

天空的顏色

天空呈現的顏色主要是陽光通過大氣層產生不同的反應，而呈現不同的顏色。所以先介紹大氣的組成、光的波長和顏色、光碰到物體後的特性：

一. 大氣的組成：

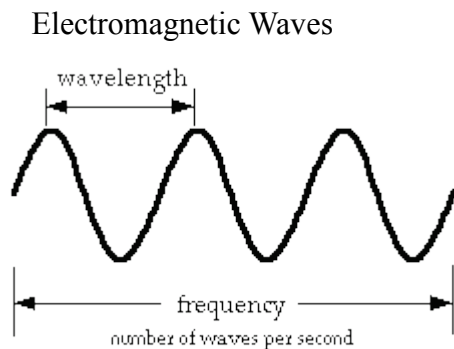
在地球表面，大氣是由許多氣體和其他物質所組成。大部份的氣體是氮氣(78%)和氧氣(21%)，其次是氫氣和水，還有許多少量的氣體和微小粒子，如塵埃、煤灰、花粉和來自海洋的鹽。

不同的大氣層組成會因所在的地點、天氣等而有不同。如暴雨後或海邊，水份的含量較高；火山爆發後塵埃會較濃；空氣汙染則會多了不同的氣體、塵埃和煤灰。

大氣在愈靠近地表密度愈高，離地面高度愈高漸漸稀薄，到了外太空就沒有了。

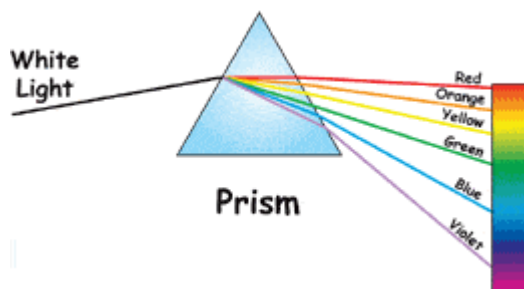
二. 光波

光是一種能量以波的形式輻射或行進。許多不同種類的能量以波的形式行進，如聲音是震動空氣的波，而光則是震動電磁場的波。牛頓利用稜鏡所分離出來的可視光譜只佔了所有電磁光譜的一小部分，可視光譜的區域是介於紅外線與紫外線之間，波長約為 400nm (紫色) 到 700nm (紅色) 之間。輻射能量大小取決於波長和頻率，波長愈長的光，頻率愈低，所含能量愈少。



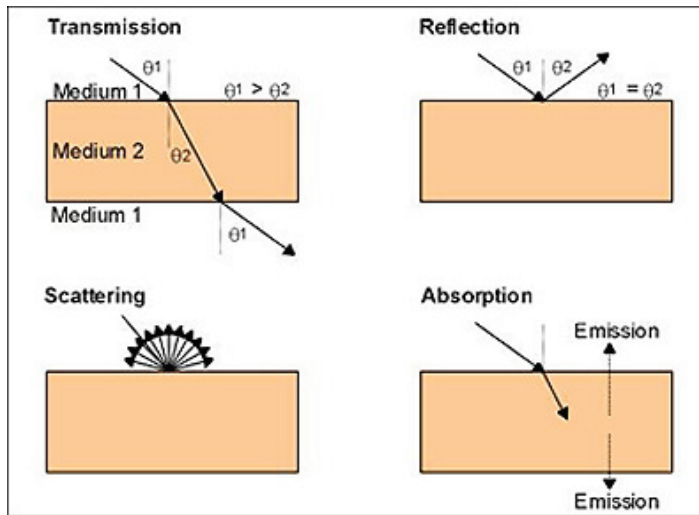
三. 光的顏色

我們所見的日光或燈光是白色的，實際上是由 7 種顏色：紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫所組成，我們可由光通過稜鏡看出來，就像彩虹一樣。不同顏色的光，波長、頻率和能量是不同的。紫光是可見光中波長最短的，頻率最高，所含能量也最高。紅光則是波長最長，頻率最低，能量也最低的可見光。



四. 光的特性：光是直線前進，碰到物體或不同介面會有下列特性：反射、折射、散射和吸收。光

當光線進入不同的介質時，行進的速率會因而改變。光線在兩物質的介面上會發生部份光線被反射，部分光線折射。除此之外，當遇到與波長接近或更小的顆粒時，會有部份被物質所吸收或是形成散射。



從大氣層大部份是氣體和微小粒子，所以天空的顏色是因為光的散射結果。

五. 散射: 與天空的顏色有關的散射有二種:

雷利散射: 適用於粒子小於波長十分之一的情形，如大氣中的氮氣。

米氏散射: 適用於粒子較大的情形，如大氣中的懸浮粒子和水滴，或是較多分子聚集時。

(一) 雷利散射 (Rayleigh Scattering)

廷得耳最早提出光的散射理論，說明天空是藍色的，為廷得耳效應 (Tyndall Effect)。後來的雷利做了更深入的研究，並導出公式來說明光的散射。光線是依直線前進，當光遇到空氣中的塵粒和水滴這些比可見光波長還大的分子，光會產生反射或彈向不同的方向。而空氣分子比可見光波長還小，光碰到空氣分子被吸收後，再從不同方向被散射出來。所有顏色的光都可被吸收，但高頻的光如藍色比低頻的光如紅色更容易被吸收。

雷利散射主要適用於**粒子小於波長的十分之一**的情形，例如大氣 78% 的氮氣 (N₂) 的半徑為 0.15nm，遠小於可見光的波長，就會發生雷利散射。雷利散射的散射光強度(I)可表示為：

$$I = I_0 \frac{1 + \cos^2 \theta}{2R^2} \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^4 \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right)^2 \left(\frac{d}{2} \right)^6$$

I: 表示散射強度

I₀: 表示入射強度

λ: 表示入射光的波長

R: 表示觀察者到粒子的距離

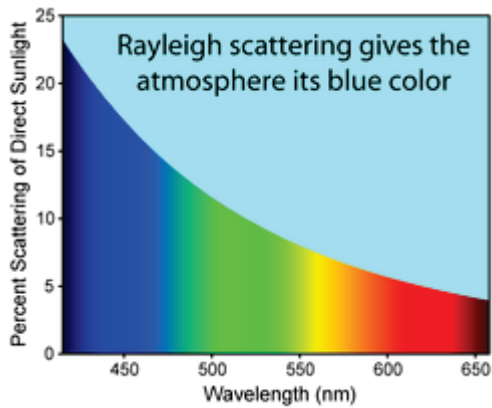
θ: 表示散射角度

n: 表示粒子所在之介質折射率

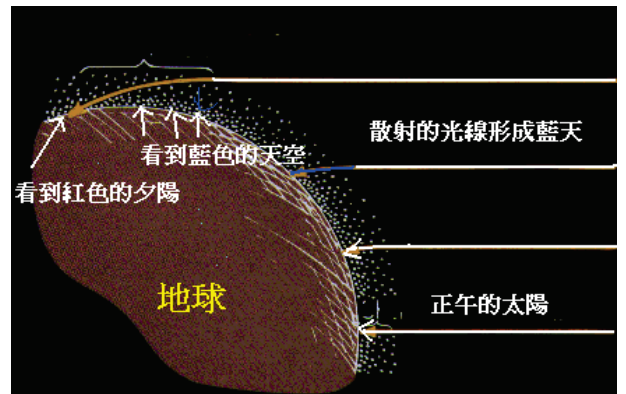
d: 表示粒子半徑

由公式可知：散射強度 (I) 與波長四次方 (λ⁴) 呈反比，雷利散射受波長影響，短波長有較大的散射程度，所以紅光的散射程度最小，藍光的散射程度較大。被散射的藍光布滿於天空，所以我們看到的天空是藍的。在日出或日落時，陽光必須通過更長的距離才能進入人的視線，紅橙色的光被散射的較

少，所以太陽附近呈現紅色。

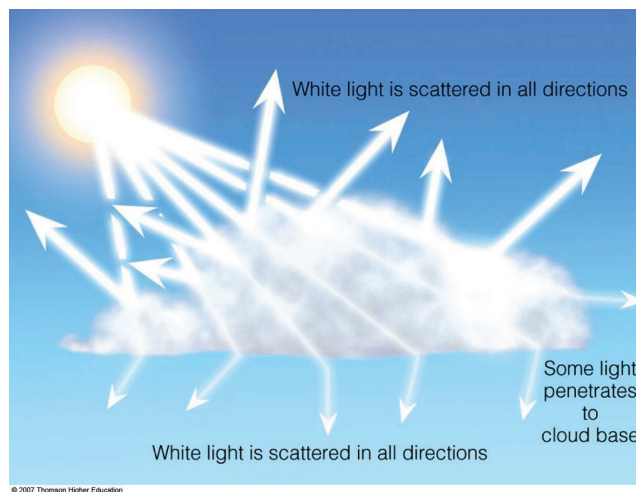


在大氣中，相對於其他光，藍光的散射光比例比較大。



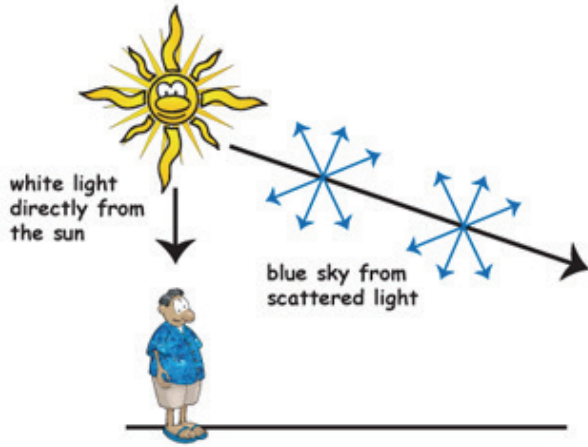
(二) 米氏散射 (Mie Scattering)

當微粒半徑的大小**接近於**或者**大於**入射光線的波長 λ 的時候，大部分的入射光線會沿著前進的方向進行散射，這種現象被稱為米式散射。這種大微粒包括灰塵，水滴，來自污染物的顆粒物質，如煙霧等等。米氏散射為粒子較大的物體對光的散射作用，粒子會均勻的散射各種光譜，而造成白色。當只有少量米式散射的時候，天空會呈現出高飽和度的藍色或者藍綠色。當米式散射大量存在與雲彩中的時候，太陽旁邊的天空看起來似乎是白熱的效果。



1. 天空為什麼是藍色的？

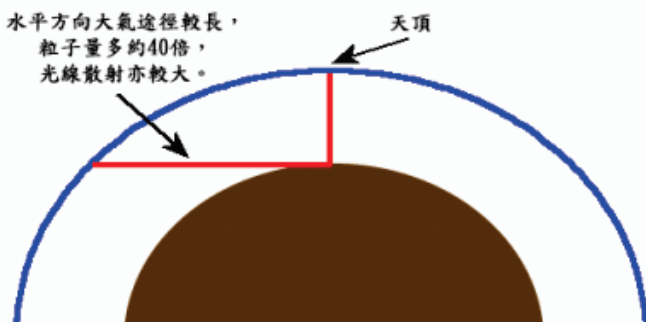
從雷利散射得知，陽光穿過大氣層，波長較長的光直接穿透，如紅、橘、黃光。大部份波長較短的光被空氣分子吸收，如藍光。被吸收的藍光向不同的方向輻射，散射到整個天空，無論從那個方向看，都會有一些藍光到達眼中，所以無論在何處看到的天空都是藍色的。紫光比藍光散射得更強，但人眼對紫光的感覺較弱，結果我們看到的天空是藍色而不是紫色。



藍色天空 (石門水庫)

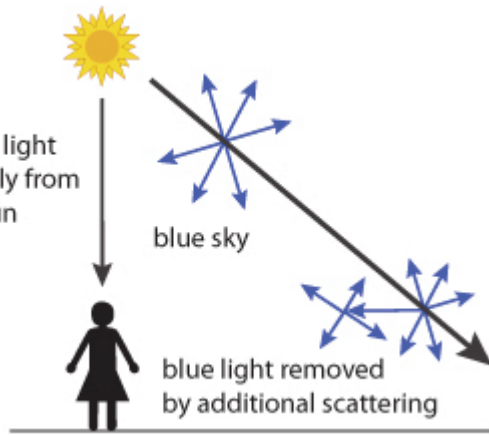
2. 為什麼整個天空的顏色並不均勻？

天空的顏色因為大氣層中的空氣分子散射而成，天空的光亮程度視乎陽光照射時遇上的分子數量(如下圖左)，分子越多天空越亮。若是空氣中的粉塵較多或雲層較厚，光線穿透較少，天空就會變得灰灰暗暗的。所以天空的顏色並不均勻。



雲使得天空的顏色並不均勻 (大湖公園)

另外，靠近地平面的天空雖是藍的，卻顯得較白呈淺藍色。因為散射的藍光必需穿過更多的空氣，有些藍光由不同的方向散射走了(如下圖左)，只有少部份的藍光到達地平面。所以接近地平面的天空較白，天空的顏色並不均勻。



低空的顏色較淺 (北海道札幌)

3. 什麼東西將陽光散射，造成白天時的藍天？

大氣層中的粒子，小粒子如空氣分子，大部份是氮氣約佔78%，其次是氧氣約21%，還有其他少量氣體。大粒子如水滴、塵埃、煤灰、花粉和來自海洋的鹽等。

4. 若散射陽光的物質大很多或小很多，你認為天空還是藍的嗎？

當粒子小於十分之波長，如空氣分子，會產生雷利散射，使得天空是藍色的。當粒子大於或等於波長時，如大氣中的懸浮粒子和水滴，就產生米氏散射，因各種光線都散射，形成白色的雲。

如果粒子大很多或小很多，超出雷利和米氏散射理論呢？我的想法是：

(1) 散射物質大很多：二種可能，一是陽光會反射，天空會變成白白的；二是陽光被吸收，天空變成暗的。

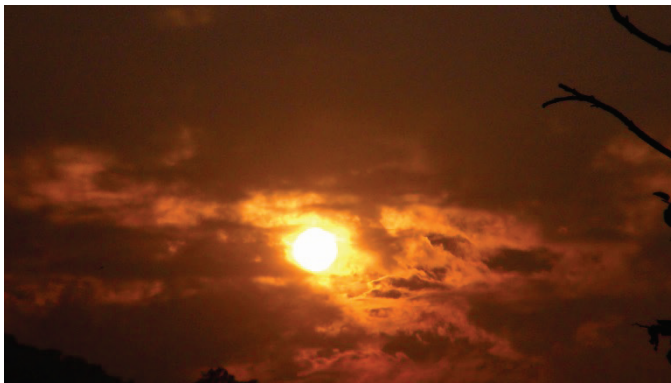
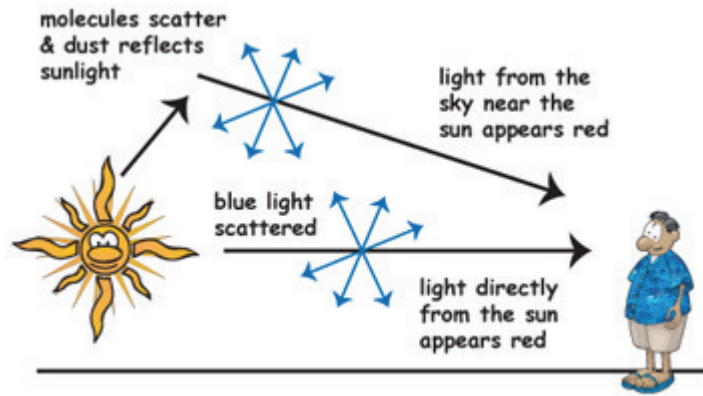
(2) 散射物質小很多：陽光直接穿透，天空是黑色的。

在這種情形下，我認為天空不會是藍色的。

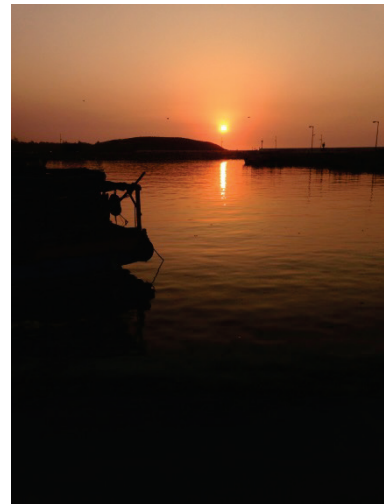
5. 你認為應該如何解釋夕陽霞光時，天空的多變色彩(落日可能是火紅的，但天空可不只有紅光)？

日落時太陽接近地平面，光線要穿過較厚的大氣層才會到達我們的眼睛，大部份光線被反射和散射，只剩少量光線，這時太陽顯得比較不亮，太陽的顏色變成橘色再變成紅色。因為短波長的藍光和綠光已經被散射光了，只剩下長波長的光達到我們的眼睛。

日落時的天空變得絢麗多彩，空氣中有許多塵埃或水將光線全方位的反射，一些光線直接到達我們的眼睛，還有些短波長的光被散射。我們看到的是長波長的光將天空變成紅色，粉紅色、橘色或黃色。



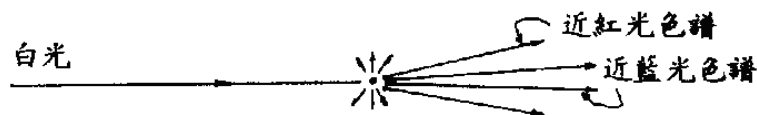
夕陽 (南投頭社)



夕陽 (竹南龍鳳漁港)

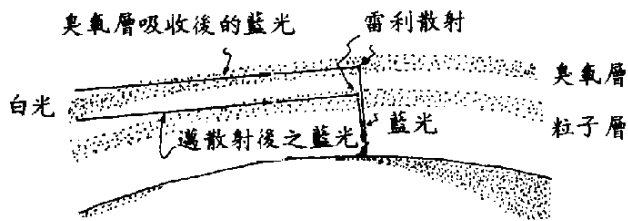
6. 日落時，天頂(觀測者正上方的天空)轉成深藍色的，為什麼？天頂為何不像落日本身是紅色的？那麼為何在日落之後，天頂的顏色會更藍呢？

因為米氏散射(科學月刊譯成邁散射, Mie Scattering)，說明直徑大小比光波長大的粒子(大於0.1微米)散射，其實是一種簡單的繞射，它把大部分的光都散射到前方一個極窄的圓錐內，而近藍光色譜位於圓錐中心處，近紅光色譜位於圓錐外圍。所以嚴格講起來，邁散射在向前方向上，把光散射成近藍光色譜了(如下圖)。

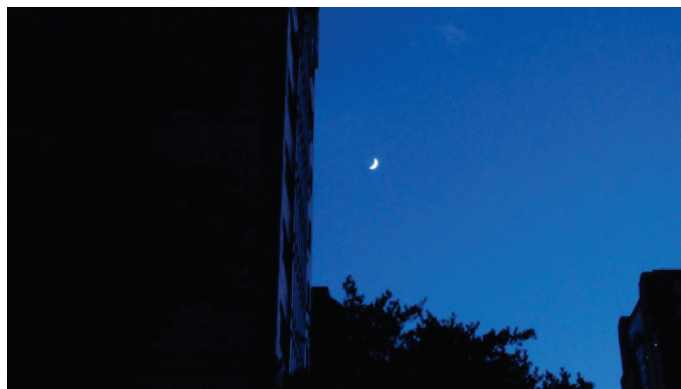


圖九：邁散射機制。

下圖左是黃昏時候的天頂，陽光在較高處(大約25公里)因為臭氧層吸收近紅光色譜，而變得較藍，當近藍光色譜到達你的正上方時，又因雷利散射把更藍的光散射給你；較低處的陽光會碰到顆粒較大的灰粒發生米氏散射(邁散射)，使光較藍；這個光到達你上方時又發生雷利散射，而把更藍的光散射給你。就這樣許多非常藍的光加起來，使得天頂顯得比白天更藍了。



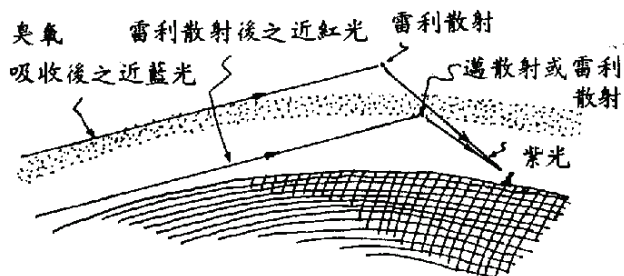
圖十：在日落之時，天頂的天色比平時更加藍。



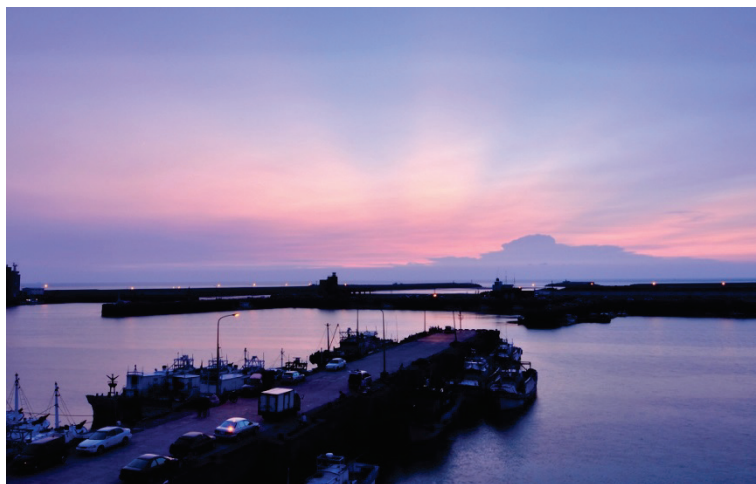
約下午6:30, 天空是深藍色 (台北市)

7. 太陽西沉後，在西邊的天空會什麼會出現紫光(約在日沒15-40分鐘左右，甚至接近粉紅色)?

日落 10 分鐘後，在西方離天頂 30~70 度的天空出現的紫帶。如下圖，上層的陽光經過地表上方 16~20 公里的臭氧層，經過的距離相當長，且空氣分子密度較疏，雷利散射不是很重要，所以出來的光是非常藍的；下層陽光經過更長的一段大氣層，而且空氣分子密度十分大，所以雷利散射十分重要，出來的光相當紅，當它碰到臭氧層下方時，可能碰到顆粒較大的粒子而行米氏散射(邁散射)，散射出更紅的光，也可能碰到顆粒小的空氣分子而行雷利散射，散射出沒有那麼紅的光，接近粉紅色。如此，上層的純藍光和下層的純紅光就混合成所看到的紫光了。



圖十二：日落後的紫光是高處的純藍光和低處的純紅光混合成的。

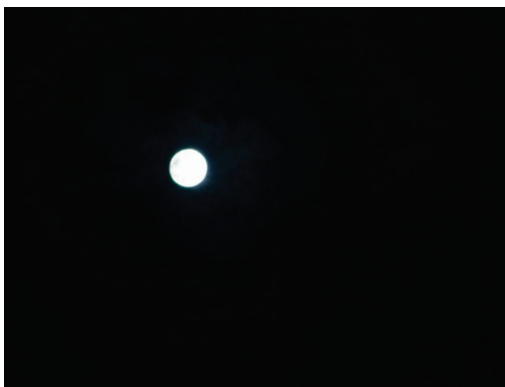


紫色天空 (新竹南寮漁港)

8. 滿月時的夜晚，天空為什麼不是藍色的?

月光是從月球照射到地球的光線，但是這些光線並非發源於月球，而是來自太陽。月球只是將照射在表面的部分陽光散射回太空。月光的照度取決於月相周期變化，但即使是滿月也只提供了微弱的0.2勒克斯 (lux) 照度，所以滿月也僅有太陽照度的50萬分之一。

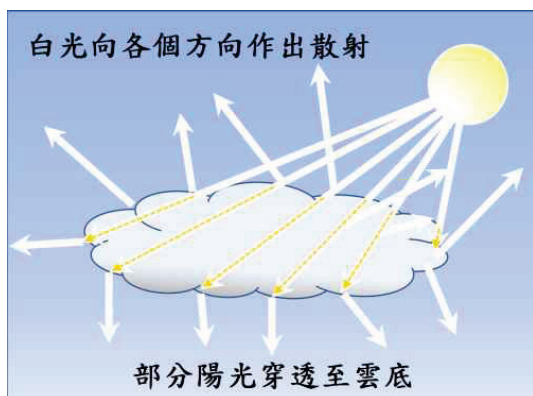
夜晚的天空除了月光和星光，大部份是暗的。滿月時的月光照度只有太陽的50萬分之一，即使在穿過大氣層產生雷利散射，因散射的藍光太少，無法形成藍色的天空，所以大部份的天空仍然是暗的。



今年中秋節月亮 (苗栗通霄)

9. 為什麼雲大多是白色的？他們為什麼不像天空是藍色的？為什麼雷雨雲的顏色那麼深呢

不下雨的雲主要由雲滴（小水滴）所組成，雲滴比空氣分子大許多，雲滴散射出各種光譜，向四面八方散射的各種顏色的光，加在一起就成了白色。而再大一點的雲滴或水滴已經足夠構成反射的條件，白色的陽光被反射出去後當然是白色的。這就是米氏散射!



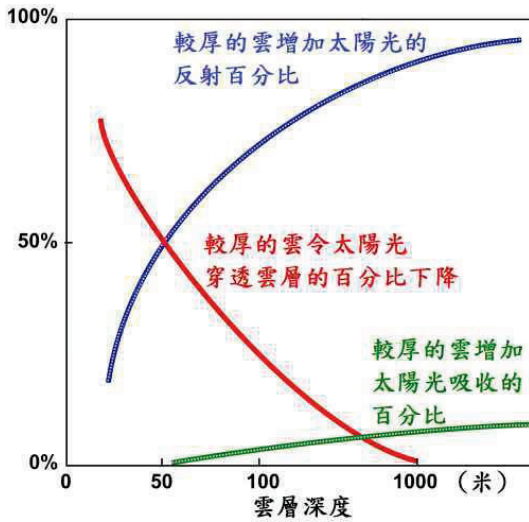
米氏散射



白雲(北海道富良野)

空氣分子較小，太陽光以「雷利散射」方式在大氣層散射，其中藍光（波長較短的光）易被散射，形成藍色的天空。而在雲中水滴或冰晶（大於或等於 $10\mu\text{m}$ ），卻遠遠大於可見光的波長，以「米氏散射」方式散射。所有可見光受這些粒子的散射程度是一樣的，形成白光，我們看到的雲就是白色的。

當雲越來越厚，更多的陽光被反射，愈來愈少的陽光可以穿透它(如下圖左)。很少陽光到達雲底，在雲底的散射亦較少，所以雲底呈灰色。如果雲底附近的水滴越來越大，它們會變成較弱的散射體和較強的吸收體。大部分陽光經過反射或吸收後才能到達帶雨厚雲的雲底。從雲底到達地面的光大為減少，所以在下雨前雲看起來是又灰又暗的。



烏雲密布 (日月潭)

10. 有人說，在鄉間會覺得陰天的天空顏色會隨季節而變化，夏天的陰天天空比冬天更綠，你認為天空為什麼會有這種變化呢？天空顏色真的有改變嗎？

陰天是指天空中，中、低雲層總量大於95%時的氣象，雲層通常呈灰色或黑色。夏天的陰天，氣溫比冬天高，水蒸氣不斷上升到雲裡面，變成烏雲，可以推論夏天陰天的雲層比冬天陰天含有更多的水分子。在鄉村，綠色植物很多，夏天更是綠意盎然。冬天時農田休耕，有些樹木葉子掉光，變得光禿禿的，有些植物葉子變黃，跟夏天比起來，綠色少多了。我們看到綠色，是物體將其他可見光吸收，只反射綠光。夏天陰天，陽光照射到植物，綠光反射到雲層，碰到水分子再散射出來，使得夏天陰天的天空變得比冬天陰天的天空更綠。我想綠光量不是很多，所以這種現象不是很明顯。

天空的顏色還是藍色，在陰天時因為雲的關係，使得天空變得灰灰的，其實天空的顏色並沒有改變。

11. 你知道嗎，火星的天空只有在地平線附近幾度是藍色的，在上面就黑色的，為什麼？

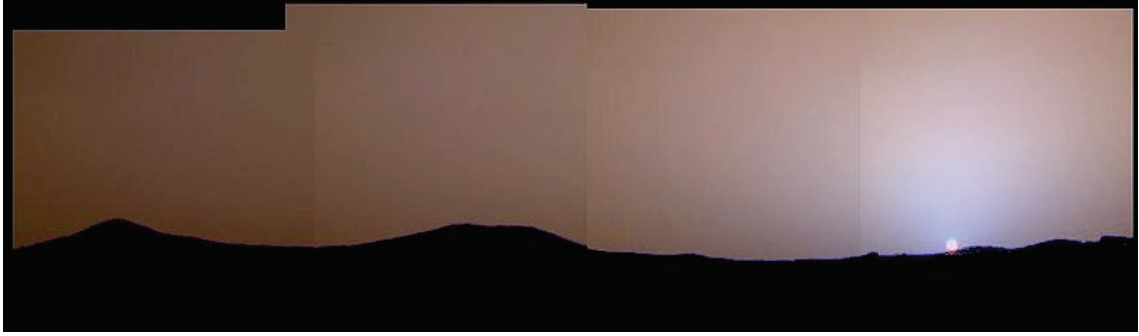
火星大氣層很薄，成分為95%的二氧化碳，3%的氮氣，1.6%氫氣，很少的氧氣、水氣、一氧化碳、氖、氬和氙等，亦充滿著很多塵埃，使天空呈現黃褐色。



海盜1號登陸器所攝地景，火星的天空是黃褐色

當火星沒有塵暴時，就會和地球一樣，光線穿過大氣分子（在火星主要為二氧化碳）的雷利散射而呈現藍色天空，因大氣很稀薄，高空會呈現暗藍色或黑色，只有在靠近地平線，大氣濃度較大時才會是

藍色的。



火星探路者號所拍的火星日落時呈現褐色的昏暗天空，夕陽周圍是淡藍色

參考資料：

1. Why is the sky blue? http://www.sciencemadesimple.com/sky_blue.html
2. NASA <http://spaceplace.nasa.gov/blue-sky/en/>
3. 科學月刊 <http://210.60.224.4/ct/content/1989/00040232/0012.htm#天空的景象>
4. 維基百科-雷利散射 <http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%91%9E%E5%88%A9%E6%95%A3%E5%B0%84>
5. 維基百科-米氏散射 <http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%B1%B3%E6%B0%8F%E6%95%A3%E5%B0%84>
6. 海跟天空的顏色 <http://www.shs.edu.tw/works/essay/2006/10/2006103021133071.pdf>
7. Light, Color, and Atmospheric Optics http://apollo.lsc.vsc.edu/classes/met130/notes/chapter19/mie_scatt.html
8. 奔跑吧! 光 <http://www.shs.edu.tw/works/essay/2012/04/2012040315301774.pdf>
9. 藍天與夕陽 <http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/html.php?html=optics/sky>
10. 藍天 http://www.hko.gov.hk/education/edu06nature/ele_sky_c.htm#q3
11. 大氣的光象與幻象 www2.cma.edu.tw/u_edu/dep_physics/course/Meteorology_Army/ppt/ch5.ppt
12. 雲的色彩 http://www.weather.gov.hk/education/edu06nature/ele_cloudcolours_c.htm
13. 維基百科-月光 <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%9C%88%E5%85%89>
14. 維基百科-陰天 <http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%99%B0%E5%A4%A9>
15. 光與顏色 web.cjhh.tc.edu.tw/teach_data/browse.php?dataid=970
16. 維基百科-火星大氣層
<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%81%AB%E6%98%9F%E5%A4%A7%E6%B0%A3%E5%B1%A4>