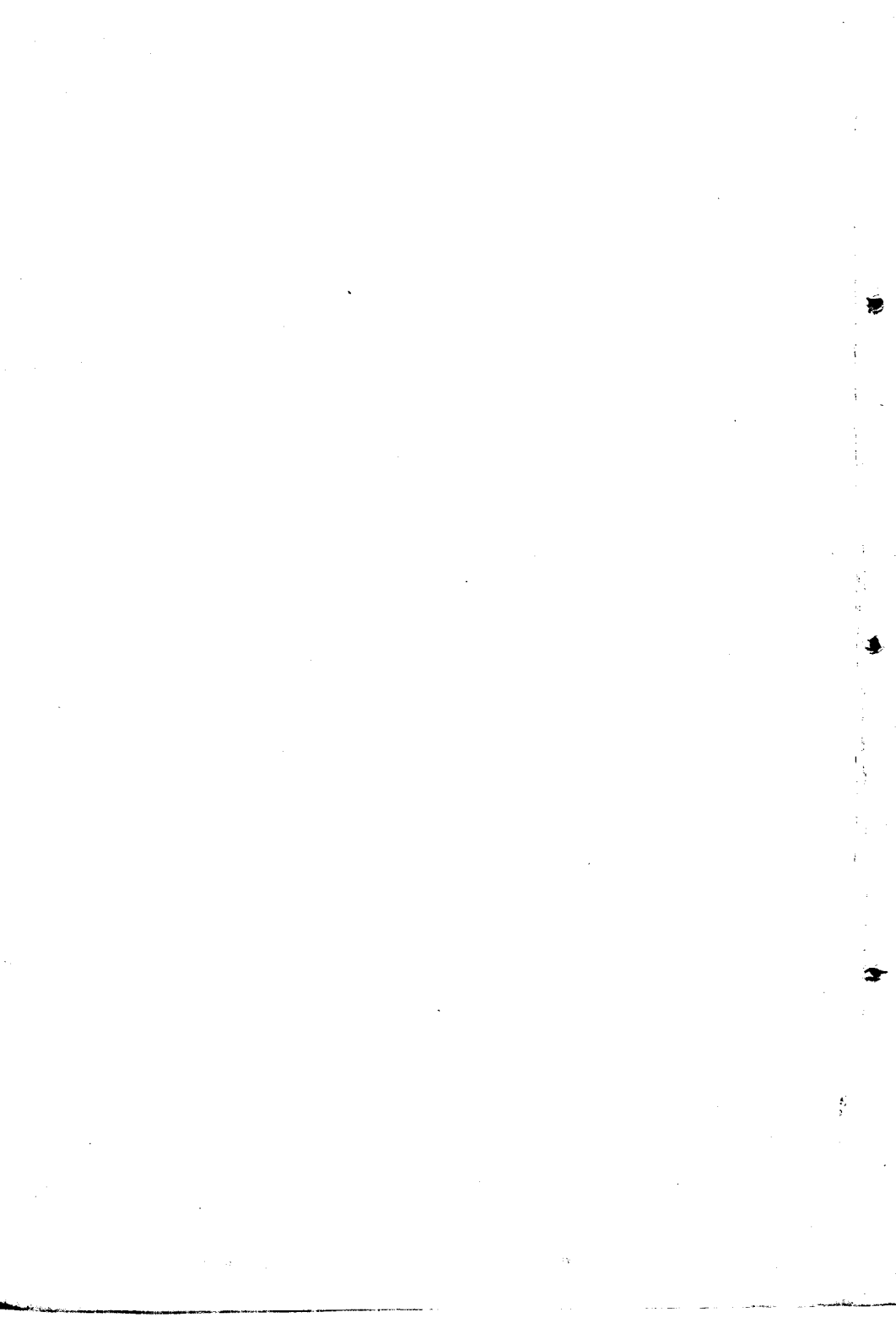
吸收媒質所輻射的光的性質

第一章 在分子間感應聯系的情形下光的輻射和吸收	139
§ 1. 使用“光源”和“媒質”這兩個分開的概念 的條件	139
§ 2. 鄰近微粒間感應聯系的預期的光學結果	141
第二章 吸收能量的共振徙動和螢光的退偏振	146
§ 3. 發光溶液中光的“尋常的”變化和“不尋常 的”變化	146
§ 4. 激發能轉移到鄰近分子的幾率作為時間和 濃度的函數	150
§ 5. 光致發光的濃度退偏振	157
§ 6. 光致發光在衰減時的退偏振	167
第三章 發光的濃度消光和感應共振	177
§ 7. 光致發光的濃度消光和解釋它的企圖	177
§ 8. 濃度消光理論	179
§ 9. 在濃度消光時衰減的加速	182
§ 10. 濃度消光理論的實驗驗證	183

§ 11. 受激狀態平均持續時間的改變對濃度退偏振和消光的影響	191
第四章 發光的消光和光的吸收	196
§ 12. 發光因外來吸收物質而引起的消光	196
§ 13. “一度”媒質中的退偏振和發光的消光	200
§ 14. 發光的光在薄層中的吸收	202
參考文獻	207
名詞索引	209

第 一 部 分

用視覺方法實驗研究光的量子起伏



第一章 量度量子起伏的視覺方法

§1. 光的“經典”起伏和量子起伏

光流中不規則微觀結構的存在應當直接由在光流的各種光學性質中對平均值的統計偏差（起伏）顯露出來。要觀察這種起伏必須以非常弱的光源或非常弱的光流來做實驗。這兩個條件對經典的（波動的）問題研究和量子的問題研究是並不勢均力敵的。

平常的光源由極多輻射着的運動質點所組成，這些質點相互作用着、碰撞着，有的在碰撞時得到新的刺激而輻射，有的則相反的停止輻射。在考慮到這些過程的統計混沌狀態時，容易理解：當發光質點的數目相當少時，當在極短的時間內觀察這些質點的集團時，即使在經典的問題研究中也必須去預期在光流中對平均值的統計偏差。這樣的起伏將表示發光媒質分子運動的不規則性。然而重要的是去指出這些“經典”光起伏的下列特性：首先它們祇決定於發生在光源內部的過程而不應有賴於射在儀器上的光流強度。比方說，我們可以在任何距離研究很弱的點光源所發出的光，但是起伏還應該是一樣的，這是因為它們祇決定於光源本身的分子運動。另一方面，從經典的觀點看來，沒有起伏的光源是可以實現的。譬如，我們試想像溶解在極粘滯物質中的在沒有（或者近乎沒有）起伏的外界光源作用下發着螢光的那些分子。從經典的觀點看來，不受粘滯

媒質激發或消光作用的發着螢光的分子（按照實驗）應當連續地經久地沒有起伏地輻射着光。

顯然，“經典的”光起伏應當和光源的物理狀態有着很密切的關係，祇有在絕對黑體平衡溫度輻射的條件下，這些起伏才可能和物體的組成和構造無關而祇是其溫度的函數。

輻射的量子本性根本上改變了起伏現象的性質。甚至就在剛才所探討過的情形中，當我們用經典觀點來看光起伏是可以沒有的，可是決定於個別分子輻射行動的所謂“自動”不依賴性（“спонтанная” независимость）的量子輻射却應該完全顯現出來，然而，在一般情形下，在這些量子起伏上應該加上由於分子運動和質點的相互干擾所引起的統計振動。例如，當受激分子被迫從亞穩狀態回到易變狀態（Лабильное состояние）隨之產生輻射時，反映分子被迫激發的統計無規性的“經典”起伏應該顯示出來，而同時表示從平常受激態恢復到正常狀態的自發性質的量子起伏也應該顯示出來。

對於熱黑體閉合空穴中的輻射能量而言，總起伏（經典的加上量子的）的平方平均值以愛因斯坦的二項式來表示，愛因斯坦的二項式表明着兩類起伏的相加性質 [1]，它是

$$(\Delta E_0)^2 = h\nu E_0 + \frac{c^3}{8\pi\nu^2 \Delta\nu} \frac{E_0^2}{\nu_0}, \quad (1)$$

式中（根據蒲朗克公式）

$$E_0 = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{\Delta\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \nu_0;$$

ν_0 ——空穴的體積；

ν ——輻射的頻率；

$\Delta \nu$ ——所研究的光譜間隔。

利用寫出的 E_0 值，將愛因斯坦的公式適當地改寫成這樣的形式：

$$\overline{(\Delta E_0)^2} = h\nu E_0 \left(1 + \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \right). \quad (2)$$

對於可見光來說，例如波長為 $5000 \text{ \AA}$ 的可見光，當溫度 $T \approx 3000^\circ$ 時

$$\overline{(\Delta E_0)^2} \approx h\nu E_0, \quad (2')$$

然而，例如當 $T \approx 30000^\circ$ 時，在起伏的表示式中就應該顧到第二項，起伏將是可測的溫度函數。由此可見，起伏現象至少在原則上可以用來，例如測量熾熱星球的溫度，當然，如果可能去假定在實驗時間中星球輻射的平均強度不變。

將量子起伏和“經典”起伏截然區別開來的光的量子起伏的基本性質是：祇要所觀察的光流充分稀疏，不管固定光源的狀態怎樣，量子起伏是應該觀察到的。不管光源是自己發光的，是散射外來光線的，是熾熱的物體或者是發螢光的物體，總之在一切情形下，都應該在充分弱的光束中觀察到量子起伏。如上面所講過的，這些量子起伏可以在某些條件下，由於“經典的”反映輻射體本性的分子起伏而變得複雜起來。

§2. 量子起伏視覺觀察的可能性

到現在為止，量子起伏的理論研究還祇限於絕對黑體的平

衡溫度輻射。在實際上，早就可以用靈敏的電離室和蓋革彌勒計數器來測量 X 射線和 γ 射線的硬性光輻射的起伏。然而，現代的光電管和光子計數器還沒有達到為研究光譜可見部分中的起伏所必需的靈敏度和穩定性。但是系統研究這一領域中的起伏現象却具有特殊的價值，這是因為正是從可見光中得到實物 (Вещество) 的其他光學性質的基本知識來得特別多的緣故。

在客觀的儀器缺乏時，自然，研究就應該重新求助於眼睛，在光學的發展中，眼睛曾有過不可估價的貢獻。1932 年巴涅司和金尼 [3] 發表了用已對黑暗適應的眼睛去觀察量子起伏的可能性的假定。大家知道，耽在完全黑暗中相當長時間（約一小時）的眼睛具有很高的靈敏度。對於不同的觀察者，對於不同時候的同一觀察者，這一靈敏度有些許（有時候有好幾倍）的擺動。它和像所落在的眼睛網膜的位置有關，和所用的光的波長也有關係。根據我們下面所描述的量度 [11]，在光波長度約為 $525 \text{ m}\mu$ 的情形下視覺閾（порог зрительного ощущения）約為每秒鐘 200 個光子，對於四個不同的觀察者來講，相對擺動可以達到兩倍。視覺閾是指：在觀察所成的像和眼睛底部中央凹處（中央小窩）¹⁾ 相距 8° 的、直徑約為 $6'$ 的光斑的情形下，視覺所能覺察的最小能量。根據亥赫脫和他的工作人員的量度 [12]，對於 $\lambda = 510 \text{ m}\mu$ ，角大小為 $10'$ 並且用和中央小窩相距 20° 的網膜區域來觀察的情形下，引起視覺的最小平均光能的值約為 100 個光子，可能有三倍的出入。所指出的數目是指落

1) 當眼睛凝視一物時，物像就落在中央小窩上面，這時對物體的細節辨別得特別仔細一譯註。