

2023 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

普高組 成果報告表單

題目名稱：散發光彩：探討膠體溶液中光的散射

一、摘要

本研究旨在探討光在膠體溶液中散射情形。在本次實驗中，我們使用容易取得的膠體溶液：牛奶。以牛奶為研究對象，使用水稀釋後控制其濃度並用手電筒照射，當光穿過物質時，會與分子產生交互作用。而當光線經過膠體溶液，由於分散在其中的顆粒大小與波長相近，因此會發生明顯的光的散射現象，甚至形成清晰可見的光通路，並在後方投影出不同的顏色，該現象的本質即是光線在較大粒子間散射。在觀察光線行進的同時，我們在另一端利用分光光度計測量光通路的可見光成分、波長等，最後再統整所得數據得證膠體濃度對散射的影響。

二、探究題目與動機

抬頭仰望，每天下午天色漸漸由清澈的淺藍化作濃厚的紅橙色，究竟為什麼天空的色彩會如此千變萬化呢？說到天空，我們想到了以前國中理化老師曾經展示一張圖片，圖中太陽光從雲朵的空隙中穿過，形成明顯的光通路，此即知名的廷得耳效應(Tyndall effect)。經過資料查找，我們發現不論是廷得耳效應還是天空的顏色都與散射有著千絲萬縷的關係。於是我們決定將牛奶滴入水中製造膠體溶液以模擬充斥著的微粒大氣，藉由光通路在溶液中的離散情形與最後投影出光色的變化，以觀察散射的情形。

三、探究目的與假設

(一)探究目的：利用分光光度計測量光線通過不同濃度的膠體溶液後之波長變化

(二)假設

剛開始進行實驗，我們發現通過膠體溶液後的白光會在裝置後的屏幕上投影出黃橙色系的光，於是我們提出以下假設：

- 1.波長短的光通過膠體溶液較容易被散射
- 2.光線通過濃度越高的膠體溶液被散射程度越高

四、探究方法與驗證步驟

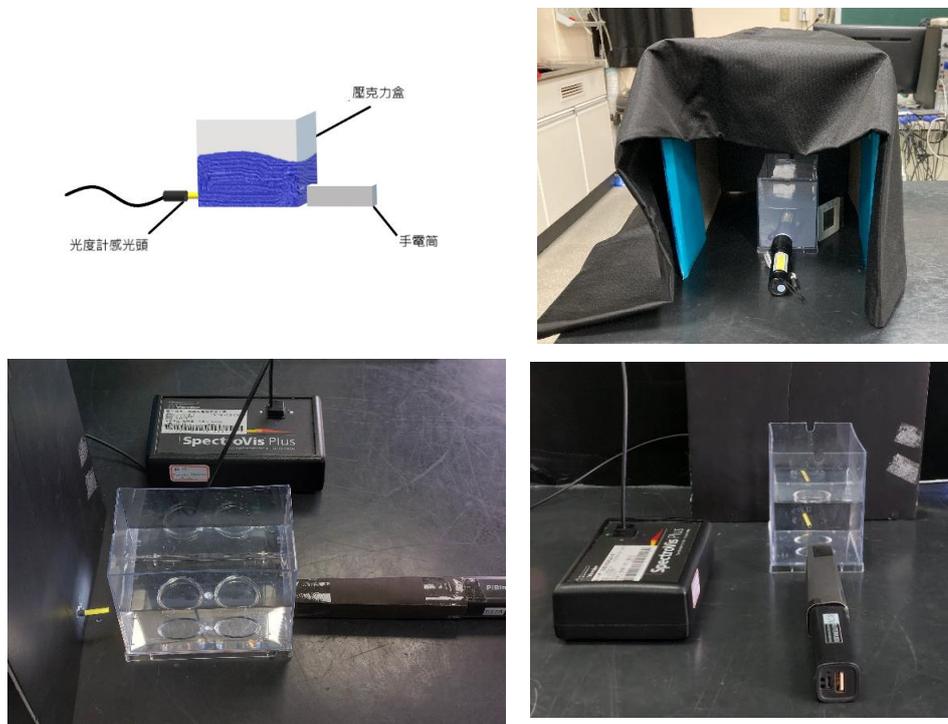
(一)實驗器材

壓克力盒、針筒、牛奶、USB 充電式手電筒、紙箱、遮光布、分光光度計、量筒、照度計

(二) 實驗裝置

裝置架設步驟:

1. 利用遮光布與紙箱製作無光干擾的環境，並將一側鑽洞固定感光器
2. 將 400mL 的水中裝入透明長方形壓克力箱
3. 開啟手電筒插上行動充電器，測量照度，並確保照度保持穩定



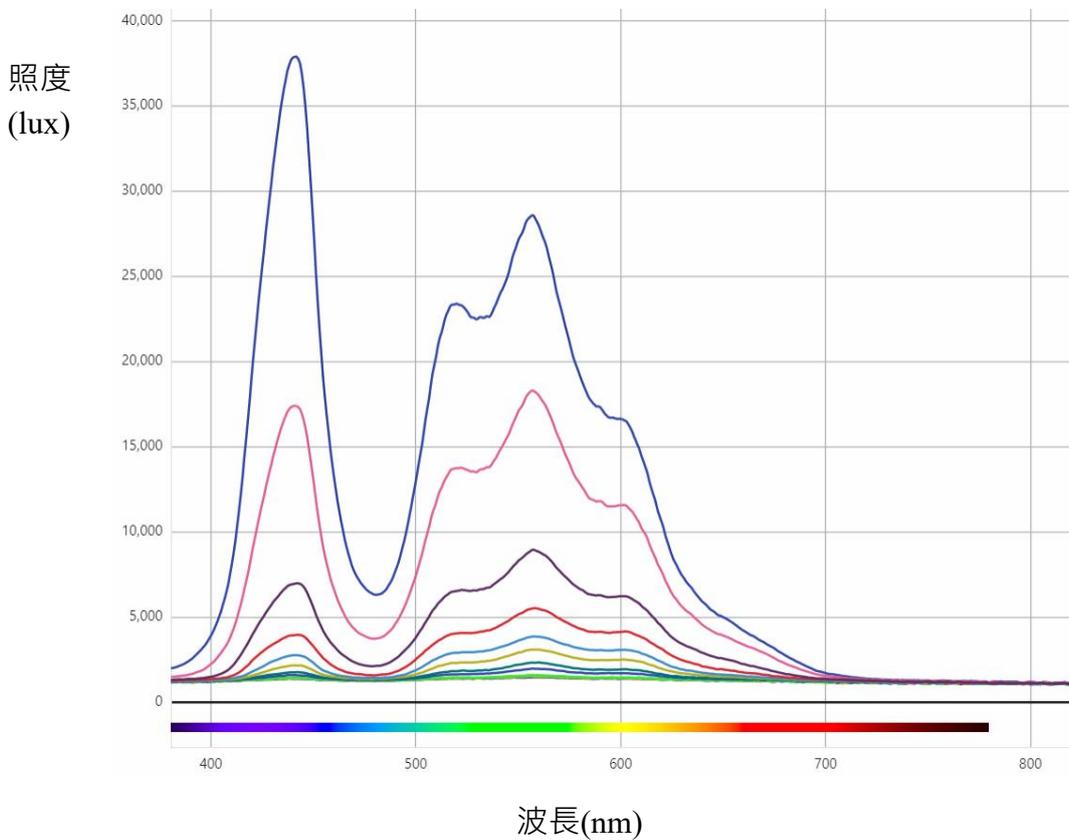
圖一 實驗裝置架設圖

(三) 實驗步驟

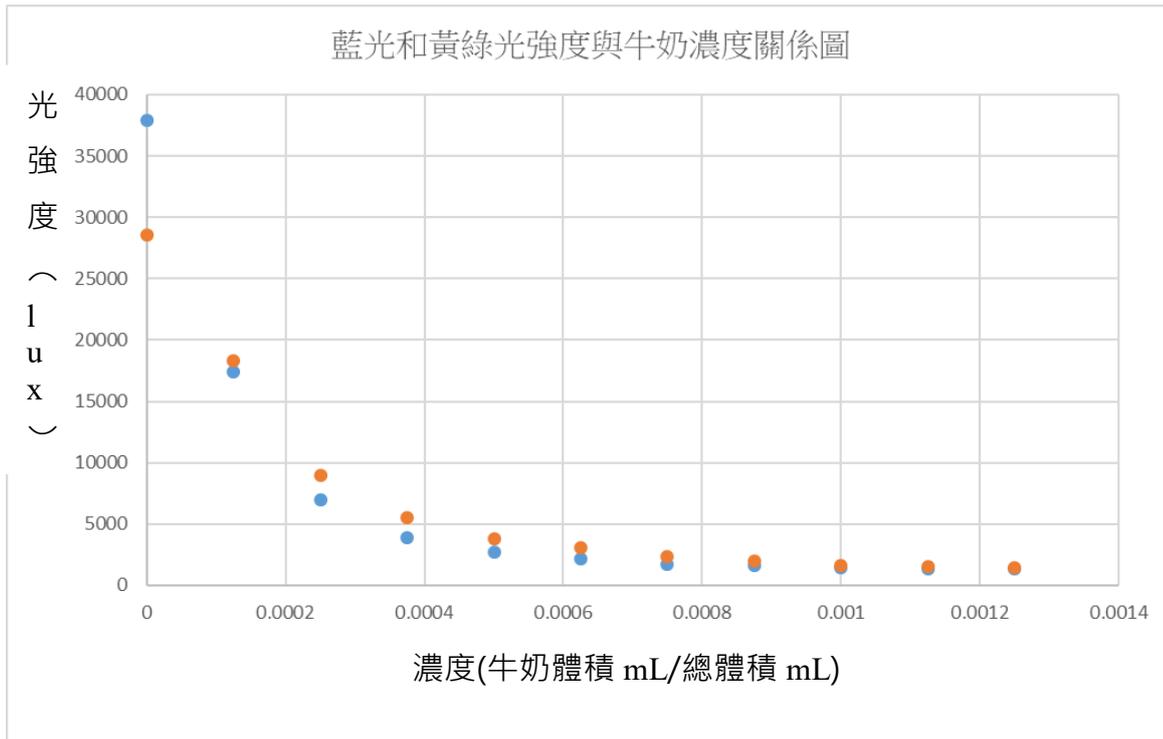
1. 在水中加入 0.05mL 的牛奶，並攪拌均勻

- 2.將手電筒固定在壓克力箱短邊後，使光通過溶液形成光通路
- 3.蓋上遮光布並開啟分光光度計測量波長與照度，紀錄數據
- 4.重複步驟 1~3，每次加入 0.05mL 牛奶測量至 0.5mL 為止
- 5.上述實驗重複 3 次，並取每個頻率的照度平均為該頻率的光強度，繪製成不同牛奶濃度下各色光的照度曲線

(四)實驗結果與討論



圖二 400 毫升水中滴入不同體積牛奶後光通過形成的光譜變化
(最上面之曲線為未滴入牛奶，往下依次增加 0.05 毫升，最下面的為 0.5 毫升)



圖三 光穿越不同濃度的膠體溶液(牛奶)時黃綠光與藍光的強度變化
(波長取藍光和黃綠光的最高峰，藍光 440.8nm，黃綠光 556.8nm)

由圖二可知，當濃度上升時，通過的光照度明顯下降，而由橫軸可發現波長數值在 450nm 和 550nm 附近時光強度隨濃度下降情形最明顯，相當於藍光和黃綠光強度值下降。又因為藍光(短波長)與黃綠光(中波長)的變化最明顯，於是我們將它們獨立出來討論(如圖三)，發現在尚未添加牛奶時，光通過純水照射在紙屏上的藍光強度明顯高於黃綠光；但加入牛奶後黃綠光照度卻高於藍光，顯示藍光強度下降幅度較大。

(五)討論

1. 為何穿過牛奶後，投影出的光多屬於黃橙色系？

我們在進行實驗之後查詢了為什麼特定光色會被區別投影，最後發現這與雷利散射 (Rayleigh scattering) 有關，這種散射現象是由比電磁波的波長還小的微粒將波吸收和再發射現象所引起的，因此它也被稱為彈性散射。這種散射現象在充滿著微粒的大氣中最為常見。依照這個觀念來推導，天空之所以是藍色的是因為其他色光穿透了大氣，而藍光容易被空氣中的懸浮微粒散射開的緣故。

2. 為什麼短波長的光較易被散射？

包含雷利散射的散射現象前提都是光行進中被粒子撞擊而改變方向，因此當粒子越大，或光的波長越小，相互作用的機會更高。這是因為短波長的光的波長比介質中的微粒小，因此短波長的光更容易與微粒相互作用。

3.為何黃綠光強度雖然超過藍光，但隨著濃度的增加卻與藍光強度的差距卻越來越小？

由圖三可發現，隨著牛奶越加越多，黃綠光與藍光強度的差距越來越小。我們認為是光的散射程度有一臨界值，當牛奶濃度逐漸提高，藍光慢慢接近其散射臨界值，因此散射程度雖仍持續增加，但變化趨緩，而黃綠光則離它的臨界值較遠，因此散射程度持續快速增加，照度減少速率較藍光快，因此兩者越來越接近。由上可知，我們的假設依然正確，只是因為在一定的狀況下散射情形有趨緩的趨勢。

4.本實驗想探討天空顏色，空氣與實驗器材「牛奶」有何異同？

雖然空氣和牛奶皆屬於膠體溶液，但兩者的粒子大小相差甚大。空氣分子大小遠小於光波長，約為數埃(10^{-10}m)，然而牛奶主要成分的直徑較大，其中乳清蛋白、酪蛋白分別為 2nm 、 15nm ，乳脂球直徑則達 $0.1\sim 10\mu\text{m}$ 。因此光通過牛奶後被散射的程度會高於通過空氣，期待未來能更精確的修正粒子直徑造成的差異來模擬光在空氣中的散射。

五、結論與生活應用

(一)結論

透過實驗與討論，我們歸納出以下結論：

- 1.短波光較長波光容易被散射
- 2.膠體溶液濃度增加會造成的色光照度減少，但其幅度有著一定限度，當接近此極限時，照度減少幅度會漸趨和緩

(二)生活應用

散射雖然看似複雜，但經過一連串的探究，我們確定了透過觀察散射後的光譜峰值變化與光線離散情形，可推測溶劑中的膠體濃度，因此我們得出以下應用方式：

- 1.透過檢測光的散射程度來判斷空氣品質的好壞。
- 2.和第一點原理相似，這種現象也能用來測定水體中懸浮微粒的大小與濃度，進一步監測水質，可得知附近是否有排放廢水的狀況。
- 3.光不僅在微觀世界中散射，在天文學中，光的散射現象也可以用來研究星系的分布和結構，了解宇宙的演化歷程。

六、參考資料

(一)英文文獻

1. Britannica. *Rayleigh scattering*. <https://www.britannica.com/science/Rayleigh-scattering>
2. Dahm, D. J. (2013). Explaining some light scattering properties of milk using representative layer theory. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 21(5), 323-339.
3. Gell-Mann, M., & Goldberger, M. L. (1953). The formal theory of scattering. *Physical Review*, 91(2), 398.
4. Steven S. Zumdahl, & Susan A. Zumdahl. (2007). *Chemistry 7th edition*. Houghton Mifflin Company
5. Strawbridge, K. B., Ray, E., Hallett, F. R., Tosh, S. M., & Dalgleish, D. G. (1995). Measurement of particle size distributions in milk homogenized by a microfluidizer: Estimation of populations of particles with radii less than 100 nm. *Journal of Colloid and Interface Science*, 171(2), 392-398.

(二)中文文獻

1. 中央研究院(無日期)。米氏散射。2022年3月25日。取自網址
<https://idv.sinica.edu.tw/cytseng/lecture/Miescattering/Mie.pdf>