

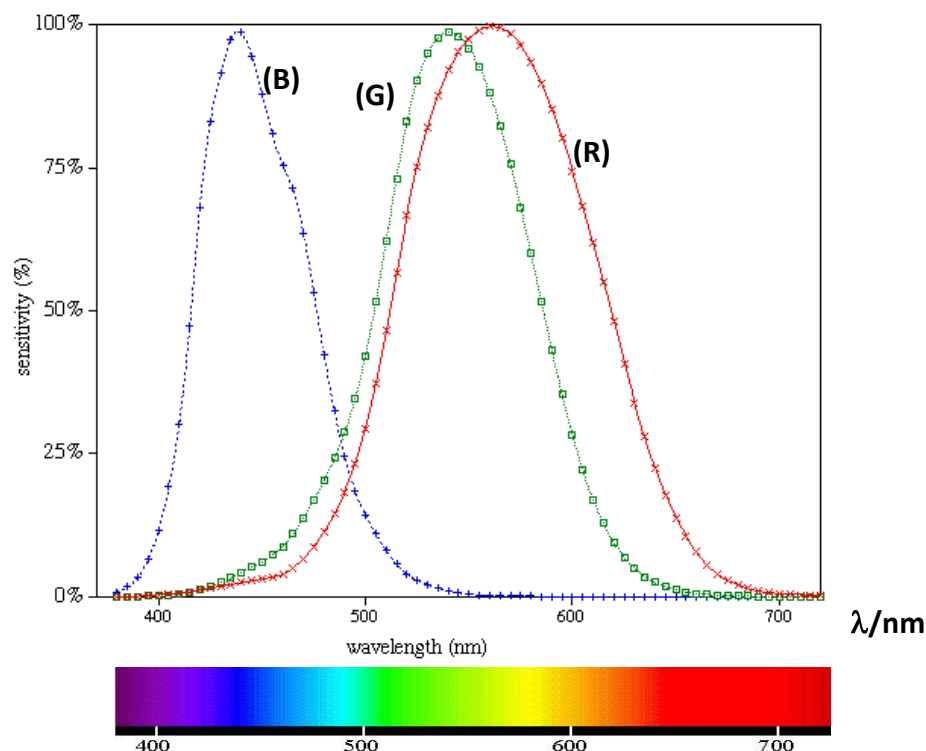
顏色



1. Purple 、violet 中文皆譯作紫色。其實兩者有沒有分別？
2. 紅光和綠光混合產生黃色。 那是否代表紅色光波($\lambda = 700 \text{ nm}$)和綠色光波($\lambda = 530 \text{ nm}$)疊加後會產生黃色光波($\lambda = 580 \text{ nm}$)？
3. 在白光之下呈紅色的物體在藍光下呈現甚麼顏色？
4. 顏料的三原色是甚麼？

人如何看到顏色？那是靠我們眼睛視網膜上的視錘細胞 (retinal cones)。視錘細胞共有三種，分別對長波長、中波長和短波長的光有最敏感反應。這三種視錘細胞常被稱為 R、G 和 B，因為一般認為分別刺激了這三種錘細胞，就令人看見顏色 Red, Green 和 Blue。但要小心一些地方：

1. 能刺激每一種視錘細胞的光均覆蓋一大段波長 (見圖一)。它們的反應區域也是互相重疊。



各種顏色光對應的波長

圖一

從圖一，我們可看到這三種錘細胞對那些波長的光最有反應(曲線峰值下的波長)。

可見，最能刺激 R 錘細胞的不是紅光，而是綠—黃光。

2. 另一誤解是以為刺激了某單一種錘細胞，我們就看見該錘細胞對應的顏色。事實不盡是，譬如光譜中 $\lambda = 550 \text{ nm}$ 是綠光，但這波長的光能激發起相約比重的 R 和 G (見圖一)。就是因為這個比重，我們才看見「綠」這顏色。

為避免誤解，R 錘細胞改稱為 L；G 錘細胞改稱為 M；B 錘細胞改稱為 S。L、M 和 S 分別代表 Long wavelength、Medium wavelength 和 Short Wavelength。

我們如何「看到」某種顏色？

就是該種顏色能刺激 L、M 和 S 視錘細胞某一特定的反應比例。因為這個反應比例，就令我們「看到」了該顏色。

一個有趣問題：

某種顏色能刺激 L、M 和 S 錘細胞某一特定反應比例。但這個反應比例又一定是該顏色光才能刺激得到嗎？

答案是「不是」。不論用甚麼方法，用一束光、二束光、.. 只要是能令 L、M 和 S 錘細胞製造相同的反應比例，那我們就感覺完全相同的顏色。

將不同顏色光混合而製造出另一些顏色光來，其實就是這道理。

例：

入射光波長 $\lambda=520\text{nm}$

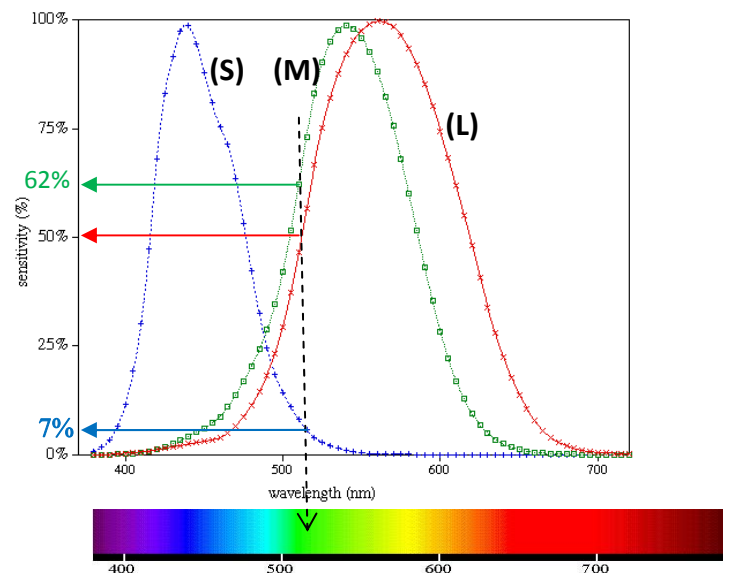
由圖一可看這波長的光可刺激 L、M 和 S 的反應分別為 50%、62% 和 7%。

大腦收到這些訊息後就令我們感覺到

「綠色」。

無論用甚麼方法，只要製造這一樣的反

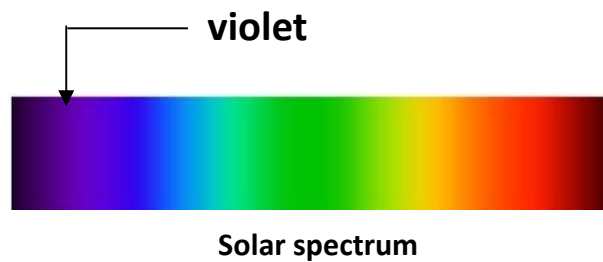
應比例，我們也一樣感覺到「綠色」。



問題 1 :

Purple 、violet 中文皆譯作紫色。其實兩者有沒有分別？

能激發 L、M 和 S 這三種視錘細胞不同反應比例，就令我們看見不同顏色。有些反應比例所對應的顏色是不存在於白光色譜 (red ,orange,yellow, green, blue, indigo, violet) 中。最顯明的例子是 棕色 (brown) 和 purple 。



Brown



Purple

Purple 是當激發了差不多相同比重的 L 和 S、但 M 又相對較少之下而產生的色彩感覺。

白光光譜中沒有這樣顏色，因為在光譜中沒有單一種波長的光可以激發如此的反應比例(見圖一)。

Violet 與 **purple** 不同，**violet** 是一種光譜顏色 (spectral colour)，是在白光光譜可找到的顏色，它的波長在 390-420 nm 之間。



violet

- **Purple** 和 **magenta** (品紅) 的色彩差不多。
purple 看起來很有紅色成份；**violet** 則沒有，很接近深藍色。
- 美術課本說把紅色和藍色顏料混合便得出紫色顏料。這個紫色是 **purple colour**.

- 一般大眾可以不分 purple 和 violet，但高考的同學就不以不分！

例：相機鏡頭的 anti-reflective coating (blooming of lens)，令鏡頭看起來甚麼顏色？

答案是 purple (因為鏡頭的 coating 令中間波長的光不反射，所以反射光只包括長波長和短波長光，其混合就是 purple)。



問題 2:

紅光和綠光混合產生黃色。那是否代表紅色光波($\lambda = 700 \text{ nm}$) 和綠色光波 ($\lambda = 530 \text{ nm}$) 疊加後會產生黃色光波 ($\lambda = 580 \text{ nm}$) ?

不是！只不過是大家有相同的顏色感覺而已。

「黃色」這感覺對應於 L 和 M 大概相同、但 S 相對少的反應比例。如何激發這樣的反應比例？

方法一：利用單一束 $\lambda = 580 \text{ nm}$ 的光射在視網膜上。

方法二：利用紅光和綠光相疊在一起。

這兩個方法都是激發了相同的錘細胞反應比例，所以「看見」的顏色一樣。

是故，光譜中 $\lambda = 580 \text{ nm}$ 光的顏色和紅光、綠光疊加在一起的顏色相同；這種顏色我們取名為「黃色」。

波長和頻率是光的屬性(attribute)，但顏色不是。顏色只不過是這些光如何刺激視網膜細胞而經大腦作用而給予我們的感覺。「顏色」不是光波自己本身擁有的東西。

問題 3：

在白光之下呈紅色的物體在藍光下呈現甚麼顏色？

一些教材給的答案是黑色。

(e.g. <http://www.physicsclassroom.com/class/light/cyuAnswers/l2eq5.cfm>

http://wiki.answers.com/Q/What_would_a_red_object_look_like_shone_onto_a_blue_light)

其解釋是這樣的：紅色的物體只容許反射紅色光。但藍光沒有紅色成份，所以在藍光照明下沒有紅光可反射，所以物體呈黑色。

但現實上，我們看見的不一定是這樣。

首先，我們要分清楚這個「藍色光」和「紅色物體」的意義。

除非用的是非常單色 (monochromatic) 光源，否則所謂「藍色光」只不過是藍色光為主，但也混雜了少部份其它波長的光。

而在白光中呈「紅色」的物體亦不過是主要反射紅光，對其它波長的光也有少許反射的。

所以，

入射光(藍光) 的成份： S 多、M 少、L 少 。

而物體只容許反射(紅光)： S 少、M 少、L 多 。

即是，

S 入射得多，但其中很少 % 被反射。

M 入射得少，但其中很少 % 被反射。

L 入射得少，但其中很大 % 被反射。

所以最後反射出來的光是 L 和 S 是不多但也差不多相若，而 M 又相對更少。這不就是「紫色 (purple)」感覺嗎？

所以「在白光之下呈紅色的物體在藍光下呈現甚麼顏色？」的答案是深暗紫色(purple)。



白光下



藍光下

若用的真的是很純的藍光。而那「紅色物體」真的只反射一個很窄的紅光波長，對其它光反射極少，那本題的答案當然是「黑色」。

5.顏料的三原色是甚麼？

光的三原色是紅、綠、藍。

顏料的三原色是

Magenta (品紅)、cyan (青色、或譯作天藍) 和 yellow (黃)，不是一些書所說的「紅、藍、黃」。

Magenta 、cyan 和 yellow 顏料可吸收和反射甚麼光？

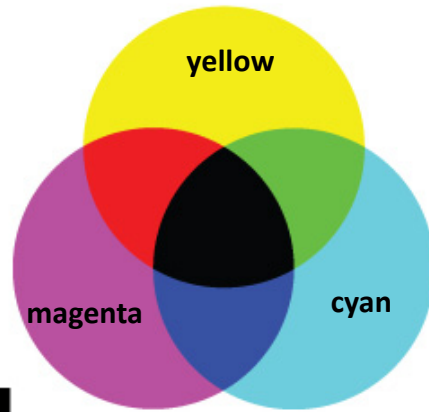
| | 紅 | 綠 | 藍 |
|-----------------------------|----|----|----|
| Magenta (紅光和藍光相加) | 反射 | 吸收 | 反射 |
| Cyan (綠光和藍光相加) | 吸收 | 反射 | 反射 |
| Yellow (紅光和綠光相加) | 反射 | 反射 | 吸收 |

Additive color mixing



光的疊加

Subtractive color mixing



顏料的疊加



(Diagrams from <http://cvrl.ioo.ucl.ac.uk>)

顏色混和而產生的顏色是利用顏色的相減法 (subtraction of colors)。

譬如，把 magenta 和 cyan 混合，不被它們吸收，能反射的只剩下藍色。

Magenta + cyan = 藍

Magenta + yellow = 紅

Cyan + yellow = 綠

有關「顏料三原色」請參看

It's Time to Teach the Correct Primary Colors, by Larry and Wendy Woolf (<http://www.sci-ed-ga.org/pdfs/Final%20Monkey%20article.pdf>)

其他參考：

1. R. Bergsten, "When is yellow yellow," *Phys Teach.*, 24, 419-420 (Oct. 1986)
2. B. Bordy, "Yellow" *Phys Teach.*, 32, 220-221 (April. 1994)
3. L. Parsons, "As Easy as R, G, B" *Phys Teach.*, 36, 347-348 (Sept. 1998)
4. L. D. Woolf, "Confusing Color Concepts Clarified" *Phys Teach.*, 37, 204-206 (April. 1999)

一項新近(2016年9月)發表的關於視錐細胞令人感覺甚麼顏色的科研報告，很值一看。這研究結果可顛覆傳統教科書的說法。

<https://www.sciencenews.org/article/color-vision-strategy-defies-textbook-picture>

本文作者：吳老師(**Chiu-king Ng**)

