

# 光在極低强度下的干涉現象\*

L. 嘉諾西 Zs. 那拉意\*\*

(匈牙利科学院中央物理研究所)

## 提 要

用 Michelson 干涉仪得出干涉圖案; 用光电倍增管計算光子率, 由此測定該圖案內的强度分布. 証明了極低光强度下所得的圖案与正常强度所得的圖案, 在实验誤差範圍內沒有区别. 在低光强度下, 每秒钟約有  $10^6$  光子进入干涉仪, 因此, 在这样的低光强度下, 平均說来, 在任何時間, 干涉仪內具有的光子数还远不到一个.

## 一. 引 言

§1. 由光的經典理論, 导出如下概念: 包括透鏡狹縫等光学系統所产生的任何干涉圖案, 其中的光强度分布, 与产生圖案的光强度無關. 不过, 在本世紀初叶, 發現光系由光子組成, 因而产生如下的疑問: 在極低的光强度下, 即光束內光子密度已經小了, 这时干涉圖案与光束內密布光子的較高强度的圖案性質是否相同. J. J. Thomson 曾对 G. I. Taylor<sup>[7]</sup> 表示过他的怀疑, 他觉得在極低光强度下, 干涉圖案也許会与在較高光强度所得的有基本区别; Thomson 这项意見使得 Taylor 用極低光强度作了干涉实验. 此后 Dempster 与 Batho<sup>[4]</sup> 对此問題作了更精密的实验. 但是, Taylor 以及 Dempster 与 Batho 的实验都似乎指出, 由低光强度所得的圖案与由高光强度所得的圖案, 在干涉条紋强度分布方面并無区别. 加之, 在二十年代, 量子力学对光的微粒与波动双重性質, 获得了数学上的一致性, 所以, 一时以为問題已得到最后肯定; 甚至在今天, 許多物理学家也認為問題已在理論与实验兩方面有了滿意結果.

§2. 关于光的波动-微粒性質, 量子学說固然在数学上有了滿意的解答, 但这种形式主义并無明白的物理意义; 为了要了解光子或光真正是些什么的任何企圖, 常导致一些極為是非混淆的結論 (例如参看 Born<sup>[2]</sup>, Jordan<sup>[9]</sup>, Dirac<sup>[5]</sup>). 許多理論物理学家声称, 近代物理的主要特征就是微觀現象不能形象化; 另一些学者, 例如 E. Schrödinger<sup>[18]</sup>, 則看出这是理論的不完滿形态, 是一种“危机的信号”. 無論如何, 一架大干涉仪不能当作微觀系統; 然而, 这样一个大系統內却也出現了波动-微粒的矛盾. 这种矛盾大概值得我們簡略地描述一下.

§3. 用光电倍增管, 能够数清处在微弱光束內的个别光子. 如果我們將光束  $B_0$  分

\* 1957年5月13日收到.

\*\* 作者曾参加1957年4月在北京举行的匈牙利电子学仪器展覽会, 并訪問我国科学界.

作兩項具有相參性的分量( $B_1$ 与  $B_2$ ), 那末我們能够数清这些分量內的光子[分別用倍增管  $P_1$  与  $P_2$ , 参看圖 1(a)]. Adám, Jánossy 与 Varga 的實驗<sup>[2]</sup>, 以及 Brannen 与 Ferguson 的實驗<sup>[3]</sup> 已証明在这样相參光束中的光子之間, 并無系統的符合現象. 对此項結果的解釋, 有兩種可能的建議: (1) 光子被分裂成兩部分, 每部分各落位在其路程中

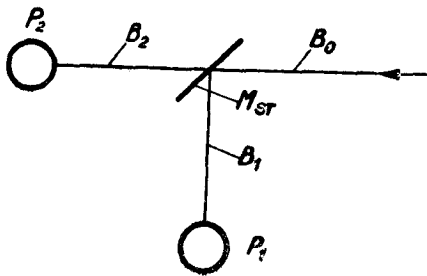


圖 1a. 研究符合現象的實驗布置示意圖

到达半透明鏡  $M_{ST}$  的光束  $B_0$ , 分成兩項相參的分量  $B_1$  与  $B_2$ , 分別进行到光电倍增管  $P_1$  与  $P_2$ . 对倍增管  $P_1$  与  $P_2$  間的符合現象加以研究.

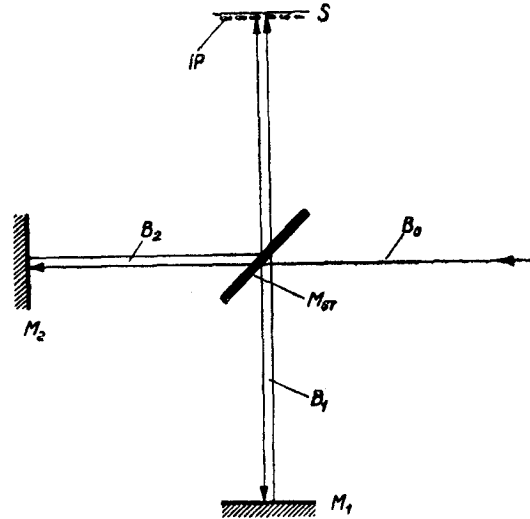


圖 1b. Michelson 干涉儀略圖

入射光束  $B_0$ , 在半透明鏡  $M_{ST}$  处, 分作兩股相參光束  $B_1$  与  $B_2$ ; 它們分別由鏡  $M_1$  与  $M_2$  反射后, 产生干涉圖案  $IP$ .

的倍增管上. 一部为倍增管  $P_1$  所吸收, 而另一部通过某种尚不清楚的机构而为倍增管  $P_2$  的光陰極所吸收. 由于这个假設并無其他實驗的証明, 我們宁願采取另一可能的假設: (2) 實驗似乎証明: 原始光束內的光子包含在原始光束所分成的相參分量中的一个或另一个內. 也就是說, 實驗証明光子并不分裂成兩部, 使每部可由倍增管記錄; 因为, 如有这类“分裂的光子”, 就必須产生系統的符合現象. 若我們假設一个光子系一串具有全能量  $h\nu$  的电磁波, 根据 Maxwell 理論, 要是它落在半透明鏡上, 这样的波真会分成兩部, 各沿着它自己的光程而前进<sup>1)</sup>.

借助于光的微粒圖形, 我們可以容易了解此种符合現象的實驗. 當我們把圖 1(a) 的安排改为圖 1(b) 那样时, 矛盾情况就显而易見了. 圖 1(a) 的安排是, 設相參分量由两个鏡 ( $M_1$  与  $M_2$ ) 来反射, 对重合光束內产生的干涉圖案  $IP$ , 加以观察. 讓我們考虑干涉圖案中一个黑暗点. 在低光强度的情形下, 光子按較長的时间間隔逐个到达, 一个黑暗点只能發生在任何光子都沒有能去的地方. 因此每一光子个别地被阻止, 不能到达干涉最低的各点. 但是, 干涉最低点的位置, 却由放在两个相參光束末端的兩鏡的位置所灵敏地規

1) 这些波包的裂片, 虽只具有小于  $h\nu$  的能量, 一定得假定它們能从某些适合的光陰極产生光电子. 如果我們假定某一具有  $\frac{1}{2} h\nu$  能量的波包不能产生光电子, 我們就必須假定: 由一些具有能量  $h\nu$  的波包組成的光束, 在它分裂的时候——像这些波包分裂一样地分裂——就不能产生光电子. 但是光束分量的强度之和約等于原始强度; 这一明显事实指出: 即使光子“分裂”, 光子的一部  $ph\nu$ ,  $0 < p < 1$ , 仍有可能起着像完整光子一样的作用.

定。假設兩鏡之一移動一個波長的一部分,那末每一個最低點即成為最高點。所以,每個光子顯然都在兩鏡的影響之下;干涉圖案在低光強度下的存在,似乎說明每一光子畢竟還是分裂成兩半,這兩半後來重合,而發出具有干涉最高點與最低點的光束。這種結論好像與符合現象的實驗結論相衝突。根據該實驗,光子並不分裂。與上述相似的考慮使得 J. J. Thomson 提出前所引用的意見,直到現在引起很多討論。

§ 4, § 3 內所描述的概念性困難,在許多物理學家心中,留下一定程度的不安(例如 Jánossy<sup>[6]</sup>)。再者,在更嚴密的審查下,我們發現 Taylor 的實驗,甚至於 Dempster 與 Batho 的實驗,由實驗觀點而言,遠不如一般所想像地令人滿意<sup>[8]</sup>。因此,我們決定將問題重新提出,並且在低光強度下進行干涉實驗。我們的實驗更加切實,因為我們由直接計算射在干涉圖案各點上的光子率來觀察圖案。

## 二. 實驗安排

§ 5. 實驗安排中包括一個 Michelson 干涉儀;在以下描述的測量中,我們選擇了臂長 10 厘米的干涉儀。用這種比較小的儀器,較易保證實驗所要求的穩定性,因此,可以獲得較高的準確度。後來我們用大得很多的干涉儀進行測量;這些以後的實驗,我們將在另文中描述。

根據量子論,干涉圖案與強度無關,但該項理論並未給出可認為低或高強度之間的自然界限。由 § 2 的討論,我們能夠對這種界限下一定義;在光強度小到光的微粒性質占優勢時,概念性困難就發生了。光強度小到起伏現象成為重要時,就有這種情況。對於小強度有兩種可能的判據。如果我們假設一個原子在發射的基本行動中產生長度為  $\lambda$  的波帶,那末只要各波帶不重疊到任何可觀程度,強度  $N$  便可稱為微小,因此,而有

$$N \ll N_0 = \frac{c}{\lambda}. \quad (1)$$

強度  $N$  系由光子/秒計算,即系

$$N = \frac{I}{h\nu}, \quad (2)$$

其中,  $I$  為每秒能量的流動;  $h\nu$  為量子的能量。從輻射阻尼理論,也從實驗中觀察的同調長度<sup>[10]</sup>,可以假設

$$\lambda \sim 1 \text{ 米}, \quad N_0 = \frac{c}{\lambda} \sim 3 \times 10^8 \text{ 光子/秒}. \quad (3a)$$

當我們要求在低光強度的情況下,平均包含在儀器內的光子應少於一個時,對於低光強度的上限,可得到另一概念。若  $l$  為儀器內的路綫長度,我們也假定吸收為即時的;根據後一定義,我們就得著極限強度如

$$N_0 = \frac{c}{l}. \quad (3b)$$

如果用 10 厘米 Michelson 干涉儀,定義(1)與(3b)所給出的強度數值之差不會超過因數 10。

因此我們用低光強度  $n = 10^6$  光子/秒進行了測量,並將其結果與大強度(即  $N = 10^{10}$  光子/秒)的測量相比較。

§ 6. 圖 2(a)說明实验布置的細節。光源  $L$  包含一个水銀放电管。光通过一个光的衰减器 ( $LA$ )，用若干透鏡与光闌减低光强度。此項裝置的技术細節，已在別处<sup>[7]</sup>說明。减弱了的光通过一个單色器，如是水銀綠綫  $\lambda = 5461\text{\AA}$  即被选出。將光束对着干涉儀的进口光闌  $S_0$  聚焦<sup>1)</sup>。在  $LA$  与  $S_0$  之間用一个半透明鏡  $M_{ST}$  將光束的一部分分出，把它引导到电子倍增管  $P^*$  的陰極上，这个倍增管用来不断地核算进入干涉儀的光束的强度。

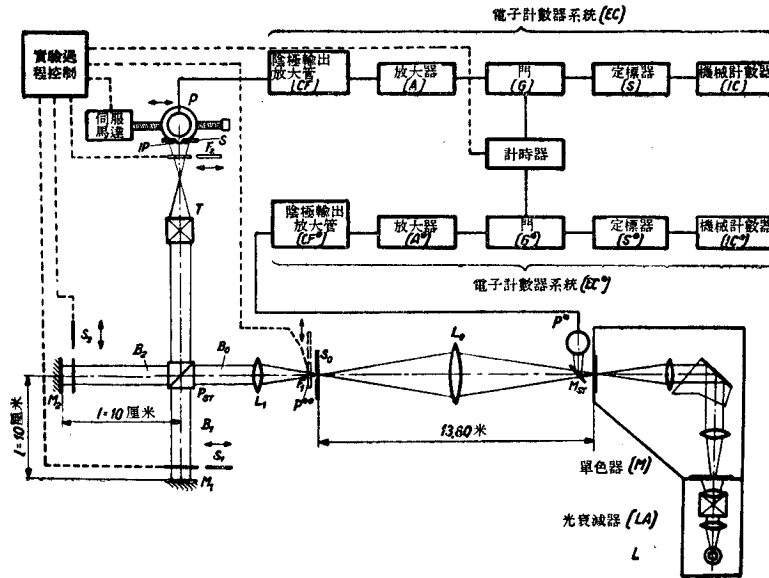


圖 2a. 实验布置圖

水銀放电管  $L$  的光，經過光衰减器  $LA$  与單色器  $M$ ，选出其波長为  $\lambda = 5461\text{\AA}$  的綠色水銀綫。光束的一部 ( $B_0$ )，离开單色器，通过透鏡  $L_0$  到达干涉儀；光束的另一部为鏡  $M_{ST}$  所反射，它的强度由接到倍增管  $P^*$  的电子計数器  $EC^*$  所連續測量。 $B_0$  的通道角度，可由透鏡  $L_1$  适当調配。分光器  $P_{ST}$  將  $B_0$  分作兩股相參光束  $B_1$  与  $B_2$ ；在分別由鏡  $M_1$  与  $M_2$  反射后，它們經過望遠鏡  $T$  投射在扫描倍增管  $P$  的幕上，兩光束在幕的进口光闌  $S$  的平面上，产生干涉圖案  $IP$ ，該圖案包含垂直于圖 2(a) 平面的条紋。倍增管  $P$  沿箭头方向步步移动，借助于与它相連的电子計数系統  $EC$ ，扫描了干涉圖案的强度分布。由分別放在鏡  $M_1$  与  $M_2$  前的光闌  $S_1$  与  $S_2$ ，背景計数的强度分布，可由倍增管  $P$  測量。在进行低强度的測量中，將濾光器  $F_1$  插入光束道上；在高强度中則將  $F_2$  插入。全部射入强度的絕對值則由倍增管  $P^{**}$  或热电偶測量。

在孔道  $S_0$  后面，放一个灰色濾光器  $F_1$ ；該濾光器把强度减弱到万分之一的数量級。光强度調节到这样的数值，使我們可以根据 § 5 所講的，把濾过光的强度認為是小强度，而沒有通过濾光器的强度为大强度。因此本实验的目的就是將濾光器  $F_1$  遮盖著孔道  $S_0$  时所得的干涉圖案，与未遮盖的單縫所得的圖案相比較。在除去濾光器  $F_1$  时，可將倍增管  $P^{**}$  放在  $F_1$  的原位置；借助于該倍增管，可以直接測量通过孔道的全部强度。

离开  $S_0$  的光束，用透鏡  $L_1$  使它几乎平行，然后用稜鏡  $P_{ST}$  將它分作兩項相參的分

1) 在以后的实验中，我們企圖在短暫的閃光情形下，研究干涉現象。为了恰当地安裝产生閃光的旋轉鏡，我們选用的  $S_0$  与單色器的輸出光闌之間的距离是 13.8 米。



圖 2b. 干涉儀的照片

在此圖內,可以看見圖 2(a) 內表出的細節,例如作為指示倍增管  $P$  的位置  $\alpha$  的伺服系統鏡  $M_1$  與  $M_2$  的水平 ( $T_H$ ) 與垂直 ( $T_V$ ) 遙控,潛望鏡及其他。鏡  $M_3$  將重合光束對望遠鏡  $T$  投射,望遠鏡立在平行於入射光束的位置。所用符號與圖 2(a) 內相同。

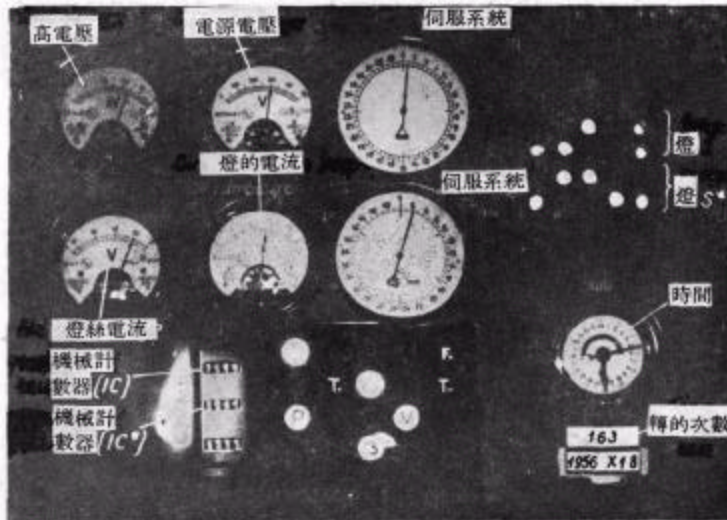


圖 4. 記錄控電板的照片,由自動系統所攝制

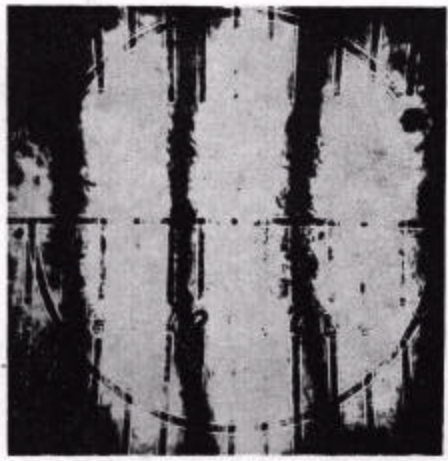


圖 6a. 在  $84/a$  次所得的干涉圖案  $IP$

該照片系在移開濾光器  $F_1$  與  $F_2$  後攝制, 曝光時間一分鐘, 經過放在倍增管  $P$  下的潛望鏡。



圖 7a.  $104/b$  次的干涉圖案

該照片系在與圖 6(a) 相同情況下攝制, 曝光時間此處約為三分鐘。



圖 8a.  $109/b$  次的干涉圖案

該照片系在與圖 6(a) 相同的情況下攝制, 此處曝光時間約為十分鐘。

量。這兩部分光束分別由鏡  $M_1$  與  $M_2$  反射。聯合光束通過望遠鏡  $T$ ，被投射在一屏幕上，幕上有一窄狹垂直單縫  $S$ 。得有干涉圖案的幕系放在倍增管前並對着陰極。調節干涉儀，使得條紋與單縫  $S$  平行。倍增管與單縫固定不移地連結在一處。整個系統可由一伺服電動機沿着垂直於單縫的方向移動。通過這樣布置，可逐步測量干涉圖案內的強度分布。圖 2(b) 就是此項光學安排一部分的照片。

圖 3 表明掃描系統的綱要。像直徑為  $D=6$  毫米；不過我們只用像的一個正方形部分，邊長  $\frac{D}{\sqrt{2}}$ 。單縫  $S$  可由  $-A$  處從左向右移動到  $+A$  處。單縫中心到像中心的距離由  $x$  表示，這樣，由倍增管記錄的我們所量得的光子數目  $n(x)$ ，就是位移  $x$  的函數。單縫的寬度是可以調節的。大部分測量都是以  $\delta=0.2$  毫米進行的。

§ 7. 為了比較在高與低強度下的干涉圖案，將在不同數值的位移  $x$  處所得入射光子的數目，加以計數而定出圖案；濾光器  $F_1$  放在  $S_0$  後時，得到低光強度。移開濾光器  $F_1$ ，即得到高光強度。

從純粹技術觀點可以看到：如果倍增管輪換地暴露於高與低的光強度下，它就不會可靠地工作；所以，為了使倍增管的陰極在記錄高光強度時不致過載，在觀察高光強度的期間內，我們將濾光器  $F_2$  放在倍增管單縫的正前方。濾光器  $F_2$  所能減弱的光強度與  $F_1$  所減弱的強度差不多相同。因此，在測量任一強度時，約略相同的光

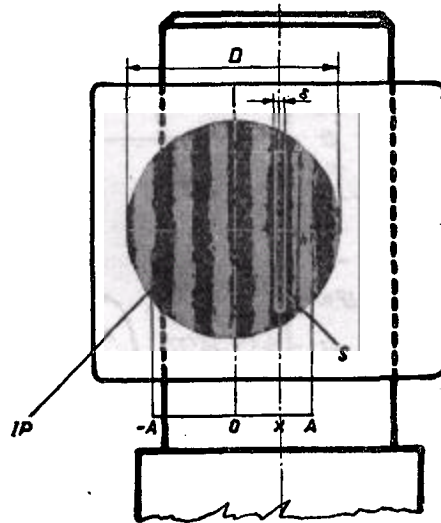


圖 3. 干涉圖案 IP

$D$  表示圖案的直徑。圖內所表出的光闌  $S$ ，長度為  $h$ ，寬度為  $\delta$ 。干涉圖案掃描的地域是  $|x| \leq A$ 。

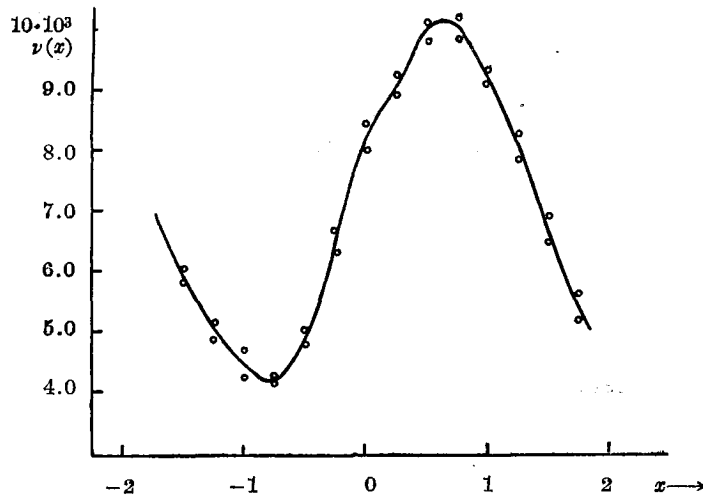


圖 5. 測量可復演性的校核

已有干涉圖案的強度分布內，每一測量均立即重復。同此，對每一  $x$  值，有兩個測量點與它相應；可以看出這兩個測量點在統計誤差限度內符合。

强度落在陰極上,因为光或在干涉产生以前由  $F_1$  减弱,或在干涉出現以后由  $F_2$  减弱。不过,从物理方面看,如果插入  $F_1$ ,则沿着干涉仪兩臂上的光强度便小了,因此,我們观察着弱光束的干涉;而有  $F_2$  时,干涉發生于强光束之間,只是在最后的圖样中光强度才有所减弱。

濾光器  $F_1$  与  $F_2$  各自插入时所得的圖案,根据理論推測应很相似。在圖 6 內,我們

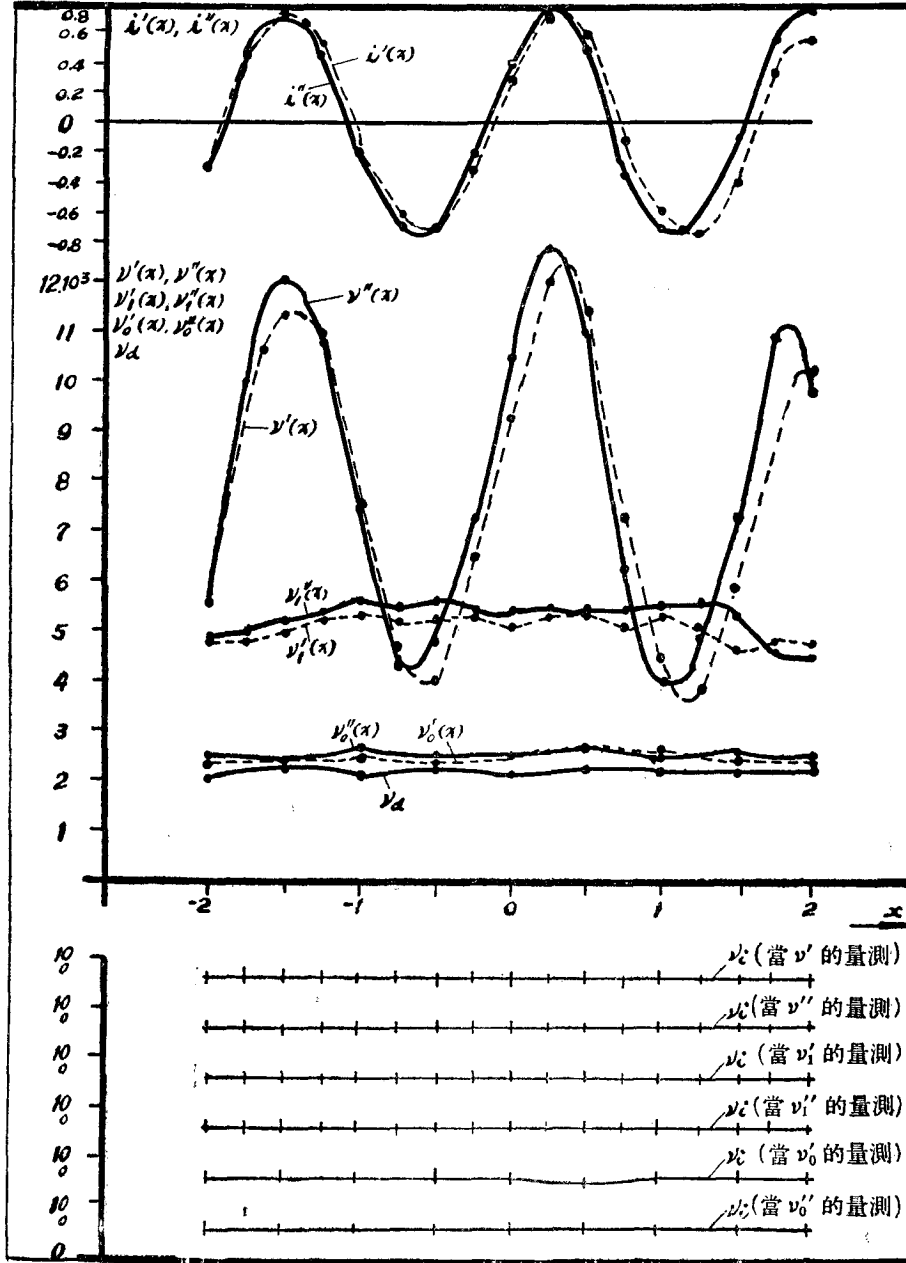


圖 6.  $84/a$  次所得的結果  
 强度值为  $n=2 \times 10^6$ /秒,  $N=2.2 \times 10^{10}$ /秒.

复制了这样一系列测量的結果。在那里横坐标代表以毫米为單位的位移, 縱坐标給出每秒钟脉冲的次数。实綫曲綫系用大強度所得, 虛綫系用干涉仪內的低強度所得。至少在定性方面, 这些曲綫証明确实与理論推測相符, 我們得着足够相似的低光強度与高光強度的圖案。

§ 8. 为了容許定量的比較, 采取了一些进一步的步驟。第一、为了比較強度分布, 必須从个别計数中减去零效应。零效应之产生, 一部分由于倍增管的無照电流而来, 另一部分則由于散射光的作用。为了直接测量零效应, 两个光閘  $S_1$  与  $S_2$  被放在鏡子  $M_1$  与  $M_2$  之前; 光閘关闭时, 倍增管就只計零效应了。

要在低光強度与高光強度所得的強度分布之間作比較, 也有困难; 因为, 由于光学安置的小量缺陷, 干涉圖案較之純粹正弦形, 多少有些偏差; 特別是最小值的位置, 不能毫無疑义地規定。也許可以采取最小值点与最大值点的強度之比, 作为圖案的天然特性。但是, 最小強度的測定含有比較大的实验上的不准确性, 这种不准确性使得上述強度比率的測定数值也就不能肯定了。

为了获得圖案間較正确的比較, 我們采用了下述程序。兩光閘  $S_1$  与  $S_2$  均开时, 我們將某一距离  $x$  的光子計数; 然后打开光閘  $S_1$  但关闭  $S_2$ , 再去測定光子数目。关闭一个光閘, 也就是消灭了干涉圖案, 这时所量的可称为平均強度。使  $\nu(x)$  代表單縫在  $x$  处的光子数; 以  $\nu_1(x)$ ,  $\nu_2(x)$  分別代表光閘  $S_1$ , 光閘  $S_2$  关闭时的光子数; 最后以  $\nu_0(x)$  代表关闭兩光閘而获得的背景強度。

除去背景計数, 假使兩光束間不發生干涉, 在  $x$  处的強度就会是

$$\nu_1(x) + \nu_2(x);$$

因此,

$$\nu(x) - [\nu_1(x) + \nu_2(x)]$$

是干涉所促成的強度改变。在实际布置中, 我們有良好的近似值

$$\nu_1(x) = \nu_2(x),$$

所以我們只限于  $\nu_1(x)$  的測量。若从記錄強度中减去背景強度, 干涉效应就如下所示:

$$\delta\nu(x) = [\nu(x) - \nu_0(x)] - 2[\nu_1(x) - \nu_0(x)] = \nu(x) - 2\nu_1(x) + \nu_0(x);$$

其中假定大部分背景系由倍增管的零效应所促成, 杂散光綫并不沿干涉仪兩臂通过。

关于干涉效应的一項特性数量是所謂的相对強度分布 ( $i(x)$ ), 就是平均強度

$$\bar{\nu}(x) = 2[\nu_1(x) - \nu_0(x)] \quad (4a)$$

除  $\delta\nu(x)$ , 因此得

$$i(x) = \frac{\delta\nu(x)}{\bar{\nu}(x)} = \frac{\nu(x) - 2\nu_1(x) + \nu_0(x)}{2[\nu_1(x) - \nu_0(x)]}. \quad (4)$$

进一步用撇 (') 表示由大強度所得的測量結果, 也就是不用濾光器  $F_1$  而用濾光器  $F_2$  所得的結果; 再用兩撇 (") 表示低強度所得的結果, 也就是用  $F_1$  而不用  $F_2$  所得的結果。采用这种符号法, 在我們的实验中, 我們为  $x$  的每一数值順序測定数率

$$\nu'(x), \nu''(x); \nu_1'(x), \nu_1''(x); \nu_0'(x), \nu_0''(x);$$

然后建立下項数量:

$$i'(x) = \frac{\nu'(x) - 2\nu_1'(x) + \nu_0'(x)}{2[\nu_1'(x) - \nu_0'(x)]}, \quad i''(x) = \frac{\nu''(x) - 2\nu_1''(x) + \nu_0''(x)}{2[\nu_1''(x) - \nu_0''(x)]}.$$

理論上的期待应是

$$i'(x) = i''(x).$$

圖 7 內我們已將这样一系列的測量標繪出來。  $i'(x)$  由實曲綫表示，  $i''(x)$  則由虛曲綫表示。 看得出兩曲綫之間的符合情形頗好。

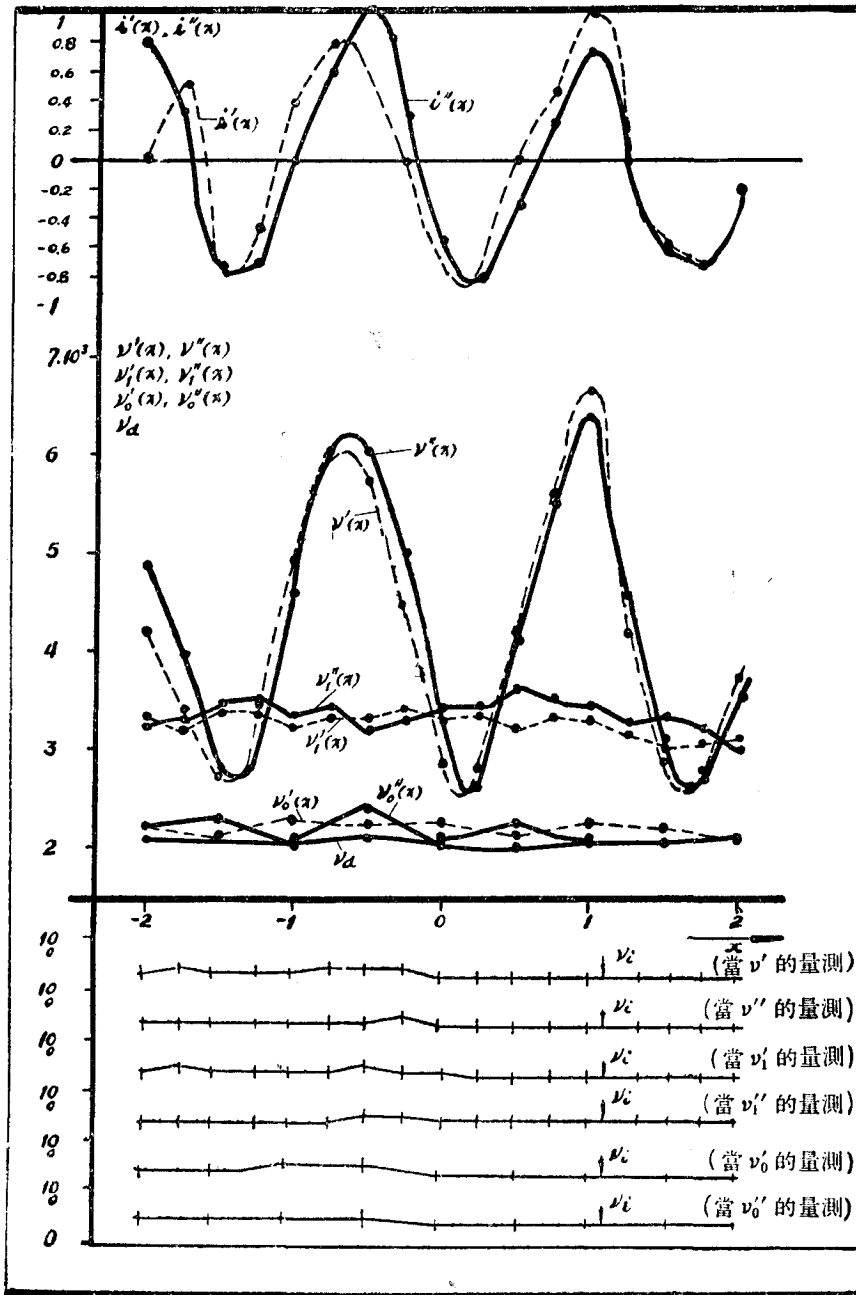


圖 7.  $104/a$  次的結果  
 強度值为  $n=5.8 \times 10^5$ /秒,  $N=6.3 \times 10^9$ /秒.

### 三. 測量技術詳情

§9. 光学布置应有高度稳定性, 这样才能记录干涉图案内的强度分布. 一系列的測量約需一小时, 因此, 这种布置的稳定性应达到光强度在該段时期内基本上恒定的程度. 同时也必須避免光学系統發生任何形变, 否則就会导致干涉条紋的移动或形变.

为了避免約为一級的 0.1 条紋移动, 温度应保持足够地稳定. 除了保証温度恒定外, 应注意避免机械应力; 机械应力会产生慢性形变, 因而有图案蠕变. 如將这项布置安放在离地面 30 米的地下岩石隧道内, 必要的温度与机械稳定性便有保証. 隧道固然已經証明可供足够的温度与机械稳定性, 而观察者的操作不致扰动仪器这一点也是必要的. 所以必須置备一个远程控制的自动系統, 使得濾光器的各种改換、光閘的开閉、以及倍增管的移动都自动进行. 加进了自动控制以后, 更發現仪器应擱置兩三天不受扰动, 直到温度与机械平衡来临, 才容許数值測量.

借助于此种自动裝置, §8 内已下定义的光子数  $\nu(x)$ ,  $\nu_0(x)$ ,  $\nu_1(x)$  在  $x$  的已定数值处每項被记录十秒鐘; 此后用一个伺服电动机, 將倍增管移动一預定数量, 在新位置上重新记录对应的强度. 由伺服系統正确地測定倍增管的位置; 倍增管与濾光器的位置, 以及光閘的情形, 在远程控制板上都有记录. 指示器連同机械計算器, 以及插在放大器 ( $A$ ) 与机械計数器 ( $IC$ ) 之間的定标器 ( $S$ ) 的指示灯, 都裝在控电板上, 并在每次計数時間后攝影 (圖 4). 安裝完全自动化, 每段照像時間为 12 小时, 记录了几套完整的数字; 照像记录后来再予以評价. 測量自动化是有利的, 不仅为了方便, 而且也有助于消除观察者帶來的任何偏見. 此外, 记录一全套数字所需的時間減縮到不可再少, 这样, 又減低干涉图案移动的危險.

已經在 §6 内提到, 倍增管  $P^{**}$  通过类似于  $EC$  的电計数器  $EC^*$  始終记录着整个射入强度. 这样记录下来的强度, 总的說来, 是稳定的. 一些强度对正常数值表現偏差的稀有情况即完全弃置不用.

为了能够核对于干涉图案是否保持原位置, 由远程控制, 可將记录倍增管从其位置移开, 放进一个潜望鏡. 通过潜望鏡, 图案可以用視觉观察或照像; 在圖 6(a) 内, 我們給出这种像片的一个样品. 必須保持条紋平行于倍增管的單縫; 如果从潜望鏡观察到条紋有点傾斜, 可由远程控制將干涉仪兩鏡調整, 使条紋系統恢复正常. 必須时时进行这种重新調整, 因为几小时内發生的形变, 虽有种种預防, 还是不能避免.

倍增管  $P$ ,  $P^*$  与  $P^{**}$  由高度稳定性的供应單元饋电<sup>[10]</sup>. 为了控制該安裝的稳定性, 对每一  $x$  值, 將  $\nu(x)$  数量自动地測量. 圖 5 内的曲綫, 表明这样控制測量的部分結果. 如此得着的  $\nu(x)$  兩对应数值之間的差异是在統計誤差范围之内的.

记录控电板在圖 4 内表明.

§10. 因为记录的光强度很小, 应采取特殊的事先措施去減低背景計数率. 用 RCA 1P21 电子倍增管记录光度; 放大器做成这样, 使它能记录輸入陰極發射的光电子所促成的个别雪球式电子崩解. Náray 与 Tóth<sup>[14]</sup> 測得光敏陰極的效率为

$$\eta = 0.02.$$

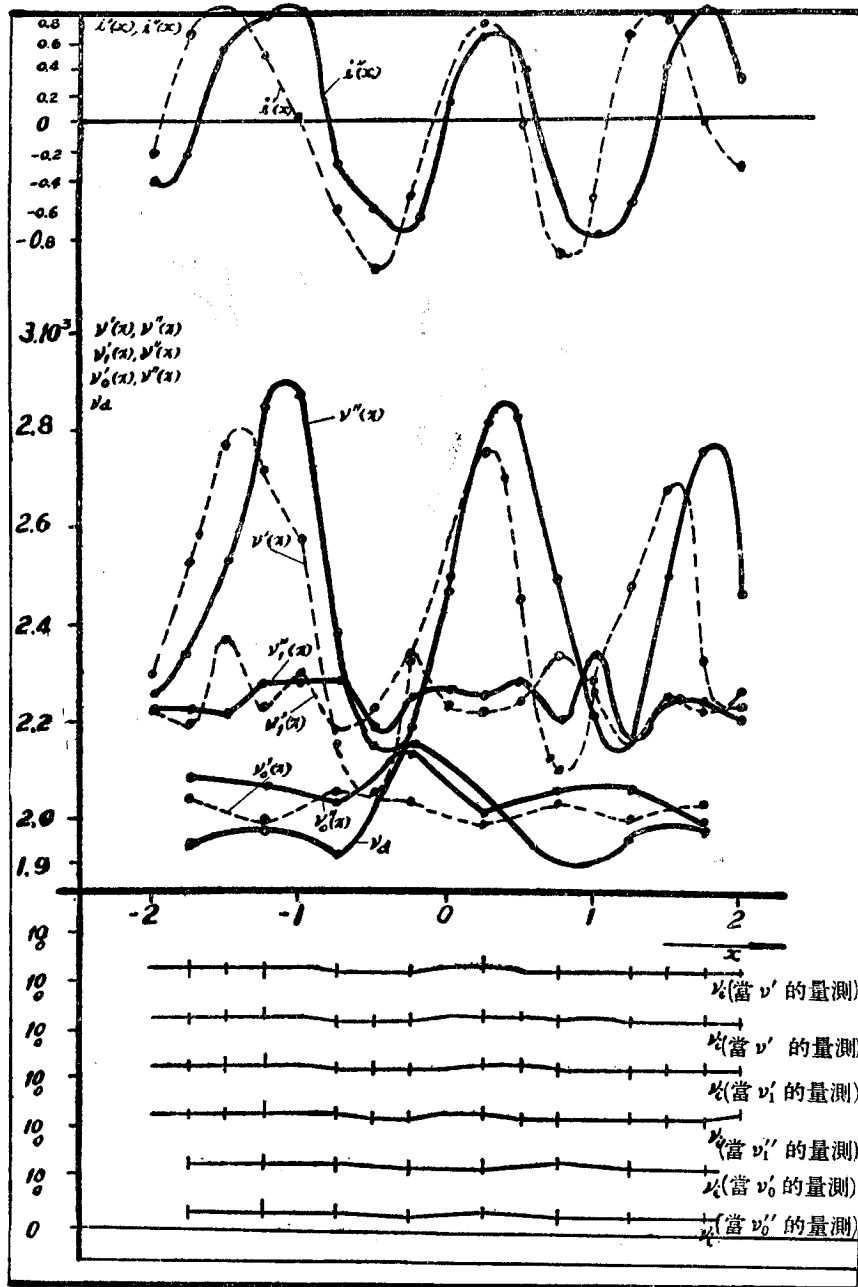


圖 8.  $109/b$  次的結果

强度值为  $n=1.3 \times 10^5$ /秒,  $N=1.4 \times 10^9$ /秒.

效率由下述方法测量。用已校准的热电偶<sup>1)</sup>测量一个适合光束的全部能量。这个光束内的光子率可假定为

$$n = \frac{W}{h\nu},$$

<sup>1)</sup> 德意志質量重量局进行了絕對校准工作,我們謹此致謝。

其中  $W$  系由热电偶測定的能量流;  $h\nu$  为一个光子的能量. 可以由热电偶滿意地測出的最小能量包含的光子还是太多, 不易計数. 光束的能量可直接測定. 因此, 將光束通过一个灰色濾光器, 其衰減因數則由較高光強度区域的測量而測定. 受到衰減的光束因此只包含

$$n' = K \frac{W}{h\nu} \text{光子/秒},$$

其中  $K = 10^{-4}$ , 为濾光器的衰減因數. 以  $\nu$  表明衰減光束落在倍增管陰極时所产生的信号率, 我們得着

$$\eta = \frac{\nu}{n'},$$

其中  $\eta$  为一光子产生一信号的几率, 上述方法得出  $\eta = \frac{1}{50}$  的数值.

§ 11. 以下要考虑到, 在我們的实验內, 我們必須处理的强度数量級. 作为例示, 我們將采用一套真实作業中所获得的記錄(作業 № 84/a, 參看表 2). 落在安裝系統輸入端的光强度为

$$N = 2 \times 10^2 \text{ 光子/秒}.$$

如 § 7 內解釋, 光束必須在剛剛进入安裝之后, 或剛剛在落于倍增管的陰極以前, 通过一濾光器. 兩处濾光器都以因數  $10^4$  減弱强度, 因此, 兩種情形中的有效强度, 都有这样的数量

$$n = 2 \times 10^8 \text{ 光子/秒}.$$

記錄的信号数目却远低于此, 信号数目受下列各項的影响:

- (1) 只有光子的一小部  $\eta = \frac{1}{50}$ , 为倍增管所記錄;
  - (2) 倍增管的單縫  $S$  只占全部干涉圖案的  $\frac{1}{30}$  左右(參看圖 3);
  - (3) 由于其構造, Michelson 干涉仪只將光的 50% 投射到目标, 其余回到輸入端;
  - (4) 由于鏡面的不完整以及玻璃面的反射, 約有 50% 的光損耗.
- 总括(1)到(4), 觀察到的信号率可期待为

$$\bar{\nu} = \frac{n}{50 \cdot 30 \cdot 2 \cdot 2} \approx 330/\text{秒}.$$

根据(4a)計算出的平均强度的真实值为

$$\bar{\nu} = 300/\text{秒},$$

与估計数值有良好的符合. [我們注意到, 如果平均值由圖 6 內  $\nu_1(x)$  数值計算, 就会得出一太高量; 因为圖 6 并未給出全部曲綫, 也就是, 实际圖案兩端,  $\nu_1(x)$  降到零的地方沒有画上.]

§ 12. 为了能够記錄数量級为每秒几百次的速率, 必須大量減低記錄倍增管內暗电流的脉冲率. 不采取預防措施, 在室溫下, RCA 1P21 的暗电流脉冲率有  $10^5$ /秒的数量級. 这样一个背景率將會完全阻碍 § 11 所討論的强度觀察. 冷却倍增管陰極时, 可大量減弱暗电流. 但是, 冷却会減低倍增管的效率<sup>[11]</sup>, 而且, 冷却布置所能促成的热扰动会大量攪乱全部安裝, 会阻碍我們获得一个稳定的干涉圖案.

因为这些理由, 我們采用室温下的电子倍增管. 用[12], [19], [15]已詳細描述的方法来减弱暗电流. 第一个方法的要点是用电与磁的散焦使陰極的較大部分失效, 而不影响單縫所复盖的陰極部分. 这样, 陰極有用部分的效率并未减弱, 而陰極的未用部分却失效, 从而不能提供暗电流. 用第二个方法, 在倍增管外壳上引入一个适当电位, 便可减低暗电流. 用此方法也可大量增加倍增管的稳定性<sup>[13]</sup>. 减弱了的暗电流数量仅为每秒 200 脉冲左右, 因此不会严重地妨碍实际干涉圖案的記錄.

#### 四. 測量結果

§ 13. 下面几組測量:  $A, B, C$  是用臂長为 10 厘米的干涉仪在三种强度范围内进行的, 每組含有在表 1 內末行所列出的实验次数. 第二与第三行包含用在相应組內的小强度与大强度.

表 1

組 別	輸入强度 (光子/秒)		每 組 实 驗 次 数
	小 强 度	大 强 度	
$A$	$(1.6-2.2) \times 10^8$	$(1.75-2.4) \times 10^{10}$	15
$B$	$5.8 \times 10^8$	$6.4 \times 10^9$	2
$C$	$(1.0-1.2) \times 10^8$	$(1.1-1.3) \times 10^9$	2

进行评价, 也就是对干涉現象的强度独立性进行測定时, 只采用了  $A$  組記錄.  $B$  組与  $C$  組的强度較之  $A$  組强度分別小因数 2 与因数 10; 这样低的强度, 由于統計不精及稳定方面的困难, 測量的誤差大量增加. 所以,  $B$  与  $C$  兩組記錄只供参考.

如此得来的 19 次实验, 都沒有指出大强度与小强度所得的圖案之間有任何差异. 圖案的比較是用 § 8 描述的方法所得的簡化曲綫来进行的.

§ 14. 为了測定干涉圖案是否依赖于光强度, 如上文所述, 我們比較了在小与大的全部强度中相对光强度的分布. 因为曲綫  $i'(x)$  与  $i''(x)$  有一点相互的移动, 不能將它們作点与点的对比; 因此, 我們运用下列两个方法:

(a) 我們計算相对强度分布的自关积分:

$$\xi' = \int_{-A_1}^{A_1} i'^2(x) dx, \quad \xi'' = \int_{-A_1}^{A_1} i''^2(x) dx; \quad (12a \text{ 与 } b)$$

对每組測量再測定  $\xi''$  与  $\xi'$  間差异的大小.

(b) 我們計算  $i'(x)$  与  $i''(x)$  对不同参数值  $\alpha$  的互关积分:

$$F(\alpha) = \int_{-A_1}^{A_1} i''(x) \cdot i'(x-\alpha) dx. \quad (13)$$

由  $F(\alpha_0) = F(\alpha)_{\max}$  所測定的值  $\alpha_0$  用来形成下列公式:

$$\delta = 1 - \frac{F(\alpha_0)}{\xi''}. \quad (14)$$

由公式(14)可以立刻知道  $i'(x)$  与  $i''(x)$  是否相互符合, 或它們是否只以一常数相互間移

動, 因為在這些情形下  $\delta$  成為零。  $\alpha_0$  代表移動的範圍。 用這種方法, 我們可以判定這兩個相對強度干涉曲綫間是否存在着系統的移動。

評價中, 在兩個方法內都只採用實際測量出來的各點。 可從表 2 內第二行看出, 組成一組測量的各次實驗差不多全部都用來評價, 只除去一些記錄受了重大損傷的實驗(例如記錄結果的膠捲在顯影時受了損傷)。

根據方法(a)將測量出的結果加以評價, 就得出表 2 內所列的數值。

表 2

組 別	實 驗 次 別	$\xi'$	$\xi''$	$\frac{\xi'' - \xi'}{\xi''}$
A	83/a	0.8081	0.7768	-0.04029
	84/a	0.9066	0.8898	-0.01889
	84/b	0.9376	1.0011	0.06338
	85/a	0.8720	0.9028	0.03412
	85/b	0.7564	0.7194	-0.05143
	86/a	0.7997	0.8038	0.005039
	87/a	0.7544	0.8876	0.1501
	87/b	0.8717	0.9382	0.07088
	88/a	0.7547	0.7239	-0.04255
	89/a	0.8215	0.7866	-0.04437
	89/b	0.8458	0.9073	0.06778
	90/a	0.8506	0.9804	0.1323
	100/a	0.6411	0.7845	0.1828
	101/a	0.7525	1.0274	0.2676
101/b	1.0268	0.8792	-0.1679	
B	104/a	1.1107	1.4253	0.2207
	104/b	1.2746	1.3375	0.04705
C	109/a	2.3193	1.7377	-0.3341
	109/b	1.1660	1.4693	0.2035

在實驗次別項內,  $a$  與  $b$  兩符號代表干涉圖案的掃描, 分別為由右到左與由左到右。

計算 A 組內  $\xi'$ ,  $\xi''$  與  $\frac{\xi'' - \xi'}{\xi''}$  的平均值與誤差, 我們得表 3。

表 3

組 別	$\bar{\xi}'$	$\bar{\xi}''$	$\frac{\bar{\xi}'' - \bar{\xi}'}{\bar{\xi}''}$
A	$0.8841 \pm 0.043$	$0.9291 \pm 0.0485$	$0.04057 \pm 0.02858$

正如表 3 內最后一行所示, 在高與低強度下, 相對強度分布的自關積分之間, 並無值得重視的差異。

也按照方法(b)進行了評價。 這樣得出的結果在表 4 內列出。

表 4

組 別	实 驗 次 別	$\theta$	$\alpha_0$
A	83/a	0.0131	-0.15
	84/a	0.0012	-0.25
	84/b	0.1032	0.35
	85/a	0.0401	0.2
	85/b	-0.0501	-0.5
	86/a	0.0618	0.3
	87/a	0.0988	0.05
	87/b	0.0645	0.3
	88/a	-0.0359	-0.3
	89/a	0.0028	-0.3
	89/b	0.0633	0.35
	90/a	0.1654	0.4
	100/a	0.1404	0.25
	101/a	0.1674	0.4
101/b	-0.0236	0.2	
B	104/a	0.1945	-0.1
	104/b	0.1402	0.4
C	109/a	0.5205	0.7
	109/b	0.3170	1.1

表 5 表明  $\theta$  与  $\alpha_0$  的平均值与誤差.

表 5

組 別	$\bar{\theta}$	$\bar{\alpha}_0$
A	$0.05379 \pm 0.0185$	$0.08667 \pm 0.0784$

由第二种方法所得的数值,也导致这样的結果:在高与低的輸入强度下,不論在相对强度的分布上,或在相对强度的移动上,都沒有系統的差异.

要是在低强度时干涉現象不出現,則引言內所提及的矛盾就会消除了.不过如上述我們的研究所証明,在低强度时也得到干涉圖案,較之高强度时所得的相应的圖案,其改变程度不超出 5—10% 的範圍.但是这项差异应屬於測量誤差,而無理論意义.

## 五. 結 語

干涉現象是否与光强度無关这一問題,已由几位著者加以研究,但是他們的結果仍無說服力.所以在我們的研究內,我們采用了一种客觀的測量的方法.

我們的測量結果可总结如下:

用 10 厘米臂長的 Michelson 干涉仪,高与低强度下所产生的干涉圖案之間,在 5—10% 的誤差限度內找不着差別.因此,似乎可以証明干涉現象对强度的独立性.

## 参 考 文 献

- [1] Adám, A., Jánossy, L. and Varga, P., *Acta Phys. Hung.* **4** (1955), 301, *Ann. d. Phys.*
- [2] Born, M., *Optik*, Springer Verlag, Berlin, 1933, p. 465.
- [3] Brannen, G. and Ferguson, H. S., *Nature*, **H. 4531** (1956), 481.
- [4] Dempster, A. J. and Batho, H. F., *Phys. Rev.* **30** (1927), 644.
- [5] Dirac, P. A. M., *Principles of Quantum Mechanics*, Oxford, 1955, p. 7.
- [6] Jánossy, L., *Acta Phys. Hung.* **1** (1952), 423.
- [7] Jánossy, L. and Náráy, Zs., *Acta Phys. Hung.* **5** (1955), 133.
- [8] Jánossy, L. and Náráy, Zs., 匈牙利文, 即將發表.
- [9] Jordan, P., *Anschauliche Quantentheorie*, Springer Verlag, Berlin, 1936, p. 14.
- [10] Lummer, O. and Gehrke, E., *Verh. deutsch. Phys. Ges.* **4** (1902), 337.
- [11] Náráy, Zs., 將在 *Ann. d. Physik* 中刊出.
- [12] Náráy, Zs., *Acta Phys. Hung.* **5** (1955), 159.
- [13] Náráy, Zs., *J. Sci. Instr.* **33** (1956), 476.
- [14] Náráy, Zs. and Toth, M., 物理學報 **13** (1957).
- [15] Náráy, Zs. and Varga, P., 將在 *J. Sci. Instr.* 中刊出.
- [16] Náráy, Zs. and Zsdánszky, K., *Zsurnal Pribore i. Tedhnike Experimente.*
- [17] Taylor, G. I., *Proc. Camb. Phil. Soc.* **15** (1909), 114.
- [18] Schrödinger, E., *Rencontres Internationales de Genève*, 1952.
- [19] Náráy, Zs., *Acta Phys. Hung.* **4** (1955), 255.

## THE INTERFERENCE PHENOMENA OF LIGHT AT VERY LOW INTENSITY

L. JÁNÓSSY      Zs. NÁRAY

(Central Research Institute of Physics, Budapest)

### ABSTRACT

An interference pattern is obtained with a Michelson interferometer; the intensity distribution in the pattern is determined by counting the rate of photons by means of a photomultiplier. It is shown that the pattern obtained for very low intensities of light does not differ outside the margin of experimental error from the pattern obtained for normal intensities. At low intensities about  $10^6$  photons enter the interferometer per second thus for these low intensities in average at any time much less than one photon is contained inside the interferometer.