

臺灣二〇〇三年國際科學展覽會

科 別：物理科

作品名稱：奇妙的三維世界

得獎獎項：物理科佳作

學 校：臺北市立永吉國民中學

作 者：李家君

作者簡介



我是一個幸運的女孩子，也很喜歡漂亮的東西。一年多前，書籤上的全像片，迷住了我。於是，我便朝全像術著手研究。

由於受到環境的限制，這樣破天荒的想法，並沒有得到認同。但是，我仍執著的到各大學圖書館搜查資料。也在網路上，遇到了張冀青教授，並且得到了很多協助。

我一直覺得自己是一個意志堅定的人，能完成此專題，對於我是個很大的肯定。希望未來，還能朝這方面努力，也感謝每一位支持我的老師、同學，在研究的過程中，給予我的鼓勵。

中文摘要

本實作以光學全像術為基礎，拍攝出三維立體的影像。內容主要為分別製作「穿透式」全像片、「反射式」全像片及「彩虹」全像片等三部份。其中，在反射式全像片中，嘗試以不同數量的光束來拍攝。發現以單光束法拍攝出的全像片比較容易成功，但重建影像的視角與效果都不如雙光束拍攝法來的好。在拍攝彩虹全像片的過程中我們令狹縫為變因，做有加狹縫與未加狹縫的實驗，實驗發現效果不同。並以改變狹縫的角度、方位，來觀察底片的變化。最後，觀察出豐富多樣的彩虹變化型態。

全像片可重建拍攝的物光與參考光，並顯現拍攝物的三維狀態。可應用於信用卡、紙鈔防偽，廠商標籤，附加商品（如鑰匙圈、貼紙），廣告看板等，用途廣泛。

英文摘要

The purpose of this project is to construct the 3-dimensional images utilized optical holography. The holograms we made can be categorized into three main types: transmission, reflection and rainbow. In reflection hologram, we have tried to construct the hologram by the use of different number of light beams. It could be found that the reconstructed image of the hologram formed by a single beam is better than those of the hologram formed by two beams. However, the field of view and image quality of the two-beam hologram was better than those of single-beam hologram. In rainbow hologram, we varied the orientation and position of slit to investigate the quality of the reconstructed images. The reconstructed images displayed rainbow image diversity.

In application, the holograms can display three-dimensional images by reconstructing the hologram. In addition, the holograms are in widespread applied in security applications of credit card、banknotes、labels、stickers etc.

壹、前言

一、研究動機

在二年級的理化課本中，約略有介紹雷射光。於是我便在網路上瀏覽了一些雷

射的相關資料，無意間發現了張冀青教授一篇有關全像術的論文。當時覺得非常有趣，便寄了一封郵件給教授，詢問我對於論文中不瞭解的地方。幾番郵件往來後，張教授居然願意提供實驗室讓我做進一步的研究。研究的過程中遇到了很多困難，但很幸運的有教授的指導與實驗上的協助，許多問題都一一解決了並完成此專題。

二、研究目的

1. 了解全像術之基本原理與拍攝出簡易的全像片。
2. 試用單光束法與雙光束法來拍攝全像片，並各找出穿透式和反射式全像片中，效果最好的一種組合。
3. 拍攝出可在一般光源(例如:太陽光、日光燈)下看的彩虹全像片。
4. 實驗拍攝彩虹全像片狹縫旋轉角度與彩虹變化之關係。


貳、研究方法或過程

一、研究設備及器材:

光學桌、氦氖雷射、凸透鏡x2、反射鏡x4、空間濾波器x2、感光底片、顯影劑、定影劑、烘乾機、電子快門、分光鏡、光圈、狹縫

二、全像片的三大過程:

1.紀錄(干涉):

(1) 相長干涉 

(2) 相消干涉 

(3) 利用底片紀錄物光與參考光相干涉後產生干涉條紋，亮區為相長干涉後的結果，暗區則為相消干涉。

2.化學處理:

曝光後底片需在暗房經顯影、定影、清洗、烘乾等程序。

3.重現(繞射):

利用參考光照射經化學處理後之全像片，產生不屬於反射或折射而導致的波折現象。

三、基本原理:

1.感光底片經參考光與物光在同側或異側干涉後即產生干涉條紋，並記錄於感光底片上。底片經化學處理，可重建物體影像。若參考光與物光在同側，此全像片為穿透式。若在異側，則為反射式全像片。

2.重建方法將物光以擋板擋住，以原參考光照射處理後之底片，可繞射出原物體照射光(物光)，重建一立體影像。

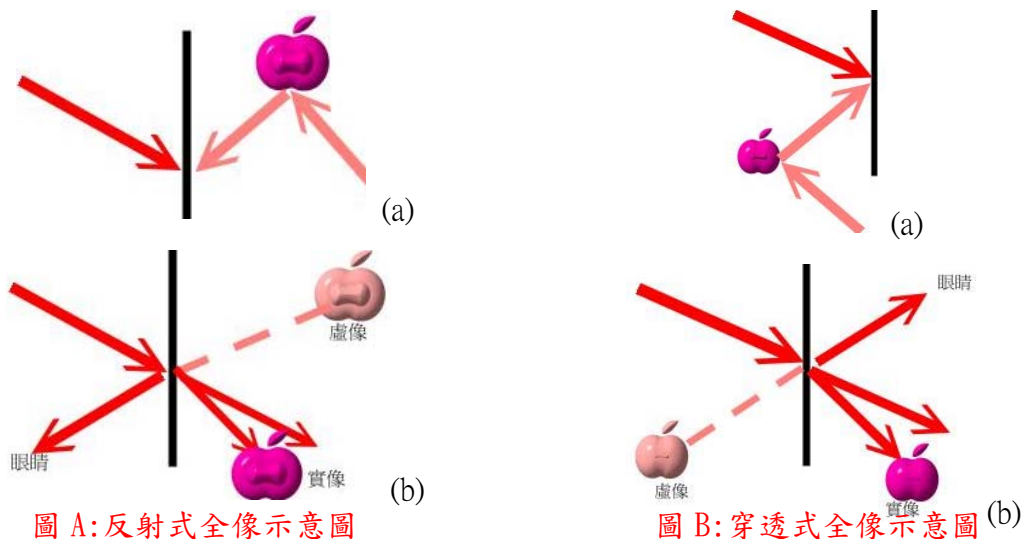
3.圖片說明

(1) 以兩道同調光做為物光與參考光互相干涉，將干涉條紋記錄於感光底片上【如圖 A-(a)和圖 B-(a)】。

(2) 底片曝光後，經顯影、定影，以原參考光重建【如圖 A-(b)和圖 B-(b)】。參考光經繞射後，可透過全像片看到物體的虛像。

(3) 參考光不動，將底片旋轉 180 度後，即可在原物體拍攝位置找到實像。

(4) 傳統全像片重建缺點是需以雷射光重建，較不實用。於是有人提出了「彩虹全像術」。將母片的實像經過狹縫控制角度後，拍攝出的全像片，即能以白光重建。【方法 4 和研究結果(七)~(十)有完整的敘述】



四、方法

1.單光束反射式全像片

- (1) 畫好路徑圖，如圖 1-(a)，光路實景照片如圖 1-(b)。
- (2) 雷射光經空間濾波器擴束。
- (3) 曝光 1 秒鐘。
- (4) 穿過底片後由物體反射回的即為物光。
- (5) 參考光已記錄於底片上。
- (6) 底片處理後,用雷射光或白光重建,雷射光清楚；白光模糊，如成果(一)。
- (7) 將底片轉 180 度後，可看到實像。

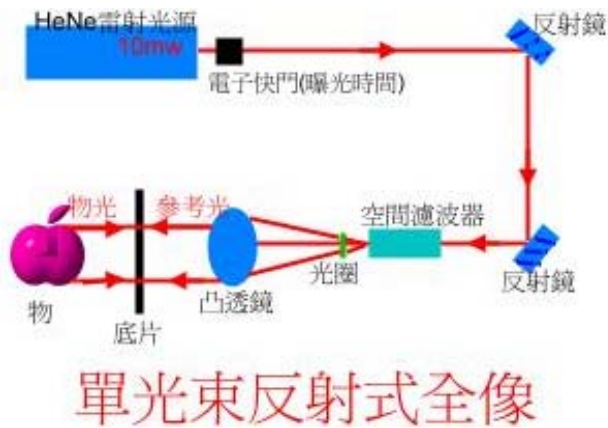


圖 1-(a):光路示意圖。



圖 1-(b):光路實景照片。

- * 優點:最簡易的拍攝法。
- * 缺點:視角小，只能看見正面反射回的角度。

2.雙光束反射式全像片

- (1) 畫好路徑圖，如圖 2-(a)，光路示意照片如圖 2-(b)
- (2) 用分光鏡將雷射光分成兩條。
- (3) 盡量將物光和參考光的路徑長度相等(相減結果即程差)。
- (4) 用空間濾波器擴大，用凸透鏡將參考光改成平行光。
- (5) 曝光 2 秒鐘。
- (6) 底片處理後用雷射光或白光重建，雷射光清楚，白光模糊。如成果(二)。

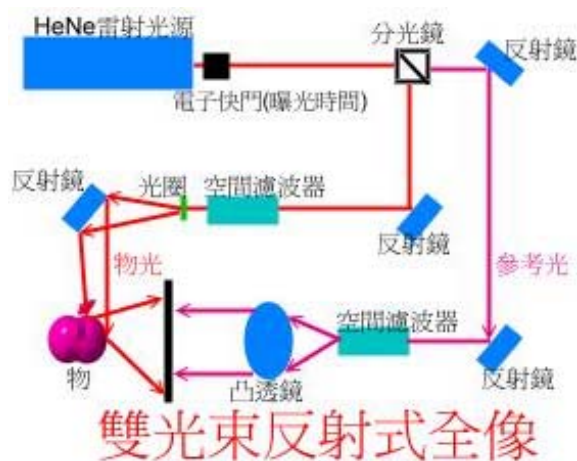


圖 2-(a):光路示意圖。

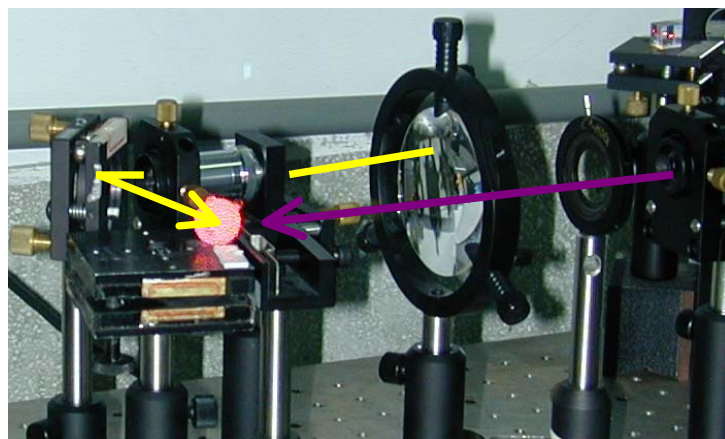


圖 2-(b):光路示意圖

- * 優點:視角大,可補足單光束反射式的缺點。
- * 缺點:儀器架設較複雜。

3. 雙光穿透式全像片

- (1) 畫好路徑圖,如圖 3-(a),光路實景照片如圖 3-(b)。
- (2) 其他步驟同 2.的(2)~(5)。
- (3) 底片處理後用雷射光重建,因是穿透式,所以應從另一面看,如成果(三)

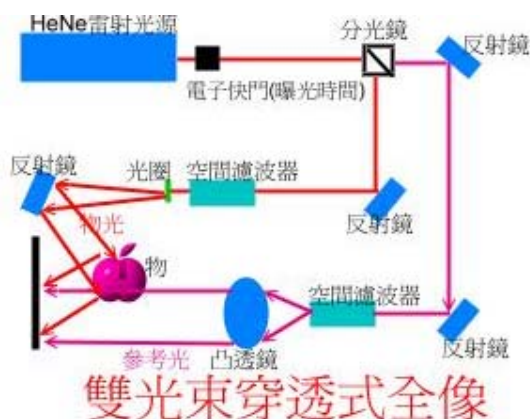


圖 3-(a):光路示意圖。

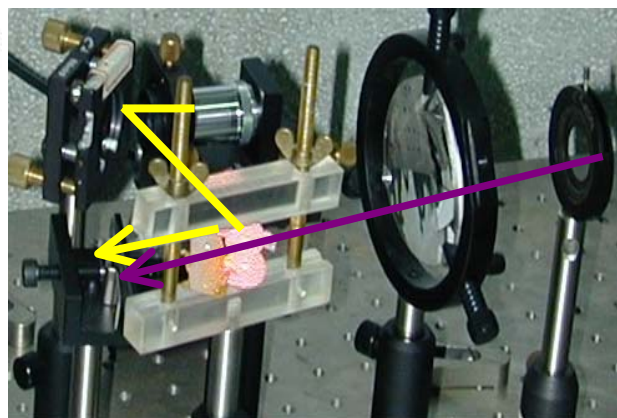


圖 3-(b):光路實景照片。

- * 優點:成功率較雙光束反射式較大。
- * 缺點:觀賞全像片的方式較麻煩。

4. 彩虹全像片

- (1) 畫好路徑圖,如圖 4-(a),光路實景照片如圖 4-(b)。
- (2) 用分光鏡將雷射光分成兩光束。
- (3) 儘量使記錄光和建設光相差的長度小於雷射光之同調長度範圍。
- (4) 建設光經空間濾波器擴張後,用凸透鏡轉平行光。
- (5) 於母片後緊貼一狹縫片,控制光通過的角度(也可不放)。

- (6) 另一條記錄光直接射至底片上，與母片實像重疊干涉。
- (7) 曝光 3 秒鐘。
- (8) 底片處理後可由白光光源直接重建。(以穿透方式)

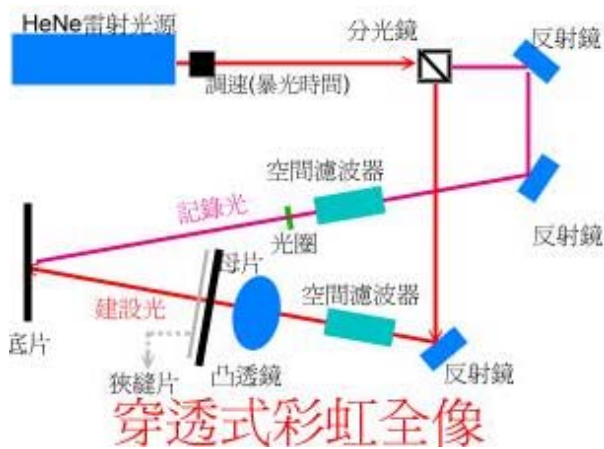


圖 4-(a):光路示意圖。



圖 4-(b):光路實景照片。

- * 優點:可由白光重建。
- * 缺點:需要兩次手續。

5.彩虹全像片狹縫角度

拍攝彩虹全像片時，將狹縫旋轉不同角度，並觀察其彩虹變化，與全像片效果之優劣。狹縫角度分垂直、水平、45 度角和無狹縫。

參、研究結果與討論

一、研究結果

- 1.光的干涉產生的干涉條紋可重建出一與實物相等的三維虛像。
- 2.重建光照在全像片上時，會被條紋圖樣繞射，產生與物體所反射的原波前形狀相同的波前。
- 3.全像片分單光束式與雙光束式，雷射光都需由同一光源分出。
- 4.全像片分為穿透式和反射式兩種。
- 5.反射式全像片可用白光重建，但因虛像與實像重疊，影像會較模糊。其中雙光束反射式攝得的角度較大，若用白光照射會較單光束模糊。最好都使用雷射光重建。*重建影像依記錄光源的不同而改變顏色。
- 6.因單光束反射式有視角小的缺點，所以我們想出了用雙光束來拍攝的方法。視角果然變大了，但儀器架設較單光束麻煩。
- 7.穿透式需以雷射光重建。

8.表一:拍攝效果比較

	單光束反射式	雙光束反射式	單光束穿透式	彩虹
重建方法	雷射光、白光	雷射光、白光	雷射光	白光
重建效果	視角小，雷射光重建清楚，白光模糊	視角大，雷射光重建清楚，白光模糊	雷射光重建清楚	彩虹效果。需由特定角度觀看。白光重建清楚。
觀看方式	眼睛與重建光同側	眼睛與重建光同側	眼睛與重建光異側	眼睛與重建光同側
儀器架設	最簡單，不需調整角度	物光與參考光架於底片異側	物光與參考光架於底片同側	最複雜。需兩道手續拍攝
成功率(最高為1,最低為4)	1	3	2	4

9.白光光源下看的彩虹全像原理，與有無加狹縫有顏色變化區別:

不加狹縫:重建後,彩虹混亂，影像邊緣模糊。

加狹縫:重建後，彩虹穩定，邊緣不會模糊,每個角度有不同的顏色。

10.彩虹全像可用白光重建，較為實用。

11.彩虹全像因要拍出母片的實像，所以需一個效果較好的母片。

12.拍攝彩虹全像時，因光需經過狹縫，重建光會變弱，所以我們提高了雷射光的曝光時間。

13.表二:狹縫變化結果

變化角度	彩虹方向 (變化方向和狹縫垂直)	立體方向	效果	彩虹顏色
垂直	平行變化	垂直	觀察彩虹變化方便 觀察立體變化不佳	由藍到紅
45度	由315度開始變化	45度	頭需移動找角度 較不方便	
水平	垂直變化	平行	觀察彩虹變化不佳 觀察立體變化方便	
無狹縫	無特定	無特定	彩虹混亂,邊緣模糊	顯示狀態無特定

14.顯影時間約在 20~30 秒之間，超過會使底片太黑,減少會看不到東西。

15.定影時間可在 25 秒左右，影響較不大。

16.表三:研究時間

秒	單光	雙光(穿透)	雙光(反射)	彩虹(無狹縫)	彩虹
顯影時間	20~25	25~27	25~27	25~27	25~27
定影時間	25	25	25	25	25
暴光時間	1	2	2	3	3
彩虹	無	很模糊	無	模糊	清楚

二、討論

1.雷射光是同調光，只有同調光不會擴展開來或漫射，所以非常適合用來作為全像片的光源。

2.全像片的記錄很特殊。一般底片是由每一個位置都記錄不同的影像而成，因此裁剪後只能保有那一區塊拍攝出的影像。但全像片是底片上每一個點都記錄全部的影像，若將全像片裁剪後不會影響到拍攝的畫面，反而會成為多張相同的立體影像。但立體效果會減弱。

3.重點原理:

全像片主要是由物光與參考光同時照射至底片上，產生干涉而成。

圖(a)後，經顯影、定影、清洗、烘乾。

用同一條參考光重建圖(b)，底片轉 180 度便可顯現實像。

4.拍攝注意事項:

(1) 拍攝全像片儀器的架設最花時間，由於一點小震動都會影響 拍攝成果。所以必須使用防震桌，且拍攝時，要先靜止一切動作，就連呼吸也不能太用力。讓震動減到最低，才能拍出效果好的全像片。

(2) 雷射光的偏振方向分垂直和水平，拍攝時物光與參考光的偏振方向要相同。

本實驗所用的分光鏡不會改變雷射光的偏振方向，所以做雙光束全像時，

雷射光的偏振方向並不會改變。

- (3) 雙光束需考慮到物光與參考光的光程差，雷射光的同調範圍和雷射管中共振腔的範圍成正比，所以光程差需小於同調範圍內。這次實驗的光程差需在 10 公分以內。
- (4) 物光和參考光的角度愈大，干涉條紋即會愈密，角度若太大，底片不容易處理出完整的干涉情形，效果會變差。因此物光和參考光的角度宜架小一點。

5. 彩虹全像:

- (1) 普通一次拍攝全像片的缺點是需用雷射光重建，影像才清楚。於是有彩虹全像的出現，藉由二道手續，可在白光下看到清晰的影像。
- (2) 彩虹全像就如同在狹縫中看實物，用白光重建時，每個角度都會有不同波長的重建，而有不同的顏色變化。因狹縫限制住了重建時觀看的視角，所以不會有模糊產生。
- (3) 加了狹縫後，犧牲了某些方向的視角，所以雖可在白光下重建，但立體感較不足。彩虹全像片會因狹縫的方位不同，而彩虹的方向也不一樣：
若狹縫為水平時：
眼睛相位上下移動→彩虹變化，上到下，藍到紅。
眼睛相位水平移動→立體旋轉。
若狹縫為垂直時：
眼睛相位上下移動→立體旋轉。
眼睛相位水平移動→彩虹變化，左到右，藍到紅。
- (4) 因雙眼的視差關係，狹縫若放水平方向，立體感會較放垂直方向明顯。
- (5) 彩虹全像狹縫位置拍攝效果最好的是需緊貼底片。
- (6) 彩虹全像注意事項：
物光和參考光的強度平衡：
A. 拍攝彩虹全像加上狹縫後，物光的強度會減弱，此時應將參考光減弱以平衡。若參考光太強，記錄時干涉的相長與相消效果不完整。
B. 使用兩片偏極片將參考光減弱。
- (7) 曝光時間需依雷射光的強度做調整。

6. 狹縫方位:

- (1) 若狹縫為垂直時，光繞射後彩虹方向呈水平變化。因為我們雙眼的視差，使我們看此類的彩虹較為輕鬆。由左到右，顏色為藍到紅。
- (2) 若狹縫為水平時，光繞射後彩虹方向呈垂直變化。看此類的全像片，需上下移動眼睛。彩虹由上到下，由藍到紅。
- (3) 若將狹縫改成 45 度角，在數學上是 $c = a + b$ ，但狹縫改為 45 度角後，並沒有變成未加狹縫的結果。彩虹一樣呈 45 度變化。若狹縫為右上左下，則彩虹變化呈左上右下變化，由藍到紅。
- (4) 可知狹縫 45 度並不能等於垂直狹縫與水平狹縫之相消，依然有清楚的彩虹效果。且彩虹變化方向與狹縫方向呈垂直。

肆、結論與應用

一、結論

1. 光的干涉產生的干涉條紋可重建出一與實物相等的三維虛像。
2. 反射式可用白光重建，但因實像與虛像重疊，影像模糊。
3. 穿透式需以雷射光重建。
4. 彩虹全像片可用白光重建。
5. 加狹縫彩虹變化穩定，垂直狹縫呈水平方向變色，由藍到紅，邊緣清楚。水平狹縫則相反。
6. 不加狹縫彩虹混亂，邊緣模糊。
7. 狹縫角度不同，重建的彩虹現象不被影響。但彩虹變化方向會隨著角度不同而改變。彩虹變化方向和狹縫垂直。

二、應用：

全像片可應用在信用卡、紙鈔防偽、廠商的標籤或個人的東西上，有高精度性，可防他人盜版。另外有些公司也利用其做廣告看板，用聚光燈照射時，會形成清晰的立體影像。魔術師也曾利用其來做視覺錯覺的表演。鑰匙圈、卡片、貼紙.....很多商品的附加商品都有使用全像片來製造立體、彩色變化效果。

三：未來展望:

狹縫寬度和狹縫與母片的距離之規律:

1. 狹縫愈窄, 繞射光的角度愈大。如圖 7-(a)

2. 狹縫與母片距離長, 和狹縫寬度搭配的關係, 實驗後應能找出規律。在此規律下, 可得到最清晰的影像。如圖 7-(b)

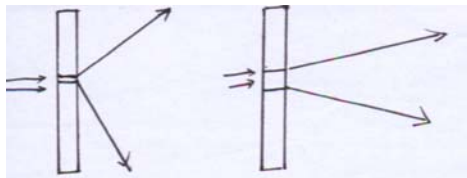


圖 7-(a)

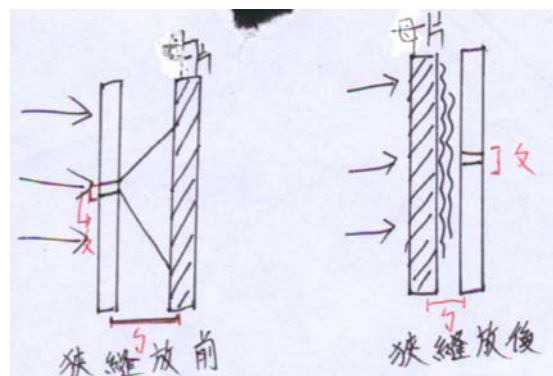


圖 7-(b)

五、參考資料

- 一、休伊特 著, 陳可崗 譯 “觀念物理 I V”, 天下文化出版社。
- 二、中正理工學院應物系-全像光學實驗室網站-全像術原理與發展
<http://www.ccit.edu.tw/~c3hog>。
- 三、牛頓雜誌社製作 “雷射光電”, 牛頓出版社。
- 四、科學月刊 第三十二卷第十一期 “多面相的全像科技”, 華錦光電提供

評 語

作者嘗試使用單光及雙光束拍攝反射式與穿透式全像片，並探討加設狹縫時其大小、方位與角度對於彩虹全像片的影響，以及用白光重建影像的情形。分析清楚、結論明確。 惟在創意上較為不足。