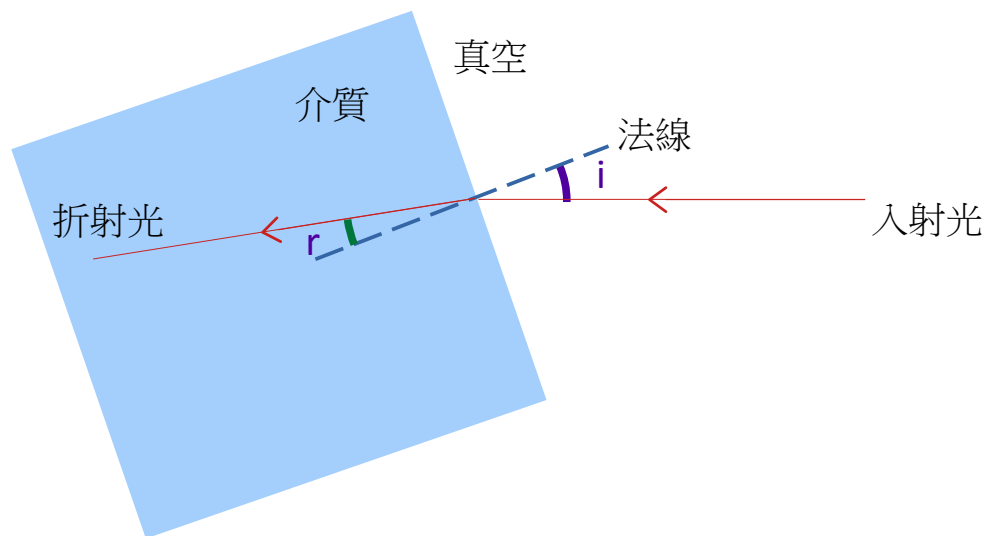


為甚麼日出和日落時太陽是扁的？



(網上圖片)

## 光的折射

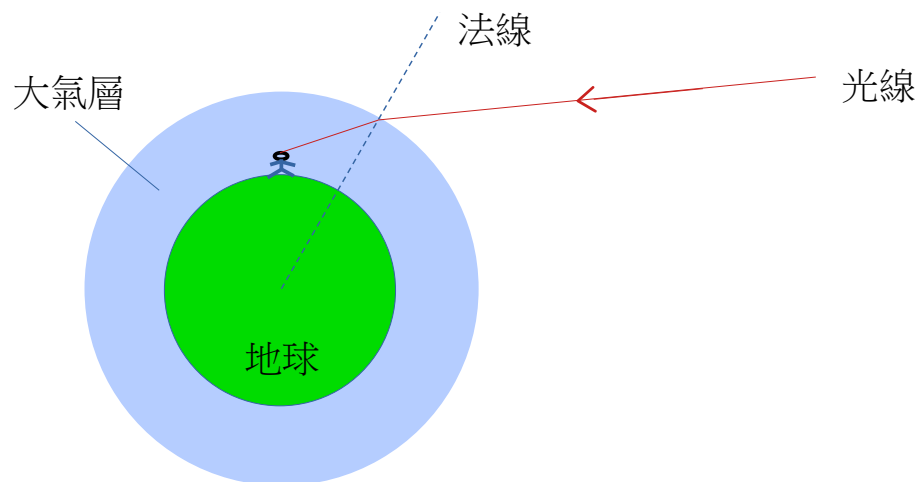


- \* 法線垂直於介面；入射角  $\angle i$  是入射光與法線的夾角；折射角  $\angle r$  是折射光與法線的夾角。
- \* 折射公式  $\frac{\sin \angle i}{\sin \angle r} = n$ ，或  $\sin \angle i = n \sin \angle r$ ，其中  $n$  是介質的折射率。
- \* 若介面兩邊分別是介質 1 和介質 2，它們的折射率分別是  $n_1$  和  $n_2$ 。折射公式以一較佳的形式表示： $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ ，其中  $\theta_1$  是介質 1 那邊的角（光線與法線的夾角）， $\theta_2$  是介質 2 那邊的角（光線與法線的夾角）。此時，角度已不須區分那一個是入射角，那一個是折射角。

## 太陽光進入大氣時發生折射

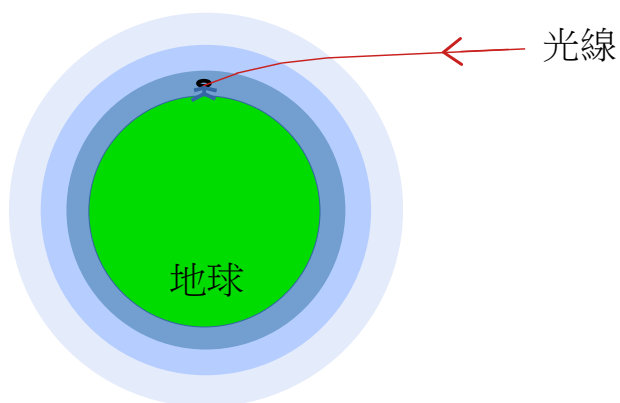
接近地面的空氣，折射率是  $n = 1.0003$ 。大氣以外是真空，折射率是 1。所以當太陽光進入大氣層，是由一個「光疏物質」(optically less dense medium) 進入一個「光密物質」(optically denser medium)，折射因此發生。

我們首先假設整個大氣層的折射率是均勻單一數值：

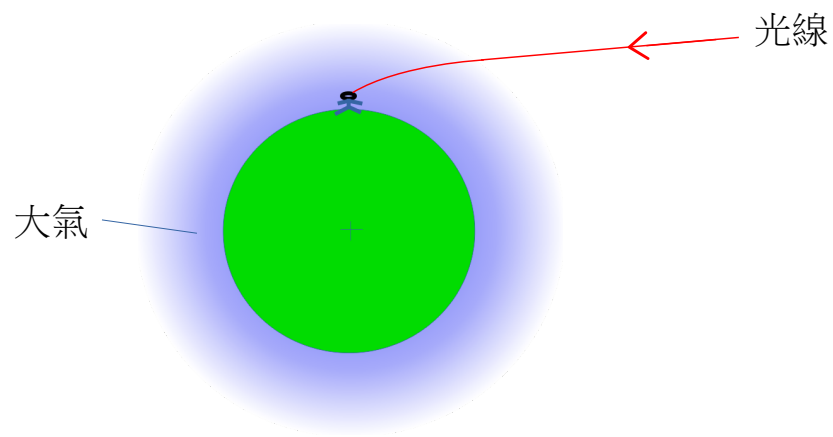


但是，整個大氣層的折射率是漸變，是由外太空的 1 漸次增加為近地面的 1.0003。所以光線從進入大氣開始至到達地面，折射會連續不斷發生。

我們先假設大氣有三層，折射率由外至內依次序增加。光線每經過一個介面，折射都會發生。

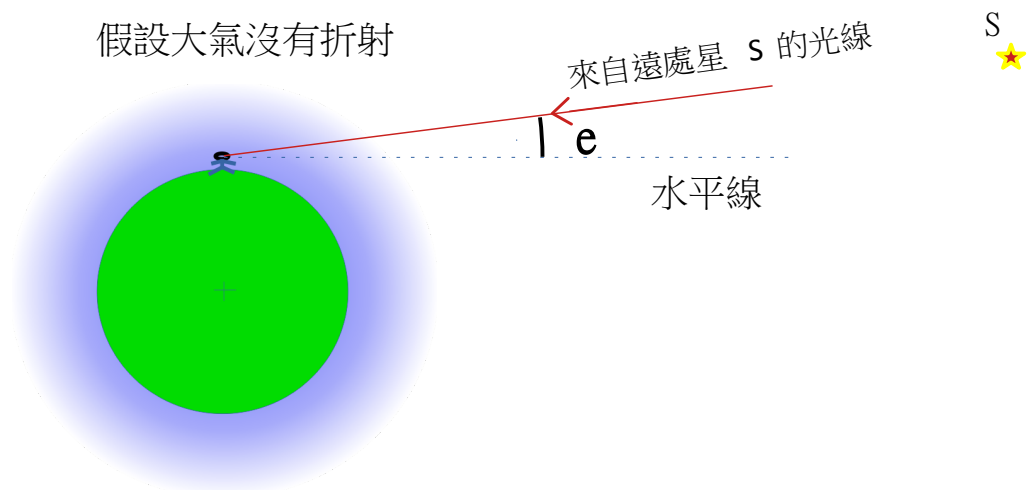


若大氣的折射率由最外層的百分百等於 1 連續漸次增加為 1.0003，

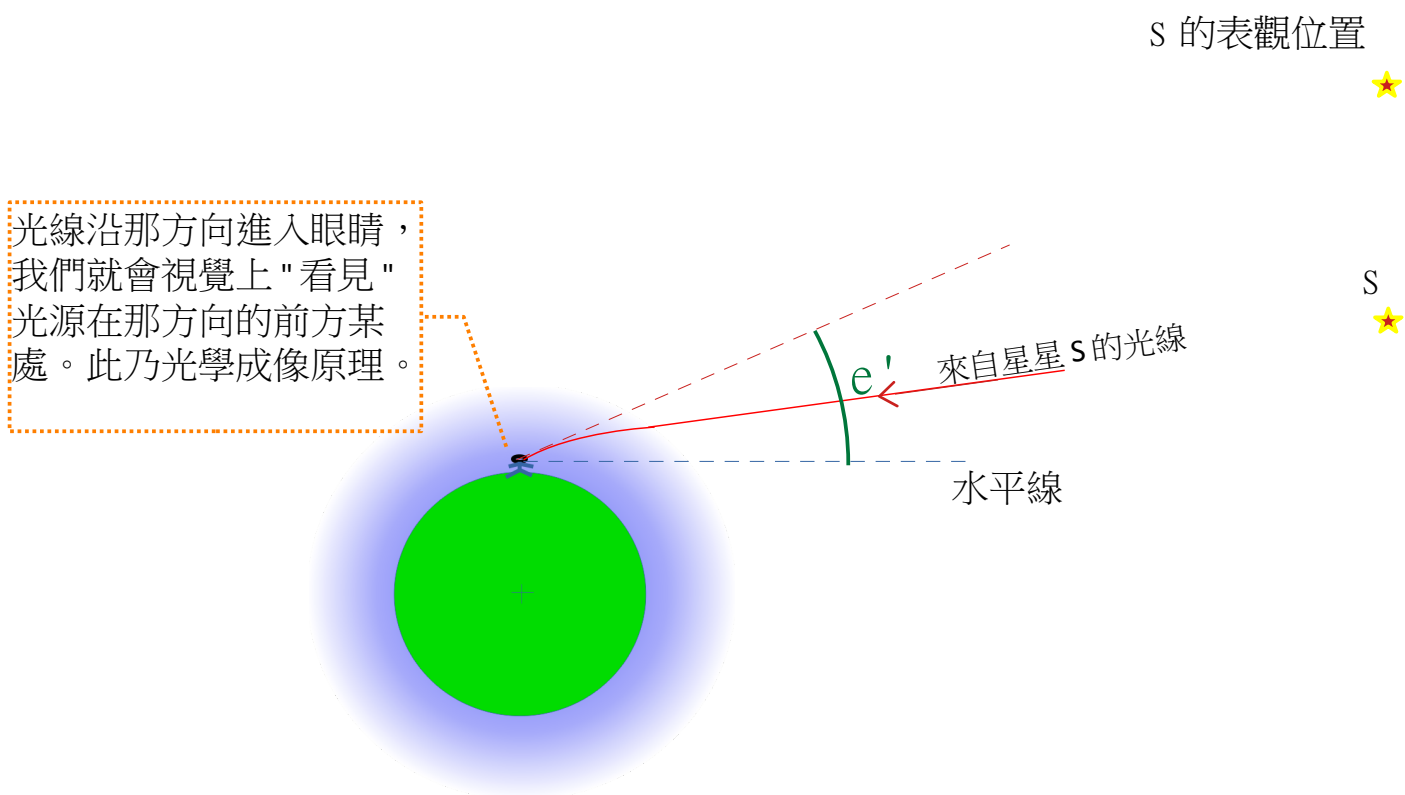


### 因大氣折射而產生的角度偏移

假設大氣沒有折射。當我們觀望天空上一顆名為 S 的星，仰角為  $e$ 。  
即是， $e$  為 S 的真實仰角。



在現實情況 (大。氣。有。折。射)，我們觀望 S 星的仰角變為  $e'$ 。即是， $e'$  為 S 的表觀仰角 (apparent angle of elevation)。



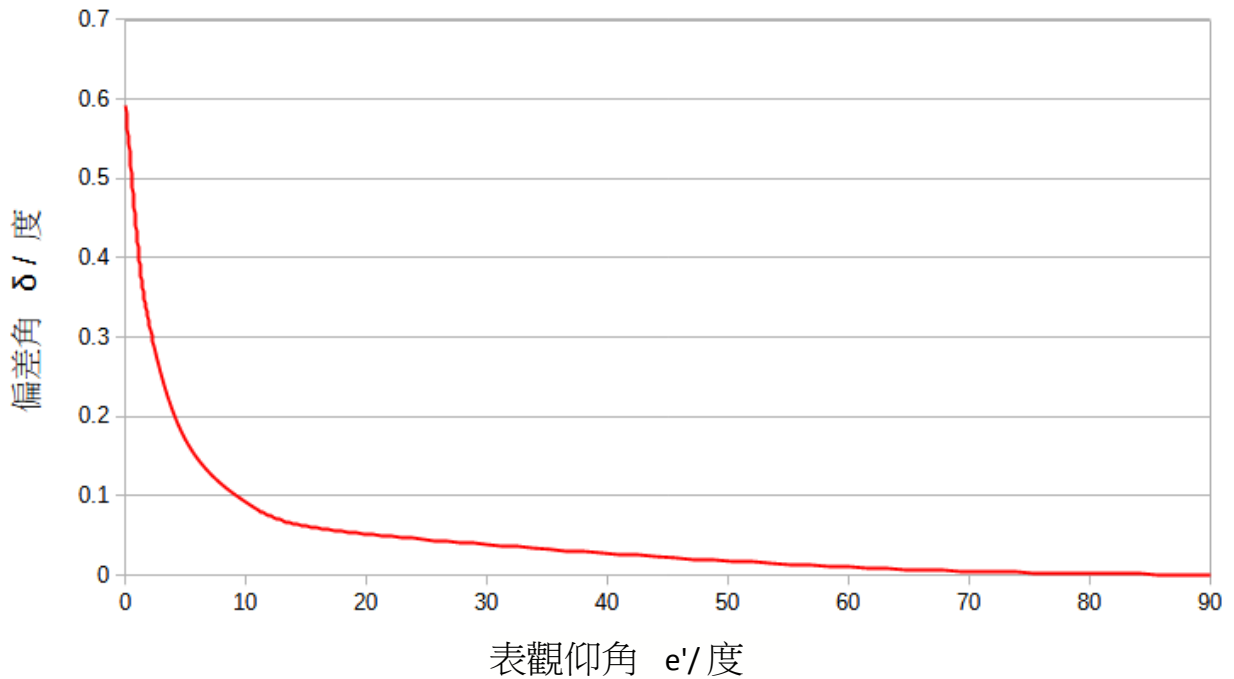
定義

$$\text{偏差角 } \delta = \text{表觀仰角 } (e') - \text{真實仰角 } (e)$$

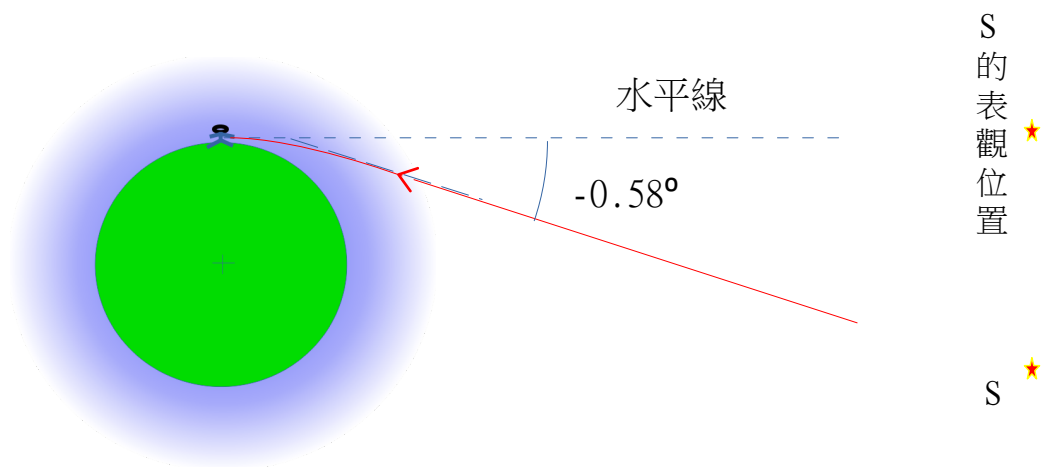
我們計算偏差角  $\delta$  和表觀仰角  $e$  的數值關係 (方法另文介紹：

[http://phy.hk/DSE/atm\\_refr\\_dev.pdf](http://phy.hk/DSE/atm_refr_dev.pdf))

$e'$ /度	$\delta$ /度	$e'$ /度	$\delta$ /度
0	0.58	15	0.06
1	0.42	30	0.03
2	0.32	60	0.01
5	0.17	90	0.00
10	0.09		



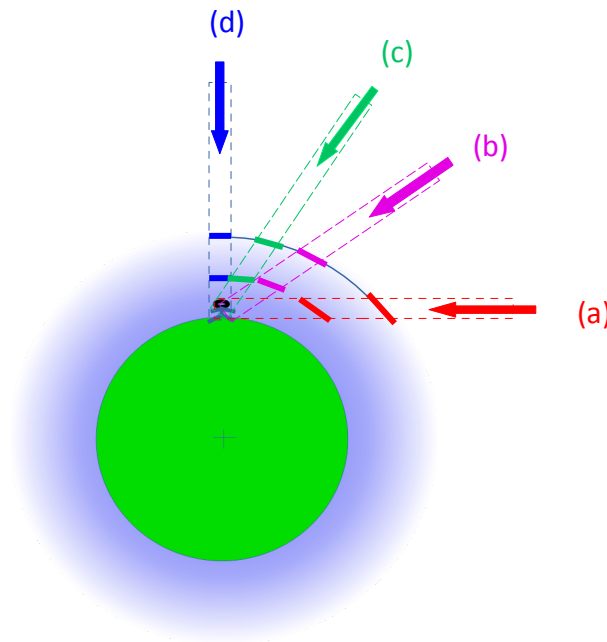
- \* 舉例說，當  $e' = 2^\circ$ ， $\delta = 0.32^\circ$ 。意思是當我們觀察外太空某物體，當仰角是  $2^\circ$  時，它的真正仰角（沒有大氣折射）實為  $e = 2^\circ - 0.32^\circ = 1.68^\circ$ 。
- \* 另一例，當  $e' = 0^\circ$ ， $\delta = 0.58^\circ$ 。這豈不是此時真正的仰角（沒有大氣折射）實為  $e = 0^\circ - 0.58^\circ = -0.58^\circ$ ！是的，的確就是這樣。當我們看見一彗星剛從水平線升起之際，這彗星其實還在水平線下呢！



- \* 以一整天 24 小時對應  $360^\circ$ ，那  $0.58^\circ$  就是 2 分 19 秒。  
即是說，因為大氣折射，我們看到近水平線的天象，其實大概是 2.分.鐘  
前（後）已經（才會）出現的景象（西沉：前。東升：後）。
- \* 由以上“ $\delta - e'$  關係線圖”，我們看到一項重要結果：

當觀察的物體越接近水平（ $e'$  越小），  
大氣折射的影響就越大（ $\delta$  越大）。

這點不難明白。

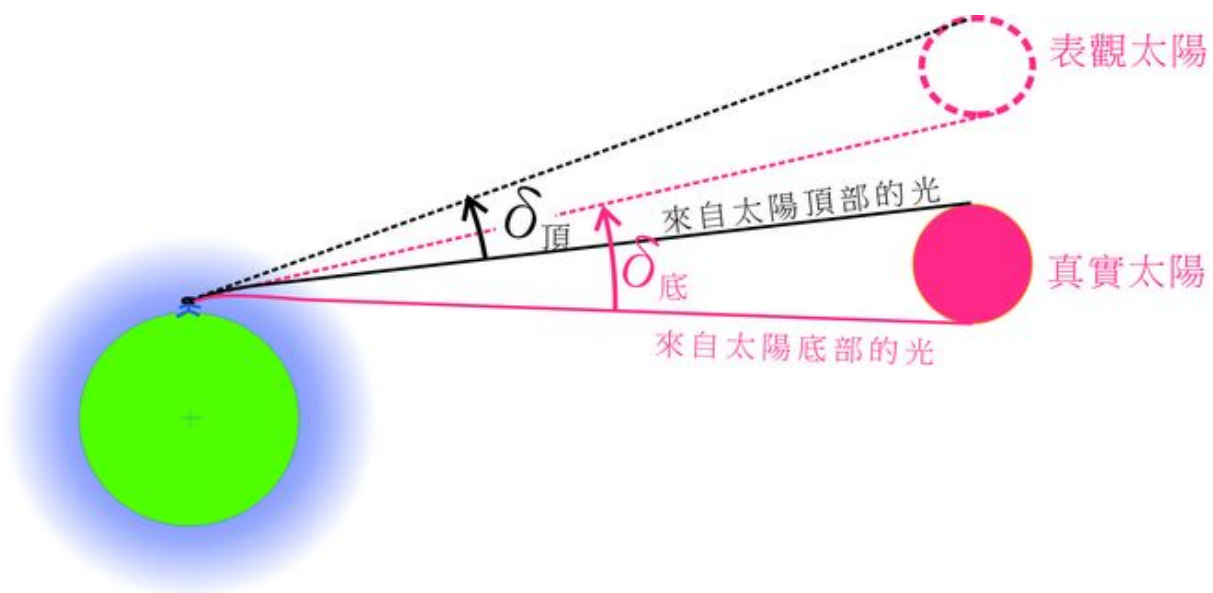


- \* 雖然大氣的折射率漸變，我們仍可想像大氣是由無限多層同心固定折射率的介質環組成。
- \* 上圖可見，當入射光很接近水平 [上圖的 (a)]，入射光在每一層介質的入射角都是相當大，所以那時大氣折射是會相當「嚴重」。反之，當入射

光是垂直射入大氣 [上圖的 (d) ]，入射光在每一層介面的入射角均是零，所以不會發生大氣折射。

- \* 換言之，當觀察的仰角越靠近水平，大氣的折射越嚴重，那時仰角偏移  $\delta$  就越大越產生影響（越須要修正）。由水平走向垂直，大氣折射越來越減弱，仰角偏移  $\delta$  越來越小。當光線從正中央頂垂直射下，仰角完全沒有偏差。

## 日出和日落太陽是扁的



- \* 因為太陽的底部比太陽的頂部更接近水平，所以

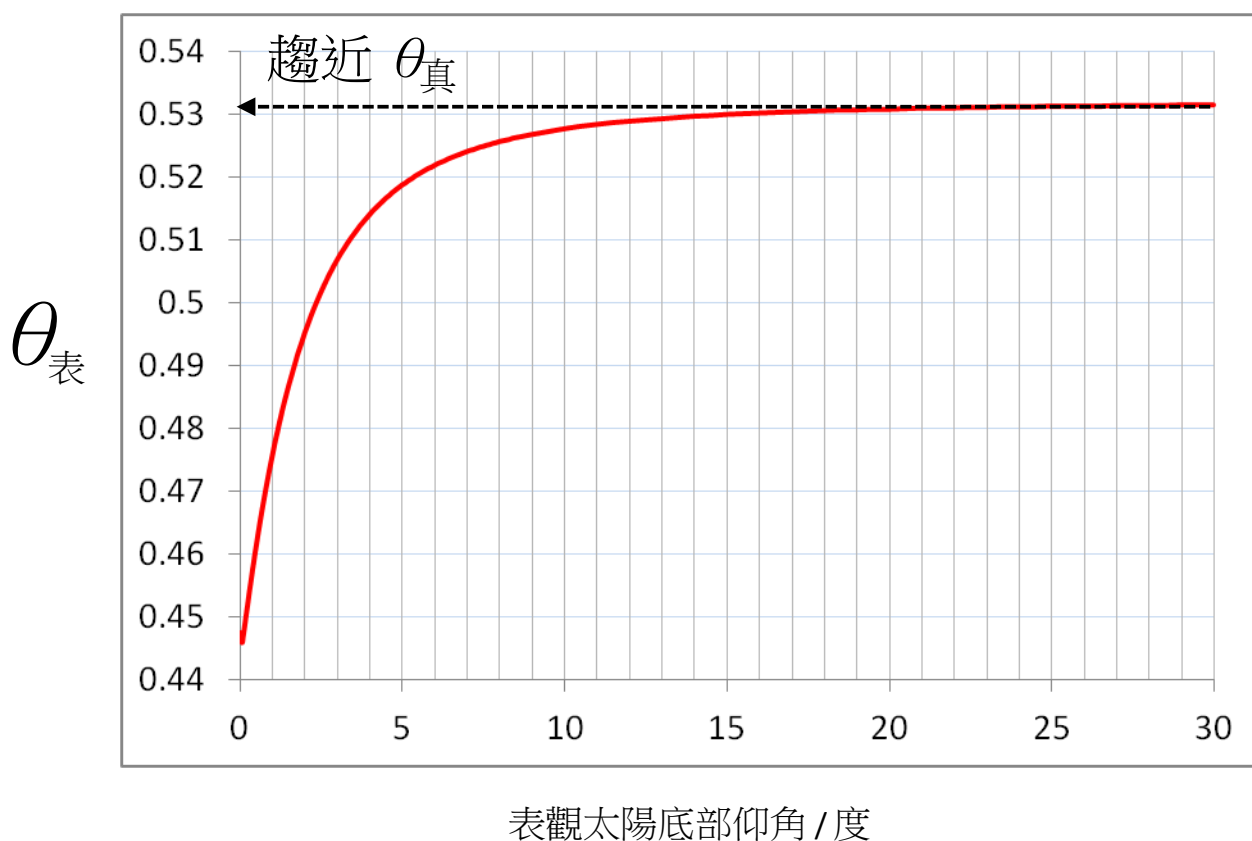
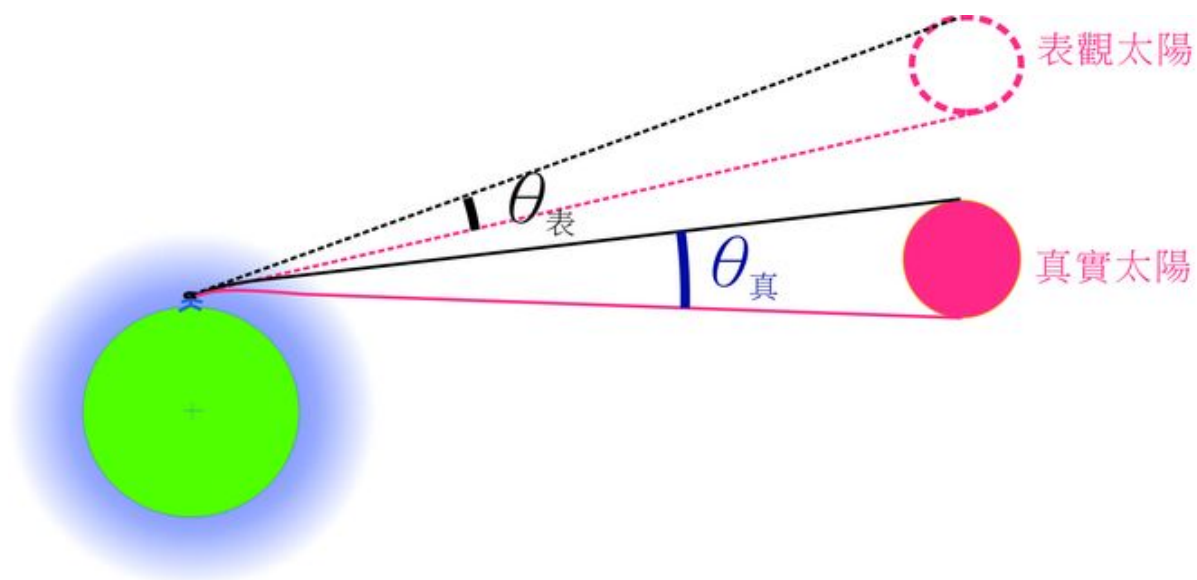
$$\delta_{底} > \delta_{頂}$$

- \* 因此，太陽看起來(表觀太陽)比真實太陽扁了一些。
- \* 在日出和日落，太陽位置非常接近水平，太陽看起來特別扁，因為那時  $\delta_{底}$  和  $\delta_{頂}$  相差最大。
- \* 隨著太陽升起，形狀慢慢回復正圓。
- \* 月出和月落時，月亮也是看起來扁扁的，道理和太陽的相同。

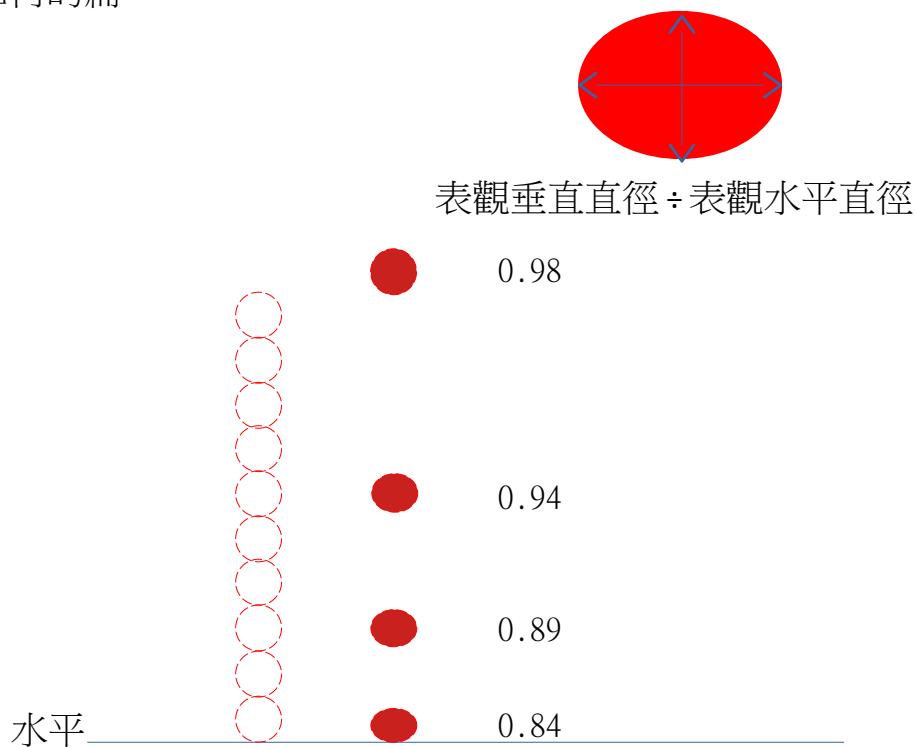


## 表觀視角 (apparent visual angle)

我們也計算了太陽在不同位置的垂直直徑的表觀視角 ( $\theta_{\text{表}}$ ) (方法另文介紹：[http://phy.hk/DSE/atm\\_refr\\_dev.pdf](http://phy.hk/DSE/atm_refr_dev.pdf))，以表述太陽在天空中不同位置的扁圓程度。若果沒有大氣折射，太陽的真實視角 ( $\theta_{\text{真}}$ ) 實為  $0.532^\circ$ 。



- \* 在非常接近水平時，表觀垂直直徑大概是真實直徑的  $0.445/0.542 = 0.84$  倍（直徑比相等於視角比）。
- \* 表觀垂直直徑會因為大氣折射而變化，但水平直徑不會。所以，上述這個“0.84 倍”也可以理解為在那時“表觀垂直直徑 =  $0.84 \times$  水平直徑”。
- \* 表觀太陽底部仰角等於  $5^\circ$ （大概是 10 個太陽的高度，看下圖），表觀垂直直徑已經是水平直徑的 0.98 倍，即是說那時太陽已差不多回復正圓了。
- \* 只要數一數太陽底部和水平之間可容納多少個太陽，就可以大概知道太陽是如何的扁。



## 與真實比較

我們搜集了一些網上的日出/日落照片，把它們和我們的計算作了比較。結果是兩者相當吻合。

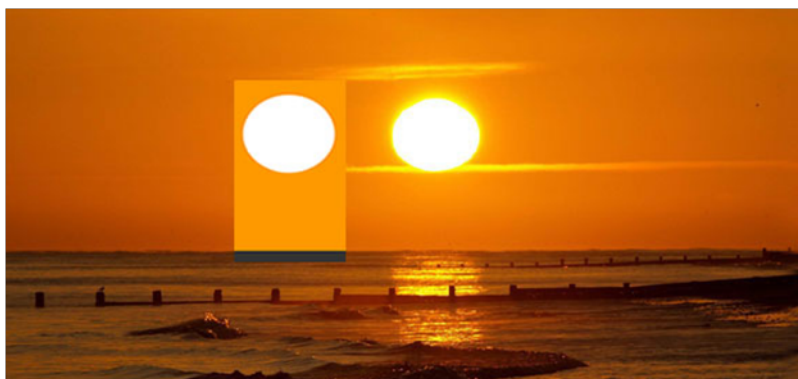
(i)



太陽底與水平仰角  $e' = 0.075^\circ$

垂直直徑  $\div$  水平直徑 = 0.84 (左：模擬) 0.83 (右：相片)

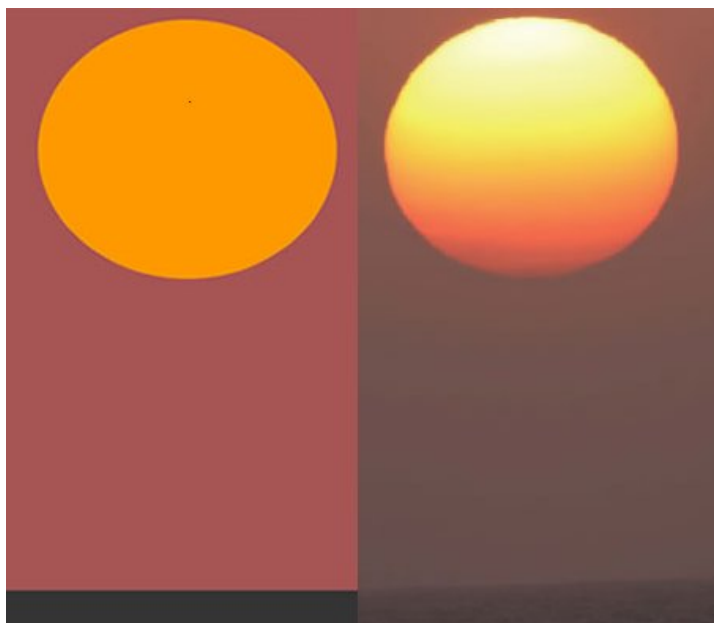
(ii)



太陽底與水平仰角  $e' = 0.46^\circ$

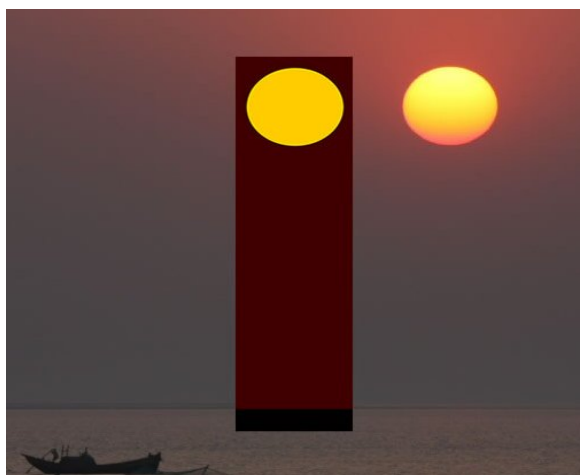
垂直直徑  $\div$  水平直徑 = 0.86 (左：模擬) 0.85 (右：相片)

(iii)



太陽底與水平仰角  $e' = 0.56^\circ$   
垂直直徑  $\div$  水平直徑 = 0.87 (左：模擬)      0.88 (右：相片)

(iv)



太陽底與水平仰角  $e' = 1.65^\circ$   
垂直直徑  $\div$  水平直徑 = 0.92 (左：模擬)      0.93 (右：相片)

(V) 國際太空站 (ISS) 太空人在 2012 拍攝月球由上至下(相對太空站)，並最後消失於地球大氣的影片/相片。<http://www.youtube.com/watch?v=ZfZt7V7CYfg>



這個月亮看起來變了形，這也是因為地球的大氣折射而引致。圖中紅色虛線是通過我們的計算而繪畫的形狀。

相關文章：為甚麼 2022 年春分 (spring equinox) 不是日照時長最接近 12 小時的那一天？ (<http://phy.hk/DSE/springEquinox.pdf>)



文章最新修訂： 2022-03-30

作者：吳老師 (Chiu-King Ng)

<https://ngsir.netfirms.com>

<http://phy.hk>

電郵：[feedbackWZ@phy.hk](mailto:feedbackWZ@phy.hk) 其中 WZ 是 23 之後的質數