

第 5 單元：義大利麵效應

（適合高中以上）

當靠近一個黑洞時，假設你的腳比頭先靠近黑洞，因為腳距離黑洞比較近，所受到黑洞的引力會比頭來的大很多。因為重力強度不同造成的潮汐力將會將你上下拉長，變成像麵條一樣。因此稱為「義大利麵效應」。或是當潮汐力大於物體本身的內聚力時，物體就會被撕碎。

以下動畫展示了一顆恆星在被超大質量黑洞吸入時經歷的「意大利麵效應」，另外當黑洞吞噬一顆恆星時，它可以向外發射出強大的物質噴流。

<https://www.youtube.com/watch?v=AKCp-1OGGP4>

下面公式可以讓我們計算出一物體 m 的兩端，因為質量為 M 的物體而引起的潮汐加速度 a ：

$$\text{公式 5-1: } a = \frac{2GMd}{R^3}$$

R 為物體 m 到質量為 M 的物體質心的距離。

G 為萬有引力常數： $6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$ （牛頓 公尺²/公斤²）。

d 為物體 m 的兩端點距離。

練習 5-1：

試算你站在地球上，頭跟腳之間的潮汐加速度。並將答案與地表重力加速度相比較。

D 為頭到腳的距離為 150 公分；地球半徑： 6.4×10^6 公尺；地球質量 5.9×10^{24} 公斤。

答案：

將數字代入公式 5-1， $R = 6.4 \times 10^6$ 公尺， $M = 5.9 \times 10^{24}$ 公斤， $d = 150$ 公分。

$$a = \frac{2 \times 6.67 \times 10^{-11} \times 5.9 \times 10^{24} \times 1.5}{(6.4 \times 10^6)^3} = 4.5 \times 10^{-6} \text{ (m/s}^2\text{)}$$

潮汐加速度相對於地表重力加速度來說非常小。地表重力加速度為 $9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$ 。潮汐加速度約為地表重力加速度的 $4.5 \times 10^{-6} \div 9.8 = 4.6 \times 10^{-7}$ 倍。也就是說，潮汐加速度是地表重力加速度的千萬分之四點六，非常微小。

練習 5-2：

1. 當你站在距離一顆質量為 1.9×10^{30} 公斤，半徑為 2.8 公里的恆星級黑洞 100 公里遠處，試算頭跟腳之間的潮汐加速度。
2. 假設頭部重 5 公斤，則頭部對於腳部有多少公斤重的力在拉扯？

解答：

1. 將數字代入公式 5-1， $R = 100$ 公里， $M = 1.9 \times 10^{30}$ 公斤， $d = 150$ 公分。

$$a = \frac{2 \times 6.67 \times 10^{-11} \times 1.9 \times 10^{30} \times 1.5}{(100 \times 10^3)^3} = 3.8 \times 10^5 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

2. 拉扯力 F 可由潮汐加速度 a 和質量 m 計算即 $F = ma$ 。頭部重量 $m = 5$ 公斤。 $F = 5 \times 3.8 \times 10^5 = 1.9 \times 10^6 \text{ N}$ (牛頓)，轉換為公斤重： $1.9 \times 10^6 \div 9.8 = 19$ 萬公斤重。

練習 5-3：

當你站在距離一顆質量為 1.9×10^{38} 公斤，半徑為 2 億 8,000 萬公里的超大質量黑洞的事件視界上，試算頭跟腳之間的潮汐加速度。並與練習 5-2 做比較。

解答：

將數字代入公式 5-1， $R = 2.8 \times 10^7$ 公里， $M = 1.9 \times 10^{38}$ 公斤， $d = 150$ 公分。

$$a = \frac{2 \times 6.67 \times 10^{-11} \times 1.9 \times 10^{38} \times 1.5}{(2.8 \times 10^{11})^3} = 1.7 \times 10^{-6} \text{ (m/s}^2\text{)}$$

與練習 5-2 做比較，在超大質量黑洞的事件視界上，頭與腳之間的潮汐力雖然存在，但變得微小。相較於在較小的恆星級黑洞附近的近距離處，潮汐力非常明顯。

延伸閱讀：

[恆星被黑洞撕裂的罕見發現](#)

[哈伯捕捉到飢餓的黑洞將恆星拉成甜甜圈進食](#)

[NASA 異常近距離瞥見黑洞吞食恆星](#)