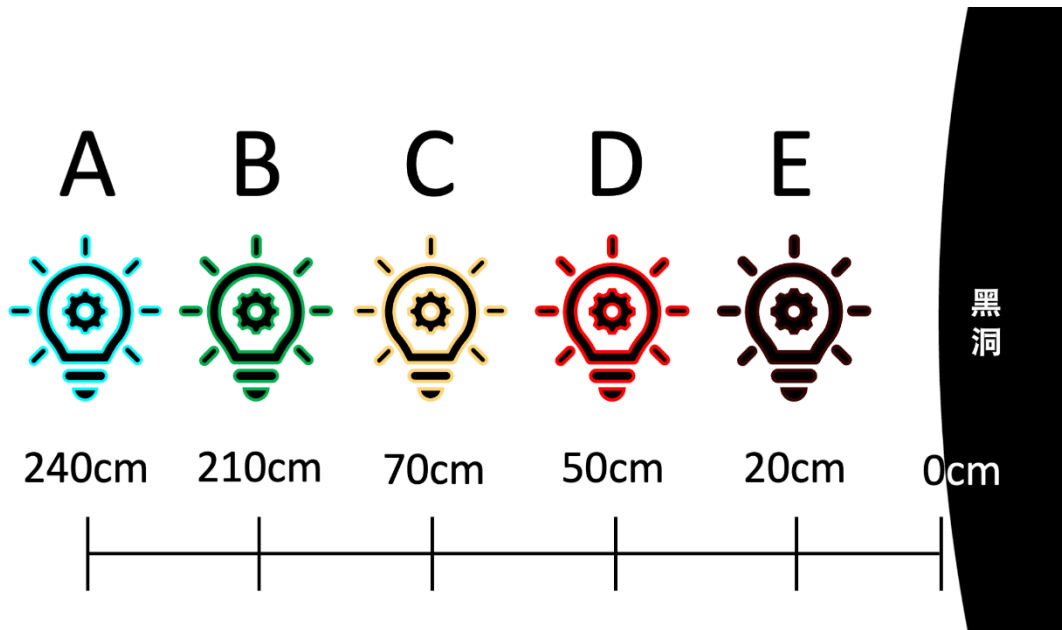


第 8 單元：重力紅移

（適合高中以上）

下圖顯示了一個直徑為 1 公尺的黑洞邊緣，並在黑洞旁邊依序放置了五個 LED 燈泡。圖中顯示了每個燈泡距離黑洞邊緣的距離。該黑洞的直徑為 1 公尺，質量相當於地球的 114 倍，理論上靠近這樣的黑洞的燈泡都會被摧毀，但現在假設這些燈泡沒有被摧毀並能正常發光。



假設這些 LED 燈泡都發出 450 奈米 (nm) 波長的光，光色為藍光。然而，在黑洞遠處且靜止的觀察者看到的景象會非常不同。由於黑洞的強大重力作用，靠近黑洞發出的光線在遠處觀察者看來會出現波長被拉長的現象，這稱為重力紅移。光源越靠近黑洞，觀察者看到的波長拉長效應就越明顯。「紅移」即是指波長向較長的方向移動。重力紅移效應和時間膨脹效應一樣，越靠近黑洞，效應越顯著。當靠近黑洞時，時間會膨脹，但由於光速不變，光的波長隨之被拉長。

假設原本發出波長為 λ 的燈泡，遠處靜止者觀察到的波長變為 λ_0 ，根據下列公式，觀察到的波長取決於光源到黑洞中心的距離 r ：

$$\text{公式 8-1: } \lambda_0 = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \frac{R}{r}}}$$

R 為黑洞半徑。

練習 8-1

利用公式 8-1，計算出上圖中燈泡 A、B、C、D 和 E 在遠處的觀察者觀察到的波長各是多少？

答案：

將數字代入公式 8-1， $R = 50$ 公分， $\lambda = 450$ nm， $r(A) = 290$ 公分、 $r(B) = 160$ 公分、 $r(C) = 120$ 公分、 $r(D) = 100$ 公分、 $r(E) = 70$ 公分。

$\lambda_o(A) = 495$ nm， $\lambda_o(B) = 543$ nm， $\lambda_o(C) = 589$ nm， $\lambda_o(D) = 636$ nm， $\lambda_o(E) = 842$ nm。

練習 8-2

人類的眼睛的極限大約只能檢測到波長約短於 750 奈米的光。哪些燈泡對觀察者肉眼來說會看起來是不發光的？

答案：

燈泡 A 495 nm 為藍綠光。

燈泡 B 543 nm 為綠光。

燈泡 C 589 nm 為橘黃綠光。

燈泡 D 686 nm 為紅光。

燈泡 E 842 nm 為不可見的紅外線。

可見光

可見光是指波長在 400 nm (380 nm)~700 nm(750 nm) 的電磁波，正常視力的人眼對 555 nm 的電磁波最為敏感，對應的光學顏色即為綠色。

顏色	波長
紫色	380~450 nm
藍色	450~495 nm
綠色	495~570 nm
黃色	570~590 nm
橘色	590~620 nm
紅色	620~750 nm