

光從光密介質射向光疏介質，若入射角大於臨界角，光會全部反射回來，此現象稱為全反射(total internal reflection)。

地球的大氣密度會隨高度而減少。近地面空氣的折射率是 1.0003。出了大氣，真空的折射率是 1。把光從地面射上天空，雖然折射率由大至小連續地很輕微改變，而不是一個突變，但光都是從光密介質射向光疏介質。請探討有沒有可能在這情況下發生全內反射。

這問題很重要，因為若然發生全反射，光線射不出太空，這或會加快了地球的暖化速度。

若兩層介質平行放置，當光從  $n = 1.0003$  的一層射向  $n = 1.0$  的另一層，那就必然存在臨界角。

$$C = \sin^{-1}\left(\frac{1}{1.0003}\right) = 88.6^\circ$$

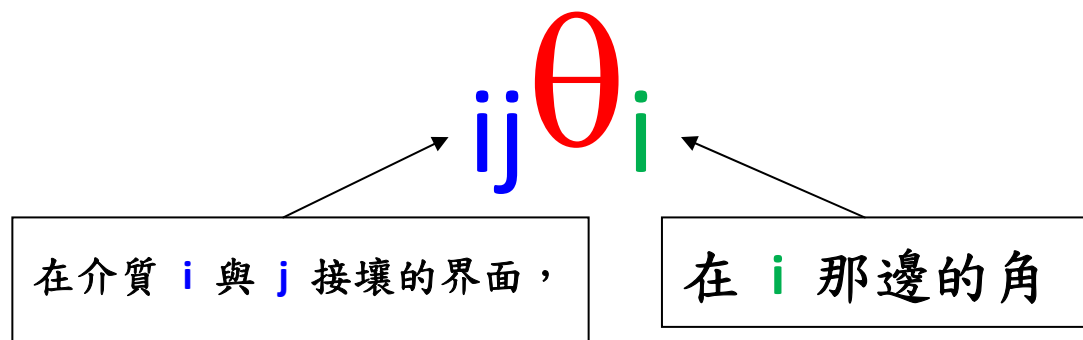
但介質是以球殼形一層層包裹，那就不一定是這情況了。

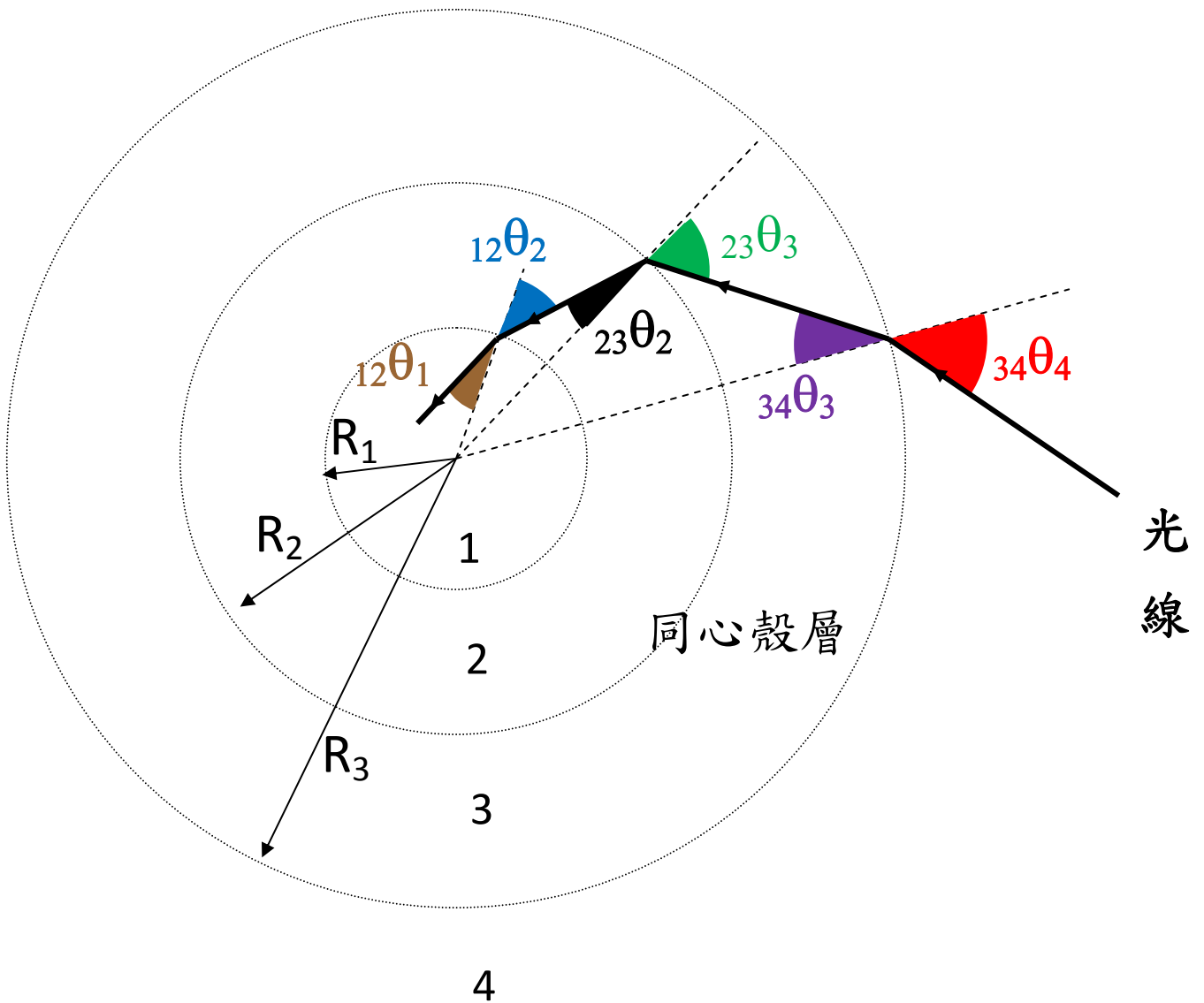
首先，請你先閱讀我的一篇短文，是推導同心球殼層介質的折射公式：

<http://ngsir.netfirms.com/Q/LW/LQ5.pdf>

該文的重點結果：

光進入各層時出現的角度以這符號表示：



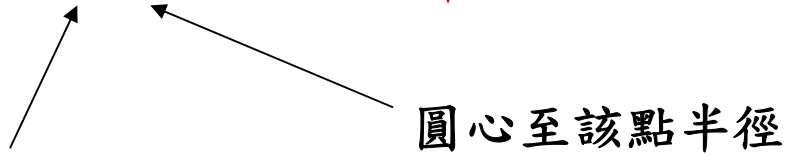


上圖所有角度可滿足

$$\begin{aligned}
 n_1 R_1 \sin_{12} \theta_1 &= n_2 R_1 \sin_{12} \theta_2 \\
 &= n_2 R_2 \sin_{23} \theta_2 = n_3 R_2 \sin_{23} \theta_3 \\
 &= n_3 R_3 \sin_{34} \theta_3 = n_4 R_3 \sin_{34} \theta_4
 \end{aligned}$$

簡單說，在任何折射點，

$$nR\sin\theta = \text{常數}$$



若  $n$  是連續變化，可視介質為多層的極薄介質片層，所以仍可運用這公式。

若兩層介質平行放置，當光從  $n = 1.0003$  的一層射向  $n = 1.0$  的另一層，那就必然存在臨界角。但把一束光由地面射上天空，那是否會發生全反射，情況就沒那麼簡單了。

因為  $nR\sin\theta = \text{常數}$ ，當光束向外走，雖然  $n$  減少，但同時  $R$  也增大了，那就終  $\theta$  是增加還是減少？

這個我們要依賴數式來計一計，才知曉答案。

若然在某高度  $h$  真的發生了全反射，那就必要在地面存在這樣的  $\theta_c$ ：

$$n_0 R_E \sin \theta_c = n(R_E + h) \sin 90^\circ$$

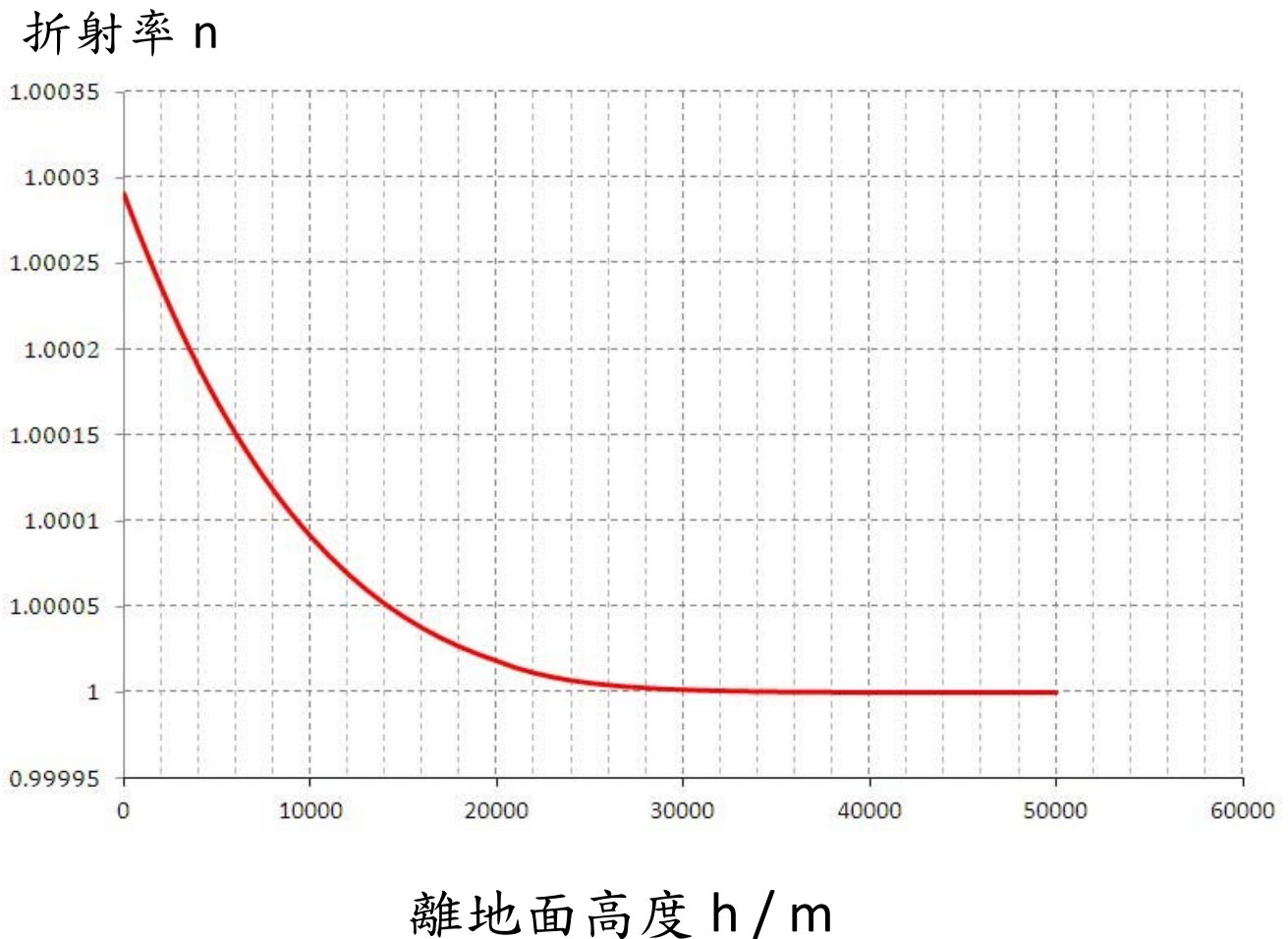
其中  $n_0$  是地面的空氣折射率、 $R_E$  是地球半徑、 $n$  是在高度  $h$  的大氣折射率。

$$\sin \theta_c = \frac{n}{n_0} \frac{R_E + h}{R_E}$$

$n/n_0 < 1$ ，但  $(R_E + h)/R_E > 1$

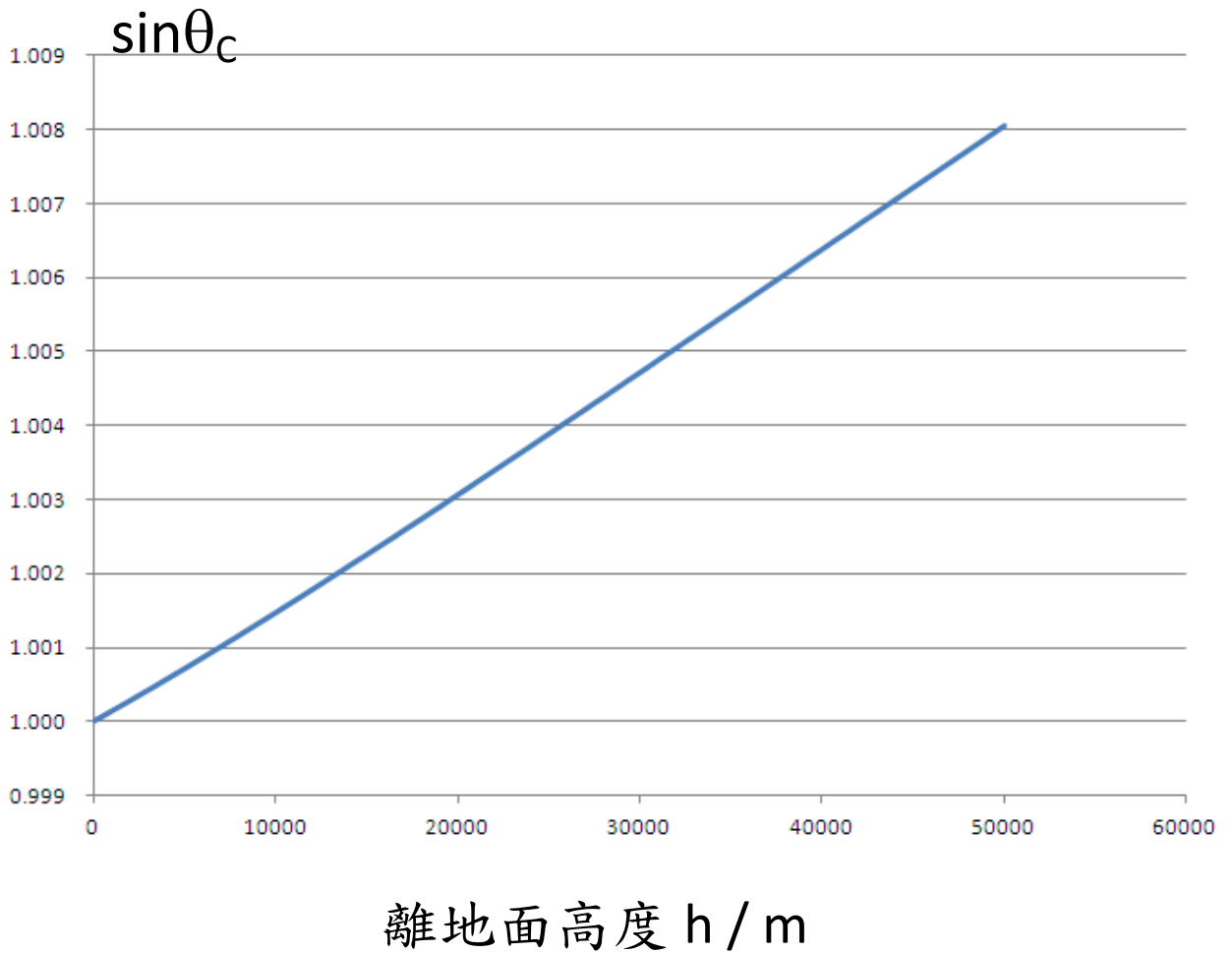
$\theta_c$  是否存在，那就視乎  $n$  如何隨  $h$  下降。  
要知道這個，就必須先掌握  $n$  隨  $h$  的變化。

下圖顯示大氣折射率  $n$  隨高度  $h$  的變化。



這變化是根據參考 1 的方法和數據而得。這變化假設了地面的溫度為  $0^{\circ}\text{C}$  和地面的大氣壓強是  $1 \text{ atm}$ 。讀者可按這裡下載上圖數據。

我們利用上圖計算  $\sin\theta_c = \frac{n}{n_0} \frac{R_E + h}{R_E}$



可見，無論  $h$  為何， $\sin\theta$  均大於 1。這說明在正常情況下的大氣，無論以甚麼角度把光射上天空，都不會存在這個  $\theta_c$ ，即是不會發生全內反射。

大氣層可以全反射嗎？

可以的，在一些極端情況下會發生。

例如

地球的表面氣溫下降至  $-200^{\circ}\text{C}$ ，假設大氣壓力仍是  $1\text{ atm}$ 。經計算，那時當光束在地面以與垂直成  $88.4^{\circ}$  發射，當光束到達高度  $5\text{ km}$  時，已發生全反射了。

參考

1. Z.Neda and S.Volkan-Kacso, Am. J. Phys. 71, 4(2003),  
P.379-385  
(<http://arxiv.org/pdf/physics/0204060v1.pdf>)

作者：吳老師(**Chiu-king Ng**)

物理勿勿理 <http://ngsir.netfirms.com>