



魔幻時刻-光影の魔法師

楔子 李小白登場

我是陳晨曦，大家都叫我晨曦。

自從上次清明上河圖任務歸來¹，經過同事舉薦參加 CCTV 中國詩詞大會節目錄製，當我知道這個令人雀躍的消息，馬不停蹄地趕往蘇州，過關斬將之後，我終於拿到了成人組第二名。雖不滿意，但可接受！我，不但是個故宮文物研究員，還是個古典詩詞的狂熱愛好者。

但，最近我遇到了一個小麻煩。

那就是，上個月，受邀出席大安區仁愛國小文學賞析講座的時候，一位小朋友舉手提問：杜甫《絕句》中，兩個黃鸝鳴翠柳，一行白鷺上青天。為何不是上白天抑或是紅天，而是上青天呢？也就是為何天空是藍色的？頓時，我語塞了…因為我真的不知道理由為何？身為文組的我，深感學海無涯。

會後，突然有個想法油然而生，何不寫一本有關古詩詞天氣的背後科學原理？心想真是個好主意！

這時候，我想到了一個怪人：李小白。中國浙江杭州人。中國物理光學專家，任職於北京清華大學物理所擔任高級研究員。特色是有著古典的姓名，卻是個國學新手，所以我都叫他：小白。幾年前，在某一場學術研討會相遇，性質不同的學科竟然出現交集，進而成為無話不談的好朋友。如今好友有難，小白豈能不拔刀相助？

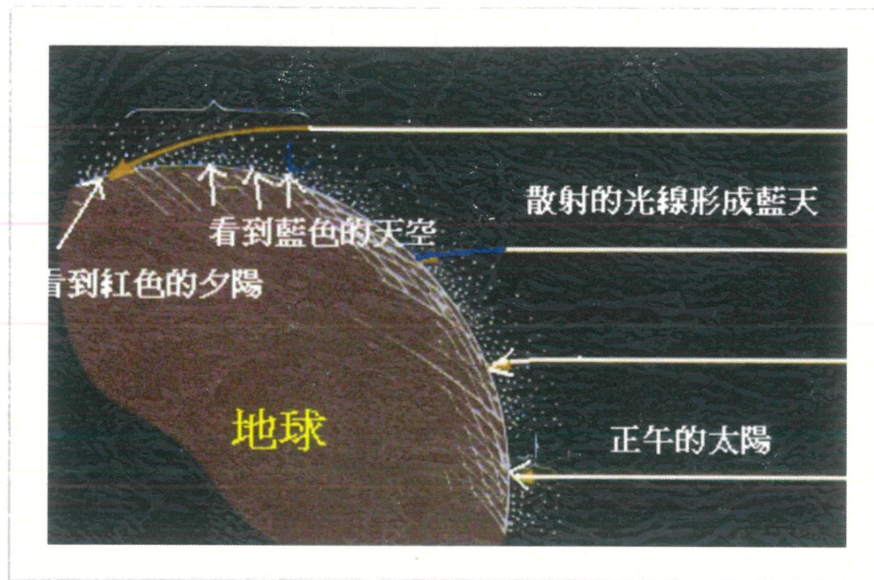
邂逅 水木清華

數日後，我趁著北京故宮出差，我倆相約在北京清華大學的牌樓之下一清華園見面，後面的建築題四字“水木清華”，兩旁有對聯：檻外山光曆春夏秋冬萬千變幻都非凡境；窗中雲影在東西南北去來澹蕩洵是仙居。清大校園依舊風光明媚，好不自在！待會見到小白的時候，定要討論一下這幾天我搜尋到的一些資料，我打算一次性的搞懂這些問題。不久，從遠方就可以看到小白一身白襯衫，標準理科男，推著粗框眼鏡緩緩走來。一番客套寒暄之後，我們就到他的實驗室喝茶。

首先，我直接提問杜甫《絕句》中提到兩個黃鸝鳴翠柳，一行白鷺上青天。天空

¹ 同為【高愛迪斯】第 51 期盛世國寶的未解之謎-清明上河圖（清院本）主角，陳晨曦。

為何是藍色的？不是白色的？太陽光不是白色的嗎？小白聽完立馬站在黑板上畫著圖。



他解釋著當太陽光經過大氣層，直接射入地球的時候，光線經過大氣（會發生「雷利散射」³，波長越短，越容易發生散射。此外，入射光的波長只要比碰到的空氣微粒半徑還要大很多時，才會產生散射。所以，幾乎所有空氣微粒，都會對可見光產生散射，可見光中的藍紫光波長最短，而我們視網膜的感光細胞對藍光比對紫光更加敏感。所以，眼睛看到的天空，「看起來」是藍色的（但，其實是藍紫色的）。這時候，一知半解的我又發問了，空氣微粒物質大小是否影響藍天？所謂的物質大小有任何標準嗎？」⁴

小白推一推眼鏡，回答說，很好的問題！這時候，我們就要提到另一個理論了，「米氏散射」⁵。米氏散射很好的解釋了雲為何是白色的？（米氏散射指出微粒半徑過大的時候，就不會出現雷利散射。也就是白雲，原本就是水蒸氣加上空氣微粒，兩者結合體積過大，導致原本的太陽白光，散射水蒸氣微粒之後還是出現原本白色，白雲就是這樣出現的。米氏散射更指出，水蒸氣過多的空氣微粒，會導致亮度變低。有人說，雷雨雲顏色為何那麼深？⁶道理就在這邊！所以，雷雨雲為何是呈現烏黑色，這也解釋了越烏黑的烏雲，造成雨勢越大！

² <https://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/html.php?html=optics/sky>

³ 雷利散射(Rayleigh scattering)，是指電磁波被一個小圓球散射，此時散射強度會與波長四次方成反比，因此在太陽光通過大氣層時，藍光的波長比較短，因此容易散射，紅光的波長比較長，因此不容易散射，這就是為什麼晴朗的天空會呈現藍色的原因。

⁴ 為什麼在晴天的白晝，天空多半呈現為藍色？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？為什麼？該物質大或小差別在哪裡？（高愛迪斯第一題）

⁵ <https://terms.naer.edu.tw/detail/1317225/&cd=3&hl=zh-TW&ct=clnk&gl=tw> 米氏散射導因於空氣中較粗的顆粒（直徑可大至數微米），如微塵、濛氣等。這些粒子的直徑比電磁波的波長僅大數倍而已。米氏散射的強度與波長成反比。遙測遠距地面時必需過濾散射才能在原始照片上看到清晰之地物。

⁶ 為什麼雲大多是白色的？為什麼雷雨雲的顏色那麼深呢？（高愛迪斯第三題）



7

這時候，讓我想起了另一首詩。落日、烏雲、白雲、下雨完全符合現在的話題。

落日矯烏雲，疾風飜白浪。
雨聲西南來，勢劇萬馬壯。

宋朝·孫介

所以，回到晨曦妳一開始的問題。

小白深飲了一口茶以後，娓娓道來。物質的大小是否影響藍天？根據米氏散射，當然會影響，影響物質的大小，就是微粒半徑小於 $1/10$ 波長時就會產生雷利散射，反之，大於 $1/10$ 波長雷利散射現象不會明顯。補充一點，大氣層厚度，也會影響天空是否為藍天？如果地球大氣層厚一點，地球天空可能就是紅橙黃色。

那麼為何，日落時天頂是深藍色？而非深紅色？⁸因為天頂的大氣經過大氣層，就開始雷利散射，整個天空呈現藍光。但，接近地面的陽光，由於天頂的藍光已經散射的差不多，到達地面時只剩下波長較長的紅光！

請問小白！我還有另一個問題，天空常常看到的顏色，晴天有時是藍白色，天空顏色不易均勻的原因⁹。為何陰晴兩天顏色都不一樣？小白一臉疑惑的樣子，半開玩笑的語氣跟我說。這不就是雷利散射跟米氏散射的綜合問題嗎？顏色不易均勻的原因，就是大氣空氣不穩定的分子導致雷利散射的程度不均勻；有些地方會出現藍紫色；有些地方出現黃橙色。陰晴兩天顏色不一，就是雷利散射跟米氏散射的原因，這個上面都有說明過。這時我感覺，一下子老了幾十歲！突然間塞進了

⁷ 2022 台東縱谷出遊圖。

⁸ 請在日落時觀測你正上方的天空，為什麼天頂會轉換成深藍色？天頂為何不像落日顯現出紅色？（高愛迪斯第五題）

⁹ 整個天空不容易呈均勻或單一顏色的可能理由為何？晴天、陰天和雨天時，天空顏色各不相同的原因是什麼？（高愛迪斯第二題）

這麼多物理常識，有點吃不消。

走在黃昏的清大校園，看著落日餘暉。讓我想到了，以前玩攝影所謂的「魔幻時刻」，(Magic Hour)也就是日出日落之際、天空出現唯美色彩的畫面。又讓我聯想到，

白日麗飛甍，參差皆可見。

餘霞散成綺，澄江靜如練。

謝朓《晚登三山還望京邑》

作者描述登高望遠京城，殘餘的晚霞鋪展開來就像彩錦，澄清的江水平靜得如同白練。到底為什麼會出現魔幻時刻？¹⁰我想到了上課時小白大師說的雷利散射、大氣分子、大氣層厚度、波長等等因素，現在我自己可以知道，上述因素們造成了落日不只有紅光、橙光還有黃光。如果，夕陽落下的時候，配合水氣、火山粒等空氣粒子變多，造成大氣藍光的「散射」效應增強，搭配上夕陽的紅光，兩者結合成較罕見的傍晚紫色天空，光影絕妙的配合搭配出魔幻時刻¹¹。✖



12

翻閱更多書籍，我發現了更多有趣的問題。例如：身處鄉間陰天的天空顏色常會隨季節而變化，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？¹³當我看到這個問題，我試著使用小白大師之前

¹⁰ 落日可能是火紅的，但天空可不只有紅光。為什麼在夕陽霞光時，天空中會有多變色彩？太陽西沉後(約在日落後 15-40 分鐘左右)，西邊的天空，為什麼會出現紫光，甚至接近粉紅色。(高愛迪斯第六題)

¹¹ <https://kknews.cc/zh-tw/other/mm66yp.html> 魔幻時刻，這是攝影用字，太陽下山後，夜晚全面降臨的交接之際，天空會有一段時間美麗的絢爛色彩，拍攝出來的照片如同夢幻仙境一般。

¹² 《La La Land》《樂來樂愛你》劇照海報。

¹³ 身處鄉間陰天的天空顏色常會隨季節而變化，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？(高愛迪斯第四題)

所教的理論來分析，首先鄉間夏天跟冬天的陰天差別主要呈現在兩個地方：一個是空氣中的溫度跟濕度，另一個是地貌不同。夏天高溫多雨濕度高，萬物欣欣向榮樹木茂盛地貌呈現綠色；冬天低溫少雨濕度低，草木皆枯地貌呈現黃褐色。我個人分析是可見光顏色波長順序為紅橙黃綠藍靛紫，鄉下汙染較小空氣微粒較小，容易產生散射，容易產生綠藍光。其次，夏天綠色植物較多，天空有可能是地貌綠色植物的反射光。加上人類眼睛對於綠色光線反應也比較敏感，對於天空出現綠色的印象也會比較深刻，其實天空的顏色沒有改變，而是人類的眼睛對於顏色的感受度不同！

慢慢地，我似乎找到了光線的原理！

再次拜訪 北京大學未名湖

許多人不知道北京大學就在清華大學隔壁。清華走過去就到了北大。打電話給小白的時候，他正在未名湖餵魚發呆，叫我過去那邊找他聊天。剛好，上次他給我一些回家作業，這真是個討教的好時機。

回家作業：從太空看地球，為什麼跟我們從地球看月亮顏色不一樣？¹⁴

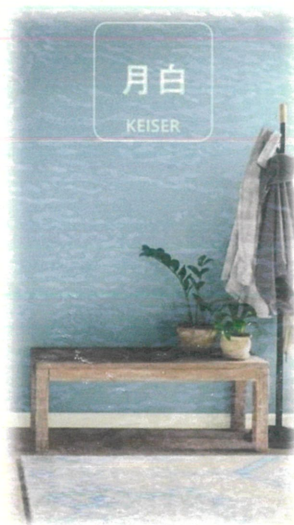


小白問我，你有看過Keroro軍曹嗎？為何主角Keroro總是稱地球人為藍星人？我天真的回答，因為地球是藍色的。地球有海洋，所以是藍色的。小白又問，為何海洋是藍色的？我突然感覺靈機一動！該不會又是雷利散射吧！孺子可教也，小白戲謔地訕笑。他又問，那天空為何是藍色的？我不加思索地回答，當然，也是因為雷利散射！

小白突然很認真地回應，妳有沒有發現地球跟月球看起來顏色是不一樣的？月亮看起來是白色的，但其實接近淡藍色。我一想到古人說的【月白】其實是淡藍色

¹⁴ 從太空看地球，為什麼跟我們從地球看月亮顏色不一樣？（高愛迪斯第八題）

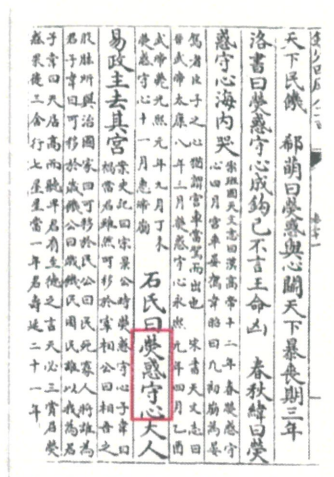
的!雖然,地球跟月球光源都是來自於太陽的白光,但為何他們呈現的顏色差距如此之大?答案就在大氣層。大氣層的空气分子(厚度)大大地影響整個星球的顏色,由於月球沒有大氣層,白光照射之下,反射出來也是白光。但地球由於有較厚的大氣層,足夠讓空氣微粒散射。所以,地球看起來是藍色,月球看起來是白色。



15

晨曦,你知道,火星的天空只有在地平線附近幾乎是藍色的,再上面就呈現黑色,為什麼?其他星球呢?¹⁵

我專業地回答道,火星古代稱其為「熒惑」,意思就是行蹤不定的亮光。

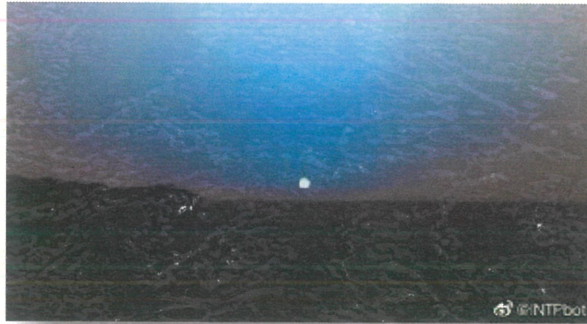


¹⁵ https://www.sohu.com/a/557724158_120201860

¹⁶ 你知道,火星的天空只有在地平線附近幾乎是藍色的,再上面就呈現黑色,為什麼?其他星球呢?(高愛迪斯第九題)

古今中外，異口同聲地認為火星是不祥之兆。

「熒惑守心」更是被認為朝代更迭的意義。為何火星的地平線幾乎是藍色的？那表示在地平線附近才開始出現雷利散射，也就是說火星的大氣層厚度非常薄，以致到了地平線才開始散射，天空幾乎為黑色！主因就是，因為沒有空氣微粒分子可供散射！其他星球也是如此原理，就像我們剛剛說到的月球顏色，也是同樣的道理！



17

這個道理似乎也可以解釋為何滿月時的夜晚，天空顏色非藍非黑？¹⁸因為滿月的時候，太陽的光線正從月亮反射過來，理論上，此時應該產生雷利散射。但由於月光為正常陽光強度的五十萬分之一，也就是光線不足。此時滿月由於光線不足，只能散射部分藍光，也就是造成月亮周圍非黑非藍的感覺。



¹⁷ <https://weibo.com/7761774859/M9XpZzlsW?type=repost>

¹⁸ 滿月時的夜晚，天空顏色非藍非黑，為什麼？（高愛迪斯第七題）

經過這幾個月的研讀，告別了李小白的盛情款待，我終於從一個理科小白，變成了光學大神！最後用我最喜歡的日本電影【魔幻時刻】的經典台詞來作為結尾吧！

高瀨:死沒有什麼可怕的，怕的是沒有尊嚴的苟延殘喘。快到魔幻時刻了啊，一天當中最美的瞬間。如果錯過此時，轉眼間，黑夜就會降臨。

村田:錯過了魔幻時刻該怎麼辦才好？

高瀨:很簡單，等待明天。等待下一個注定到來的魔幻時刻。只要太陽還在升起。現在就放棄是不是太早了？你還年青。有件事，我只告訴你，我也在等待下一個魔幻時刻。就算到了這把年紀，也沒有放棄等待。

魔幻時刻是一天之中最珍貴的時刻

魔幻時刻ザ・マジックアワー



19

最後，李小白離別時補充道，如果妳真的還是一知半解，就讓我的徒弟疾風奔來示範一下雷利散射吧！面對疾風吧！

（高愛迪斯第十題）

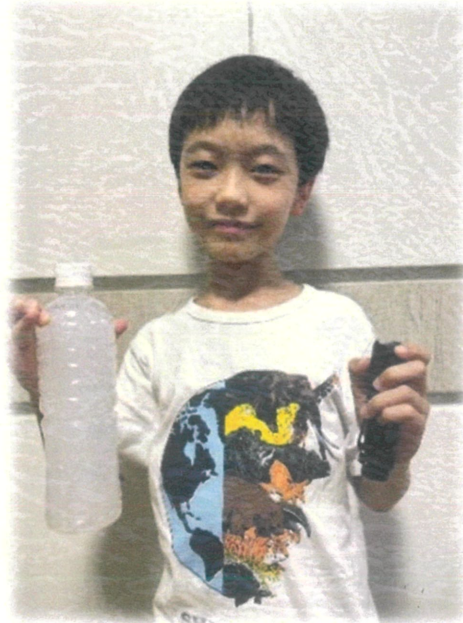
你能根據以上問題所知道的原理，設計一些實驗，操作或模擬呈現上述某些現象嗎？請寫出來。

主題：模擬雷利散射。

實驗器材：透明PET罐、牛奶數滴、清水、手電筒。

實驗過程：將清水注滿PET罐，倒入牛奶數滴，鎖緊瓶蓋，上下搖動，然後使用手電筒進行各種角度的照射。

結論：由下面圖片顯示從上而下的光源照射最能模擬出大氣層厚度對於雷利散射的影響。從側邊無論是上中下照射，由於大氣層厚度過薄，只能顯示出淡藍色。





看！我模擬出藍天夕陽紅了！



由於【空間厚度】不夠，所以無法同時模擬出藍天夕陽紅！

