

# 新竹市第四十四屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

科 別: 物理科

組 別: 國中甲組

作品名稱: 不同波長的藍光打入不同膠體的 Mie 散射

關 鍵 字: 藍光手電筒、Mie 散射、膠體

編 號: 115JA-P009

## 摘要

我們選定幾種膠體以不同波長的藍光照射，觀察光在不同膠體中的傳播與散射情形，發現部分牙膏膠體呈現出特別亮白。對此現象，我們推測其可能與 Mie 散射有關。當膠體中顆粒的尺寸與入射光波長相近時，會產生散射效應，使光線向各個方向擴散，進而提升整體亮度並呈現白色外觀。因此，本實驗將進一步探討 Mie 散射的相關機制。在測量方法上，我們利用照度計測量各膠體在光照射下的照度數值，作為量化光通量變化的依據，並將不同條件下的數據進行比較與分析。透過這些實驗結果，我們能夠更客觀地探討不同膠體與溶液之間的差異，並進一步了解光散射行為與物質特性的關聯性。最終，希望藉由本研究歸納出影響膠體亮度的主要因素，並加深對光散射的物理現象。

## 壹、研究動機

在看牙醫的時候，醫生總是提醒我們要將牙齒刷乾淨，才能有效預防蛀牙並維持口腔健康，同時也能讓牙齒看起來更加潔白。因此，我們開始思考，為什麼刷牙可以讓牙齒變乾淨，甚至達到美白的效果。進一步觀察日常生活中的牙膏廣告，可以發現許多品牌都強調其具有美白功能，聲稱能讓牙齒更加亮白，這引發了我們的好奇：牙膏究竟是透過什麼原理，使牙齒看起來變白？其中是否蘊含特定的科學機制與原理？經過初步查詢資料後，我們發現牙膏中通常含有微小顆粒，這些顆粒除了具有清潔作用外，也可能會影響光的傳播與反射行為，使牙齒表面呈現較亮或偏白的視覺效果。當光線進入含有顆粒的介質時，可能會產生散射現象，如 Mie 散射，進而改變光的方向與強度，這些現象都有可能與牙齒的「美白效果」有所關聯。因此，本研究希望以可見光中不同波段的藍光作為光源，探討光進入牙膏水後的變化情形，並觀察不同條件下光的散射與亮度變化。同時，透過實際測量與數據分析，我們期望能更深入了解光與物質之間的交互作用。





## 貳、研究方法與目的

- 一、使用同波長的藍光燈打入不同膠體的變化
- 二、使用不同波長的藍光燈打入同膠體的變化
- 三、從實驗中找出 Mie 散射，並對其了解
- 四、觀察不同波長藍光穿透膠體的能力差異
- 五、觀察用不同濃度的膠體的光通量

## 參、研究設備及器材

三種不同波長的藍光手電筒	各品牌牙膏與牛奶
<p data-bbox="129 878 360 943">420nm~440nm</p> 	
<p data-bbox="129 1169 360 1234">460nm~475nm</p> 	
<p data-bbox="129 1505 360 1570">480nm~495nm</p> 	

電子秤	照度計	暗箱
		

燒杯	秤量紙	刮勺	玻棒
			

## 肆、研究過程或方法

### Mie 散射 (Mie Scattering)

Mie 散射是一種當光線照射到與入射光波長相近或稍大的球形粒子時，所產生的複雜散射現象。其散射效果主要由光的衍射、反射與折射共同作用形成。散射強度會受到粒徑、入射角度、光波長以及材料折射率的影響，並且散射光多集中在光的前進方向（前向）。當顆粒尺寸接近光波長時，還會出現「Mie 共振」，進一步增強特定波長的散射效果。

在本實驗中，我們使用的藍光波段為 420 nm~495 nm，而牙膏水中的顆粒半徑約為 0.2~2  $\mu$  m，對應的尺寸參數範圍約為  $2.6 \leq \chi \leq 29.9$ 。

Mie 散射的特性如下：

1. 前向散射極強（0~30°）：當顆粒尺寸與光波長相近或更大時，衍射效應與折射光在前向區域會發生相長干涉，使光集中。
2. 側向散射仍可見：角度越大，散射光強度下降，但仍可被觀察到。
3. 後向散射較弱：但並非完全消失，光線仍有部分反向散射。

具體原因分析：

衍射效應：光線遇到顆粒邊緣時會發生強烈衍射，形成前向集中光斑，散射強度與粒徑平方成正比。

折射與透射：光線穿過透明或半透明球形顆粒時，折射與透射會使光向前方散射。

相長干涉：大量散射波在前向同相疊加，增強光強；偏向後方時相位差增大，導致後向散射較弱。

總結來說，Mie 散射是由較大粒子引起的複雜散射，其前向集中性質是衍射、折射與反射的綜合作用結果。

### 廷得耳效應 (Tyndall Effect)

廷得耳效應指光線被膠體系統中微小粒子散射時，形成可見光路的現象。當光束穿過混濁物（如牛奶、霧氣或煙霧）時，懸浮粒子會散射光，使原本透明的介質呈現明亮光路，而真正的溶液（粒子極小）則不會出現此效應。

### 瑞利散射 (Rayleigh Scattering)





瑞利散射發生在光波長遠大於粒子大小時，例如氣體分子。其特徵是散射強度與光波長的四次方成反比 ( $I \propto \lambda^{-4}$ )，因此波長越短（如藍光）散射越明顯，波長較長（如紅光）散射較弱。本實驗中，由於牙膏水顆粒遠大於光波長，瑞利散射並非主導效應。





### 實驗步驟





1. 準備 50cc 與 100cc 的水，作為溶劑。
2. 取不同品牌牙膏各 4 克與 50cc 的牛奶，作為實驗樣品。
3. 將牙膏分別加入定量 50 克與 100 克的水，充分攪拌直至形成均勻的膠體懸浮液，須避免產生氣泡影響而光線傳播。
4. 設置儀器與樣品間距為 10 cm，確保測量條件一致。
5. 使用不同波長的藍光燈照射樣品，觀察膠體中光散射的明顯程度與角度分布。
6. 使用照度計（單位：Lux）測量散射光強度，並紀錄不同波長、不同濃度下的數據。
7. 將數據整理，對比不同樣品及不同波長光的散射強度，分析 Mie 散射特性及其與粒子大小和濃度的關係。





空照	420~440nm 30Lux	460~475nm 1495Lux	480~495nm 8940Lux





黑人牙膏(水 50g)	420~440nm	460~475nm	480~495nm
-------------	-----------	-----------	-----------

	13Lux	36Lux	83Lux
			

小高露潔(水 50g)	420~440nm 9Lux	460~475nm 8Lux	480~495nm 12Lux
			





酵素牙膏(水 50g)	420~440nm 10Lux	460~475nm 8Lux	480~495nm 13Lux
			









瑞穗鮮乳(50g)	420~440nm 7Lux	460~475nm 8Lux	480~495nm 12Lux
			





sunstar(水 50g)	420~440nm 8Lux	460~475nm 22Lux	480~495nm 48Lux
			









大高露潔(水 50g)	420~440nm 6Lux	460~475nm 30Lux	480~495nm 30Lux
-------------	-------------------	--------------------	--------------------

			
<p>Bee 牙膏(水 50g)</p>	<p>420~440nm 12Lux</p>	<p>460~475nm 46Lux</p>	<p>480~495nm 106Lux</p>
			
<p>白人牙膏(水 50g)</p>	<p>420~440nm 8Lux</p>	<p>460~475nm 11Lux</p>	<p>480~495nm 28Lux</p>
			
<p>Lion(水 50g)</p>	<p>420~440nm</p>	<p>460~475nm</p>	<p>480~495nm</p>

	16Lux	25Lux	52Lux
			
小高露潔(水 100g)	420~440nm 5Lux	460~475nm 8Lux	480~495nm 14Lux
			
酵素牙膏(水 100g)	420~440nm 7Lux	460~475nm 8Lux	480~495nm 9Lux
			

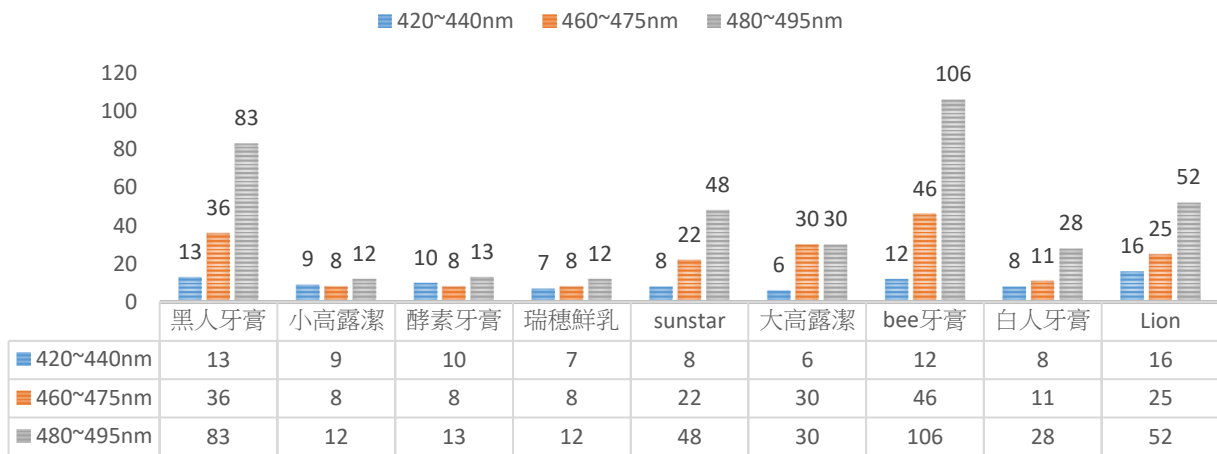
瑞穗鮮乳 50g(水 50g)	420~440nm 10Lux	460~475nm 14Lux	480~495nm 13Lux
			
sunstar(水 100g)	420~440nm 5Lux	460~475nm 11Lux	480~495nm 21Lux
			

大高露潔(水 100g)	420~440nm 6Lux	460~475nm 17Lux	480~495nm 32Lux
			

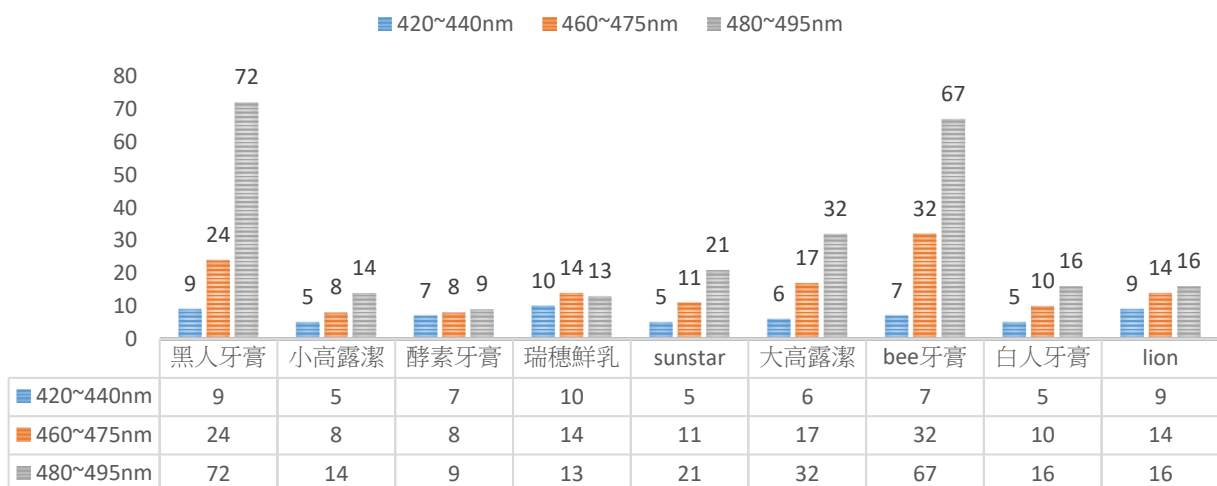
Bee 牙膏(水 100g)	420~440nm 12Lux	460~475nm 32Lux	480~495nm 67Lux
			
白人牙膏(水 100g)	420~440nm 5Lux	460~475nm 10Lux	480~495nm 16Lux
			
Lion(水 100g)	420~440nm 9Lux	460~475nm 14Lux	480~495nm 16Lux



### 測量結果一(水50克，單位:LUX)



### 測量結果二(水100克，單位:LUX)



觀察數據可以看到：

- 420 - 440 nm 在各樣本中幾乎都是最低

- 460 – 475 nm 次之
- 480 – 495 nm 通常最高（代表散射最少）

因此結論是：

波段 420 – 440 nm 的藍光，其 Mie 散射最明顯（被散射掉最多，剩餘光最少）。關鍵原因在於波長與粒徑的相對關係，以及散射效率受波長的影響，波長越短，散射效率越高。

而 Mie 散射，是當一種光線照射到，與入射光波長相近或稍大的球形粒子時，所產生的現象：

粒子尺寸  $\approx$  光的波長（或同一量級）

當粒子大小固定時，波長越短，散射通常越強。所以經由此實驗觀察，可推測出膠體中的微粒粒徑大小約在 400 – 500 nm 或更大。

## 伍、研究結果

實驗過程中，我們觀察到樣品中出現一些特別明亮且偏白的光點，這使我們意識到這種現象與 Mie 散射有密切關聯。因而進一步分析市面上各款牙膏水樣品，打入不同波段的藍光並觀察產生的相互作用，此實驗設計是比較不同波長光對不同膠體所產生的散射效果。實驗結果顯示，波長在 420nm 至 440nm 之間的藍光最能引發明顯的散射現象，也就是最接近牙膏膠體中顆粒尺寸所對應的 Mie 散射條件，呈現出最亮、最白的視覺效果。由此可以確認，本實驗中觀察到的現象完全落在 Mie 散射的範疇，而非瑞利散射，因為膠體顆粒尺寸遠大於光的波長，與瑞利散射條件不符。

牙膏水為微米級顆粒膠體，當入射藍光的波長與顆粒尺寸相當時，Mie 散射成為主要光學機制。其主要特徵包括光路明顯可見、強烈的前向散射，以及散射強度與波長之間呈現依賴性，但不符合瑞利散射的  $\lambda^{-4}$  關係。透過觀察散射角分布，我們發現前向散射（ $0^\circ \sim 30^\circ$ ）最為顯著，側向散射仍可觀察到可見光，而後向散射則相對較弱，但並非完全消失。從入射光方向觀察時，光點呈現特別明亮；而從側面觀察，仍可見到散射後的藍色霧光，顯示短波長光在膠體中仍容易被看見

此外，我們注意到，不同牙膏品牌或不同膠體濃度的樣品，散射亮度與光斑分布也略有差異，易被散射，但整體散射並不遵循  $I \propto \lambda^{-4}$  規律。顯示膠體顆粒大小分布、濃度以及均勻

性均會影響 Mie 散射效果。這些觀察不僅驗證了理論預測，也提供了可量化的數據，能夠作為分析膠體光學性質與日常生活中「牙膏美白效果」之間關聯的重要依據。

## 陸、討論

本實驗結果顯示，瑞利散射並非主要影響因素，原因在於牙膏與牛奶中的顆粒尺寸遠大於分子尺度，已不符合瑞利散射所適用的「粒徑遠小於波長」條件。另一方面，實驗中所觀察到的明顯光路與發光現象，可歸因於廷得耳效應，其本質機制則可進一步以 Mie 散射加以解釋，因此可判定 Mie 散射為本研究中的主要光學現象。

### 1. 主要研究的物理現象

本實驗主要探討光通過牛奶或牙膏懸浮液時所產生的 Mie 散射現象，並比較不同濃度與不同波長光源對散射強度的影響。由於懸浮液中的顆粒尺寸與可見光波長相近，因此會產生顯著的散射效應，使光向各個方向擴散。透過觀察與測量，我們可以分析粒徑、濃度與光波長之間的關係，進一步理解膠體系統中的光學行為。

### 2. 為什麼濃度越高，整體亮度會越強？

當懸浮液的濃度增加時，單位體積內的粒子數量也隨之增加，使光與粒子之間的交互作用機率提高。當入射光進入系統後，會有更多光被粒子散射，因此能被觀察或被照度計接收到的光強度也會增加。此外，在較高濃度下，光可能在粒子之間發生多次散射，使光的傳播路徑變得更複雜，進一步提升整體亮度並使光分布更加均勻。因此，濃度與亮度之間通常呈現正相關的關係，但在極高濃度時，也可能因光被過度散射或部分吸收而出現趨於飽和的現象。

### 3. 實驗結果可以解釋的生活現象

本實驗可用來解釋日常生活中許多常見的現象，例如牛奶、牙膏或雲朵為何呈現白色。這是因為其中含有大量微小顆粒，會對不同波長的可見光產生近似程度的散射，使各種顏色的光混合後進入人眼，呈現出白色的視覺效果。此外，類似的原理也應用於許多科技與工程領域，例如汽車霧燈的設計、顯示器中的背光模組，以及各類光學材料與塗層的開發，這些應用皆與光散射特性密切相關。

#### 4. 為什麼選擇使用藍光？

在可見光範圍中，藍光的波長較短，因此在與顆粒尺寸相近的條件下，通常會產生較為明顯的散射效果。選擇藍光作為光源，可以使散射現象更容易被觀察與比較，提高實驗的靈敏度與辨識度。此外，較短波長的光在膠體中的傳播路徑更容易受到影響，因此有助於凸顯不同濃度與不同介質之間的差異，使實驗結果更具對比性與分析價值。

#### 5. 為甚麼 Mie 散射不遵守 $I \propto \lambda^{-4}$ ？

粒子尺寸決定法則：瑞利散射 ( $I \propto \lambda^{-4}$ ) 適用於粒子尺寸遠小於波長的情況。當粒子尺寸接近或大於可見光波長時，Mie 散射理論適用。與波長無關的傾向：在 Mie 散射區，散射強度對波長的敏感度大幅降低，各個波長的光被散射的比例接近。這導致散射光通常呈現出白色或灰色。

#### 6. 為甚麼短波長仍易散射？

雖然 Mie 散射表現得較為「非選擇性」和「白光化」，但短波長（如藍光、紫光）在粒子表面交互作用時，通常仍有以下傾向：稍高的散射截面：當粒子半徑介於瑞利與 Mie 交界區時，短波長仍會經歷略大於長波長的散射強度。強前向散射：Mie 散射的一大特徵是粒子向前的散射能力非常強。藍紫光即使被偏折的角度不如瑞利散射大，但整體的散射行為仍比紅光更活躍，導致在強烈 Mie 散射的環境中，短波長光在前向累積後的強度依然顯著。

## 柒、結論

本研究透過不同波長藍光照射牙膏水與牛奶等樣品，觀察光在膠體中的散射與傳播現象，並嘗試找出與本實驗相關的物理原理以及其在日常生活中的應用。經由實驗觀察與數據分析後，可以歸納出以下幾點結論：

1. Mie 散射會在粒子大小與入射光波長相近或略大時發生，因此當牙膏水中的顆粒尺寸接近可見光波長時，散射現象會特別明顯。
2. 當粒子尺寸越大或膠體濃度越高時，光與粒子之間的作用機率增加，使散射強度變得更明顯，而光的穿透能力則相對降低，導致膠體看起來更亮且更白。
3. 不同波長的藍光進入牙膏水後，會產生不同程度的散射與穿透效果，顯示光波長確實會影響膠體中的光學行為。
4. 牙膏水中的細小顆粒與氣泡是造成散射差異的主要原因，這些微小粒子會使光向不同方向散射，形成明顯的光路與亮點。
5. 較長波長的青藍光（約 495 nm）具有較強的穿透能力，因此在相同條件下，光可以進入膠體較深的區域，散射現象相對較弱。
6. 較短波長的藍光（約 420 nm）散射效果最明顯，進入膠體後較容易被粒子散射，使光線向各方向擴散，因此亮度較高且光路較容易被觀察到。
7. 牙膏水屬於微米級顆粒所形成的膠體系統，因此本實驗觀察到的現象主要由 Mie 散射所主導，而非瑞利散射，這也驗證了光與膠體粒子之間的交互作用關係。
8. 生活中的相關應用

本實驗結果也能幫助我們理解日常生活中的現象，例如牙膏看起來呈白色、牛奶為何不透明，以及霧氣或雲朵為何會反射與散射光線。此外，這些原理也應用在光學材料設計、顯示技術以及照明設備中。

9. 本實驗中 420 - 440 nm 之藍光產生最強散射，主要原因在於其波長與牙膏膠體中顆粒尺寸最為匹配，使尺寸參數落於高效率 Mie 散射區域，並可能產生類共振效應，進而增強散射強度。因此，此波段光呈現最明亮且最白的視覺效果。

在此實驗中我們觀察到了一個核心現象（短波藍光在 **Mie 散射** 下散射更明顯）。未來可以更進一步來進行實驗觀察與研究：

進一步的研究目標 1：

找出「粒徑 vs 波長」的關係，並完善實驗方法，用來定義出各種品牌牙膏材料的粒徑大小，此實驗方法亦可用於其他不同波段的光或其他膠體材料。若研究材料種類和光的選取波段實驗數據足夠，或許可以定義出瑞利散射與 Mie 散射的重疊過渡區域。

進一步的研究目標 2：

目前的研究僅觀察「透射光」，在之後的實驗可以加上不同角度的感測器（例如 30°、60°、90°）來觀察前向散射與側向散射的關係。

## 柒、參考文獻資料

維基百科:

[Mie 散射 - 維基百科，自由的百科全書](#)

[廷得耳效應 - 維基百科，自由的百科全書](#)

[瑞利散射 - 維基百科，自由的百科全書](#)

mie 散射:

[MIE 散射和 MIE 理論 - 台灣大昌華嘉科學儀器 - DKSH](#)