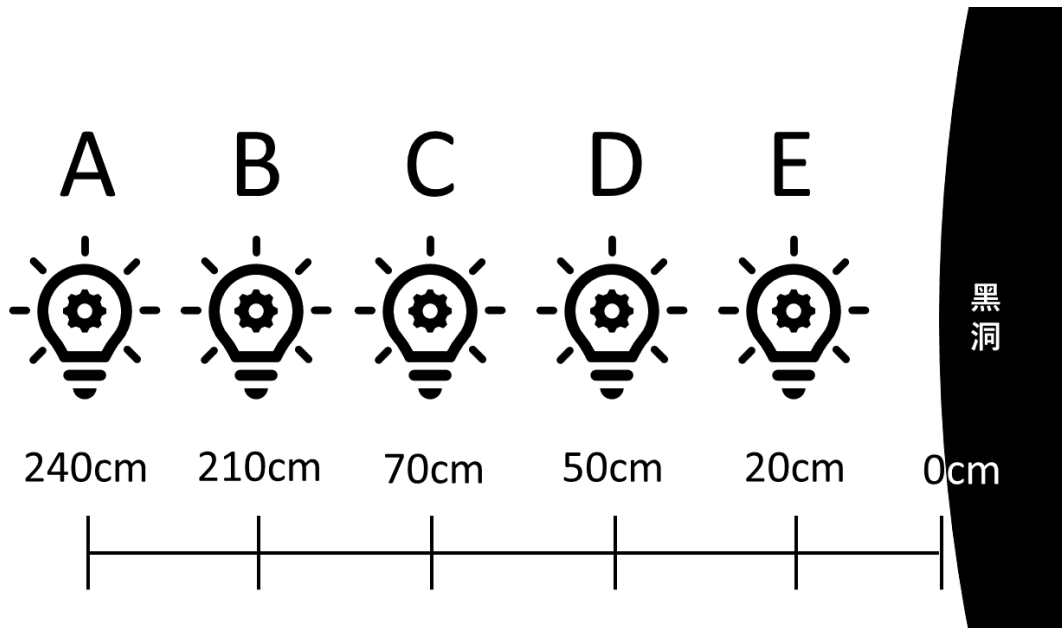


## 第 8 單元：重力紅移

(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  $\lambda$  的燈泡，遠處靜止者觀察到的波長變為  $\lambda_0$ ，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？

## 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？

## 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