

作品名稱：神奇寶貝進化的秘密

國中組 物理科 第三名

縣市：嘉義縣

作者：彭景筠、吳貞怡

何佳樺、何芳如

校名：嘉義縣立民雄國民中學

指導教師：劉嘉烽、何智豪

關鍵詞：折射、幾何光學、模型



【神奇寶貝進化的祕密】

一、研究動機：

市面上某廠牌零食隨包附贈有的神奇寶貝炫風卡【照片一】，這種卡片可在某些角度只看到神奇寶貝進化前的圖案；在某些角度看到神奇寶貝進化後的圖案。而且卡片旋轉時圖案會交互變換。而另一種牛奶糖送的神奇寶貝變身貼紙也是這樣的情形？後來又發現一種先進的大頭貼機器，拍出來的變身大頭貼也跟上述情形一樣！為什麼會有這樣的變化呢？不同廠牌零食送的玩具、變身大頭貼原理是否相同呢？我們很好奇？於是著手對它們的原理追根究底。

二、研究目的：

- (一)、了解神奇寶貝炫風卡和神奇寶貝變身貼紙、變身大頭貼的原理。
- (二)、製作簡單的炫風卡模型。
- (三)、繪出簡單的炫風卡底圖。

三、研究設備器材：

神奇寶貝炫風卡、神奇寶貝變身貼紙、變身大頭貼、平凸透鏡、顯微鏡、顯微攝影器材、10 倍放大鏡、雷射筆、聚脂膠、塑膠象棋盒子、吸管、黏土、砂紙、量角器。

四、研究過程：

- (一)：初步觀察。
先拿起 3D 炫風卡左看右看上看下看，到底是怎麼變的。
結果：發現正面看卡片轉不同角度有不同圖案，但把卡片倒著九十度再旋轉不同角度時，卡片就不能連續變出圖形了，而且卡片上面的透明塑膠並不是平的，而是有規則的橫向凹凸排列。由圖卡背面透光觀察，圖卡的底圖繪有進化前和進化後的圖形，可能是把所有的圖畫在同一張紙上。

- (二)：放大觀察
把炫風卡拿在解剖顯微鏡下詳細觀察，發現看到的放大圖案是一由看起來是一條條的橫長方形點所組合構成，【如圖一】。推測是否和橫條有關，於是決定作炫風卡的縱切面試試。

- (三)：顯微觀察
把炫風卡和變身貼紙作縱向切片拿到顯微鏡下觀察，發現縱切面是由平的底圖和許多排列在一起的弧角比半圓小的(以後都簡稱小波浪)圓弧所構成【如圖二、圖三】。於是推測卡片的變化是否和這些圓弧有關呢？



圖一：炫風卡正上方放大圖



圖二：旋風卡縱切片側俯視圖 圖三：旋風卡縱切片側視圖

(四)：拿一塊平凸透鏡放在白紙上，若鏡下的白紙上寫有『123456789!#\$』，在平凸透鏡的左上方來眼精描準描靠近左邊的字(123)，結果 123 上面的鏡面會霧化變得模糊、在凸透鏡的左上方來看也得到同樣的情形。

(五)：偏光的效果測試：

1、或者假設說炫風卡上的透明物質是不是某種偏光鏡，旋轉到某一角度會有偏光效果，於是我們拿立體劇場使用的偏光眼鏡對著旋風卡和刮掉底圖的旋風卡旋轉測試，結果沒有發現偏光的效果。

2、更進一步以旋轉式偏光板對著旋風卡等測試，結果也沒有偏光效應。

(六)：由平凸透鏡得到的結果，假設炫風卡的底圖有甲、乙兩種圖。如果把幾個平凸透鏡並排，並在每個半圓上相同的座標點上對的位置畫上同一張圖的元素，也就是說甲圖只能畫在半圓的左半部，乙圖只能畫在半圓的右半部(如右圖所示)，這時候若在圖的左上方只能看到乙；圖的右上方只能看到甲。但是半圓若太大，則由左(右)邊看每個半圓上的乙(甲)組合起來的圖解析度會較差，所以實驗室的平凸透鏡就不適用了。於是我們開始找小型半圓柱的材料。.



(七)：尋找材料：我們找到工藝老師用來作透明鑰匙圈的材料----聚脂膠，這是兩種黏稠液體以一定比例混合之後倒入模子，幾小時後會硬化變成透明固體。

(八)：製作初步模型：找幾根小吸管，沿直徑從中切成兩半，倒入聚脂膠，數小時天後將吸管和膠分離即可成半徑約 3mm 的透明半圓柱。

(九)：寫底圖：將半圓柱的寬度描在紙上如圖 AB 列為一個”半圓柱”，也就是所有 A 圖畫在圓柱的 A1、A2、A3...B 圖

畫在圓柱的 A1、A2、A3...最後把小半圓柱貼上即成為一個可以變換圖形的小卡。如右圖中底圖寫成『上』『下』兩字。再把半圓柱黏上去即完成初步模型【照片二】。

(十)：製作大模型：完成的小變換卡只能在兩個角度看不同圖形，但是炫風卡可在多個角度看到不同圖形！於是再看看顯微觀察的縱剖面圖，是否和小圓弧和底圖之間的厚度有關呢，於是我們決定再製作和剖面圖一樣的模型。用一個塑膠盒，底層先鋪一層黏土，將吸管切

A1	@
B1	***** *****
A2	@ @ @
B2	***
A3	@@@@@@@ @ @ @ @
B3	

成一小段半圓柱，一個一個排在一起嵌合在黏土上，即成為我們要的模子【照片三】，最後倒入聚脂膠放乾後即成為炫風卡表面透明塑膠的放大模型【照片四】。

(十一)：製放大模型：照片三大模型上的小圓弧形成為小凸透鏡，雖然比炫風卡大很多但某些方面研究的話仍不夠大，所以我們依照片三大模型上小凸透鏡和小凸透鏡下方深度依比例製成放大模型【照片五、六裡頭的模型】。

(十二)：測焦點：把製好的透明模型平放桌面上，取兩支雷射筆（先量好雷射光射出雷射筆的方向）平放桌面上平行主軸，透明大模型中有些小氣泡，利用雷射光碰到小氣泡會散射的現象，所以雷射光在模型中路徑會顯示出來，兩道雷射光的交點就是焦點了。【圖九】。

(十三)：製底圖：這大模型製作底圖方法仍和步驟九相同，只是底圖要和你所看到的圖上下相反。作好底圖貼上模型後便可在不同角度看到不同圖案，就是簡單的大型炫風卡了。

(十四)：找出底圖畫法：1. 取一會變出皮卡丘和雷丘的變身貼紙，在解剖顯微鏡下轉動貼紙至兩張圖同時可看到的角度，仔細觀察【圖四，進化前的皮卡丘，進化的雷丘】，其中一個圖是畫每一長條區的上方；另一圖是畫在每一長條區的下方。

2. 用細砂紙把一張炫風卡表面磨平，磨平了卡上面透明的那一層，這時卡就不會再隨角度而變換圖形了，可見圖的變化和上面那層透明材質有關。然後再放大觀察如圖五，圖五的文字是『#134 水精靈、#136 火精靈』附圖五箭頭指出的地方可見『3』『火』分屬不同圖形，而文字一長條有一長條無交錯排列。

3. 以變身貼紙背面對眼睛，正面對著光線以 10 倍放大鏡觀察，可發現橫的亮紋和暗紋，亮紋表面是小半圓柱凸起部分，暗紋是凹下部分，一亮一暗代表一個半圓柱寬範圍，這時發現底圖之一大部分在亮紋區，另一張大部分在暗紋範圍。

4. (1). 取一我們製作的小半圓柱對著在紙上寫好的『v』看若小半圓柱貼緊白紙則看到『v』，當小半圓柱離白紙一小段距離後則看到上下相反的『^』。

(2). 取刮掉底圖的炫風卡上層透明塑膠【照片二右】，貼緊白紙上寫好的『v』，結果看到的是『^』。

5. 圖六為把炫風卡『#086 小海獅、#087 白海獅』表面磨平後的底圖，箭頭所指部分可看出底圖組成因子並沒有上下顛倒的情形。

6. 圖七為完整炫風卡『#086 小海獅、#087 白海獅』放大觀察後的情形，由箭頭的線條可看出原先附圖七箭頭所指的部分斜斜的小線條在附圖七看到的是以斜斜小線條為對角線的長方形。



圖四：同時出現皮卡丘和雷丘時的變身貼紙



圖五：表面刮平的旋風卡



圖六：表面磨平的炫風卡



圖七：表面未處理的炫風卡

(十五)、驗證：依上面步驟得到的原理，取兩張圖(小白馬和小精靈)製成底圖，如附圖八，這個放大圖可看的更清楚小白馬和小精靈如何構成底圖的。把它縮小然後把刮掉底圖的透明炫風卡【照片二右】上層套上去，轉動炫風卡結果可看到交互變化的兩張圖形。



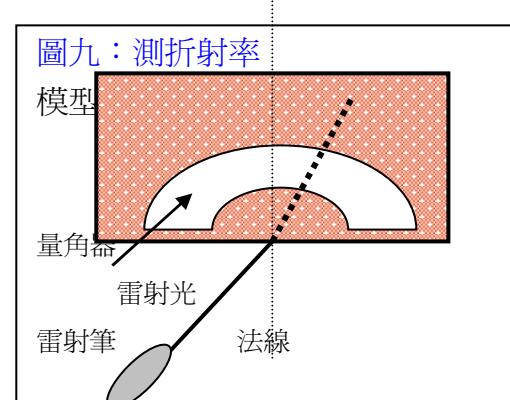
附圖八：自製
炫風卡底圖

五、研究結果與討論：

(一)、折射率測量：

因為自製的聚脂膠透明模型裡面含有些小氣泡，所以雷射光通過膠塊時光會散射使在裡面紅色的光線會顯示出來，所以我們可以以此來測折射率，(如圖九、量角器放在模型上，底線對準入射面，雷射光入射點對準量角器基準點，這樣就可以由入射角與反射角求得折射率，但入射角太大時入射點的雷射光點面積會比較大，以致在模型裡的光線會比較粗使誤差較大，所以上表的入射角只測到 35 度。紀錄如表一，聚脂膠模型的折射率取六次測到的平均值 1.57。

表一：聚脂膠透明模型折射率測量紀錄表					
入射角 θ_1 (空氣)	$\text{Sin}(\theta_1)$	折射角 θ_2 (膠)	$\text{Sin}(\theta_2)$	折射率	平均 折射 率
15	0.260	10	0.174	1.50	1.57
25	0.423	15	0.259	1.62	
33	0.545	20	0.342	1.59	
40	0.643	25	0.423	1.53	
55	0.819	30	0.500	1.63	
65	0.906	35	0.574	1.57	



(二)、底圖探討：

1、底圖正立或倒立問題：

(1)、自製的模型：取白紙貼緊模型下方，紙上的字成像為倒立放大，凸透鏡物距在焦距和兩倍焦距之間時成像為倒立實像，因此我們的底圖需要把每一小半圓柱下的因子畫成上下相反如此看到的像才是正立的。

(2)、炫風卡：由造鏡者公式 $1/f = (n_2 - 1)(1/R_1 - 1/R_2)$

取炫風卡的塑膠模折射率約 1.5，由上式求得 f 大約 $= 2R$ (f :焦距， R :曲率半徑)，由圖十物距約在 $f \sim 2f$ 間，另一證明是步驟 14-4，以表面透明塑膠來看是倒立放大。但在圖六看到的底圖並沒有上下相反，在圖七看到底圖也很正常，因為炫風卡的底圖是用『點』組成的，而『點』沒有上下相反的問題。

(3)、圖十的變身貼紙和大頭貼的同樣以造鏡者公式約略推測物距在焦距內，所以成像為正立放大虛像。同樣的以刮掉底圖的變身貼紙和大頭貼貼著白紙上的『v』符號來看也是看到正立的像。

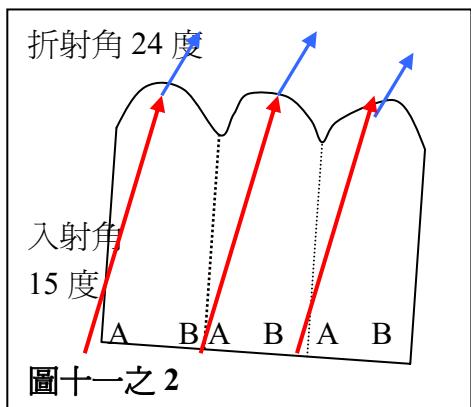
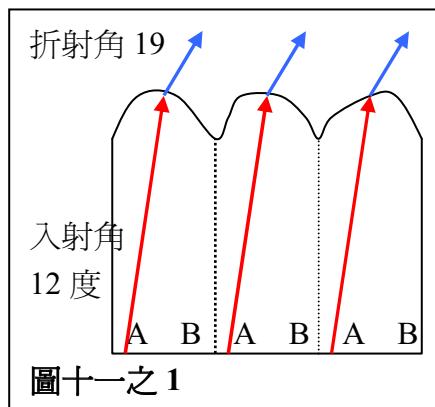
(4)、為什麼只有炫風卡底圖要畫倒立的：因為由圖十炫風卡物距如果在焦距內的話則炫風卡會變得太薄容易斷掉。

2、在圖五的『3』和『火』互相交錯排列，但我們不確定每個因子是占一個或是半個小半圓柱，我們可以由實物的3和火上方數看看有幾個小半圓再數看看有幾個『3』和『火』的因子，結果數出來的是每個因只占了半的小半圓柱。同樣的如步驟14的驗證，也是兩個神奇寶具的組成因子構成一個小半圓柱垂直投影面積。

3、自製模型由步驟十三中測出物距在焦距和兩倍焦距之間，所以自製模型看到的像是倒立放大實像。

(二)、神奇寶貝進化原理：

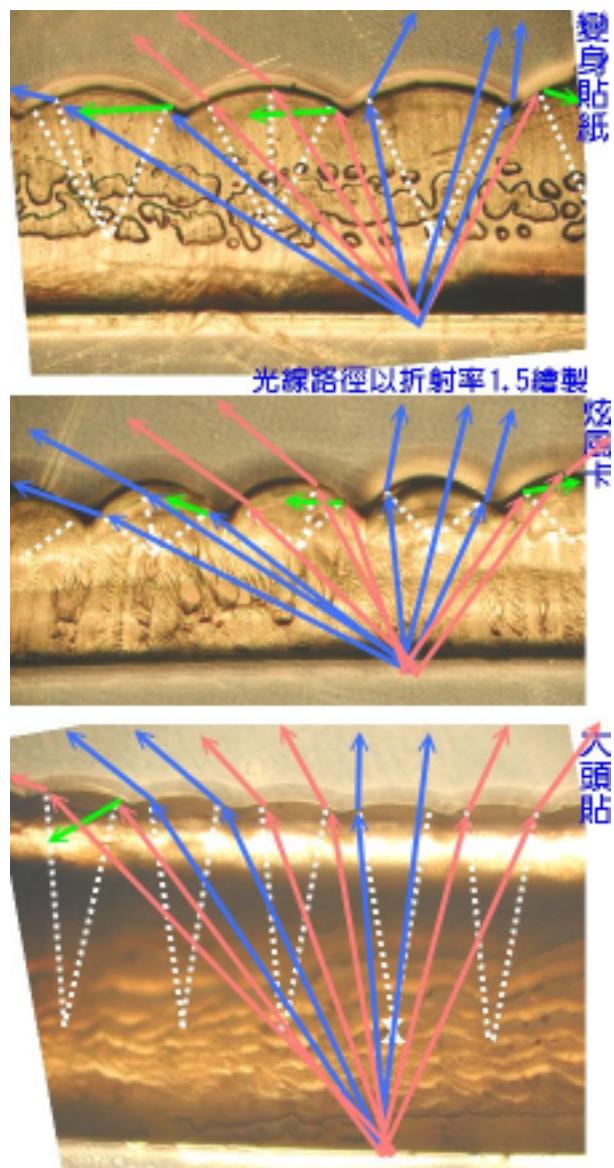
1、(1). 同張圖可重複看幾次：如圖十一為炫風卡縱切面圖，底圖有A、B兩種，以光的可逆性來說明，如圖十一之1所示我們當空氣入射入射點在炫風卡頂點，入射角19度折射角12度(表1)時看到A底圖。當入射光相對水平線角度不變時炫風卡順時針旋轉5度入射角變為24度，折射角變為15度，這時折射光線跑到B區去了，也就是看到B底圖。當順時針旋轉角度更大時，又看到A底圖然後又看到B底圖，所以圖會重複看到。(照片五、照片六)



(2). 圖十一的波浪寬度如果愈小，則轉動較小的角度就可看到下一張圖。

2、只看到部分底圖問題：

(1). 如圖十上的光線路徑圖所示，黑點為每一小圓弧圓心。選取底圖中一個

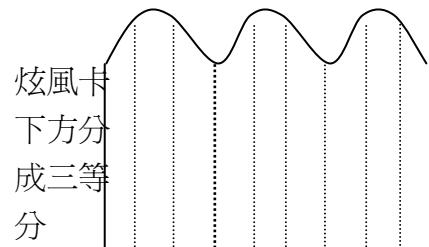


區域”O 點”折射出的光線路徑圖，折射方向以折射率 1.5 繪製。以圖十變身貼紙來說，若法線在入射線左邊則折射線會偏左；若法線在入射線右邊則折射線會偏右。第一個波浪折射出的折射線(藍色)成像在卡下方的虛像；第二個波浪折射出的折射線(紅色)成像在卡下方的虛像。而且入射角超過臨界角時造成全反射會無法折射出去。所以紅折射線區間和藍折射線區間可看到”O 點”的成像，紅藍區間之間的空白區間就看不到”O 點”成像了。所以底圖某些角度會看到、某些角度看不到了。

(2).同理，旋風卡和大頭貼的光線折射圖也可看出有些區間會看不到”O 點”成像。

3、推廣：依此原理，如果把炫風卡下方每個圓柱分成三等分(如圖 13 所示)則推論可得到三種圖的變化，分成四等分會有四種圖變化，但分成愈多等分每張圖組成因子顆粒愈小且圖角度變化敏感解析度愈差。

圖十三



(三)、綜合比較：

因素	種類	變身貼紙	炫風卡	大頭貼
波浪寬	最大	次之	最小	
底圖位置	焦距內	1~2 倍焦距間	焦距內	
底圖成像性質	正立放大虛像	倒立放大實像	正立放大虛像	
轉動時圖形變化速度	最慢	次之	最快	
看到的圖形清析度	最佳	次之	最差	
單位長度波浪數	3.3	4.0	5.3	
厚度	最薄	次之	最厚	

1. 波浪寬愈小的圖形變化速度愈快，但因波浪寬小的關係容易看到兩種圖形同時出現的情形使看到圖形的清析度變差。
2. 旋風卡、大頭貼、變身貼紙等底圖成像正或倒立不影響卡片的變化，但底圖物距若在兩倍焦距外則成像縮小會使圖形清析度差。
3. 旋風卡若厚度加厚則會物距超出兩倍焦距外使成像變成倒立縮小實像，變薄則卡片容易折損。

六、結論：

- (一)、由實驗把炫風卡和變身貼紙及大頭貼徹底研究的結果顯示，神奇寶貝可在同一張小卡上變出進化前和進化後的圖形，原來只是和光的折射現象有關，和偏光鏡無關，並沒有涉及到很高深的光學。
- (二)、炫風卡上層小半圓和底圖間距離一方面是有厚度使炫風卡不易折斷損毀，另一方面單位長度波浪數愈大所能變化的次數 愈多。
- (三)、卡片下的底圖是把多種圖畫在同一平面上的，並不是畫在不同層。
- (四)、聚脂膠製成的透明模型，裡面若還有小氣泡可使光線通過時產生散射現象，是很好的幾何光學實驗材料。

七、參考文獻：

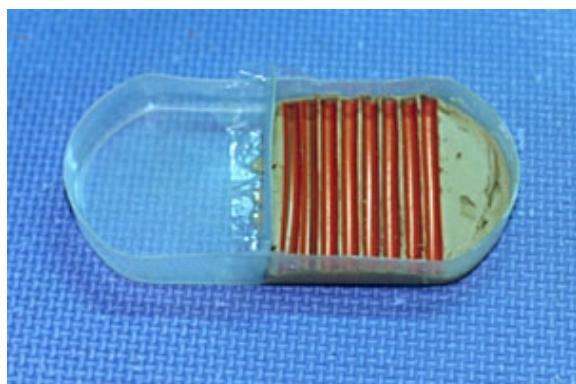
- (一)、國中理化第一冊第 4 章，國立編繹館。
- (二)、曹培熙、張潔儀，基礎物理學下冊第 39 章—幾何光學，曉園出版社。



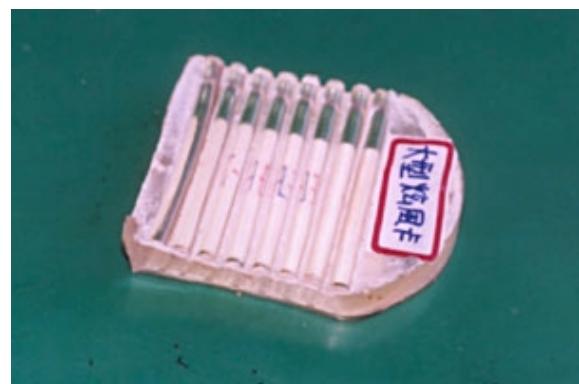
照片一：上左，炫風卡。上右，變身貼紙。下，大頭貼



照片二：上左，初步模型(沒有厚度的)。
上右，刮掉底圖的風卡。下，刮掉底圖的風加上自製的炫風卡
底圖形成自行組合的炫風卡。



照片三：聚脂膠作的炫風卡放大模型
的模子



照片四：聚脂膠作的炫風卡放大模型



照片五：實驗炫風為何可以看到交互
圖形變化(轉動前)



照片六：實驗炫風為何可以看到交互
圖形變化(轉動後)

評語：

利用簡單折射原理討論變身貼紙的物理現象，討論步驟嚴謹，每段均有物理原理印證，分析深入，表達清析，具有科學探討精神，並能改進變身貼紙製作，具有實用性。但較缺乏定量之討論，宜改進。

作者簡介

彭景筠：

國小時的我一點都不外向，但不想把真正的自己封閉太久，所以才慢慢的接近人群，也因此學到很多，一直到國中後更發現學海無涯，鼓勵自己爭取各種競賽的機會，就算成績不是最亮眼的，我也是全力以赴，如同這次參加科展一樣。

吳貞怡：

我從鄉間來～正如這首歌一樣：「我是個鄉間女孩，並不是飲飲口裡的才女，卻是大家嘴裡的乖乖女。有大自然的微笑，與那活潑的朝氣，讓我交了不少朋友。高高瘦瘦的身材，使我更有魅力。有時也會酷酷的不理人，可是影響不了我的『』親藹力」。

何佳樺：

在這寧靜的村莊裡有位女孩不管走到那，歡笑就跟到那，那個人就是我。雖然沒有 IQ 100 的頭腦，但做任何事決不後悔，每天過著快樂的日子因為我的活潑，使我有許多的好朋友，所以不管我走到那都會很快的進入狀況不會孤單一個人。

何芳如：

我排行老二。生長在一個溫馨的家庭，在父母的呵護下，慢慢的長大。父親是位負責的公務員，母親是位和藹可親的家庭主婦，上有一姊下有一弟。我生長在無憂無慮的生活裡，從小就像一個小天使一樣，被人捧在手心裡，總是有種我是這世界上最幸福的人了。