

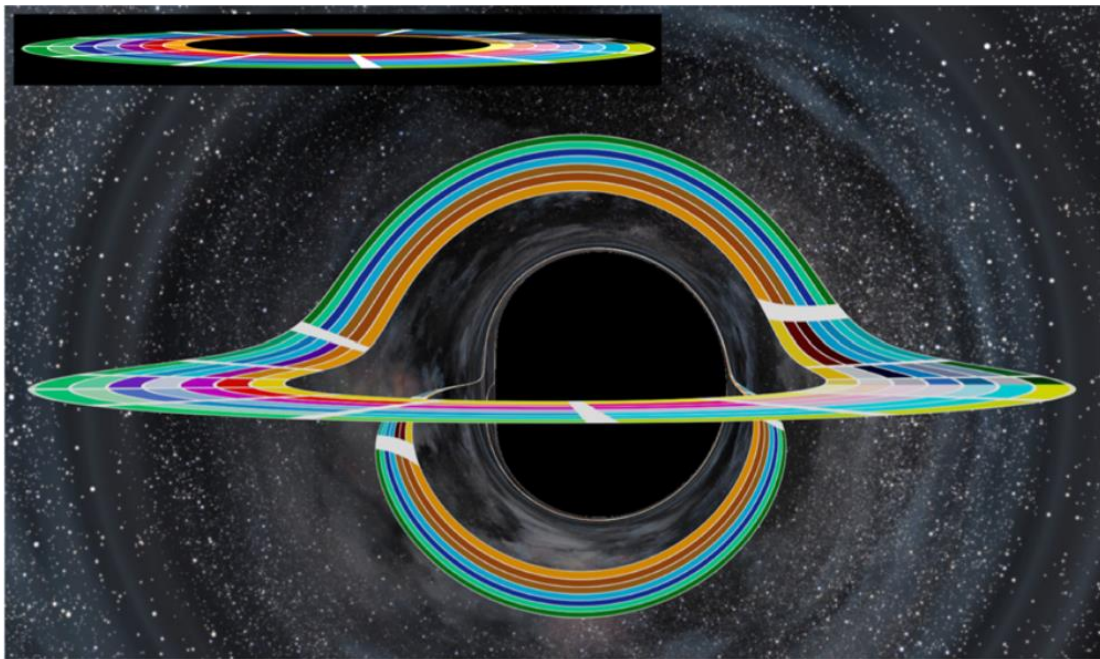
Term project

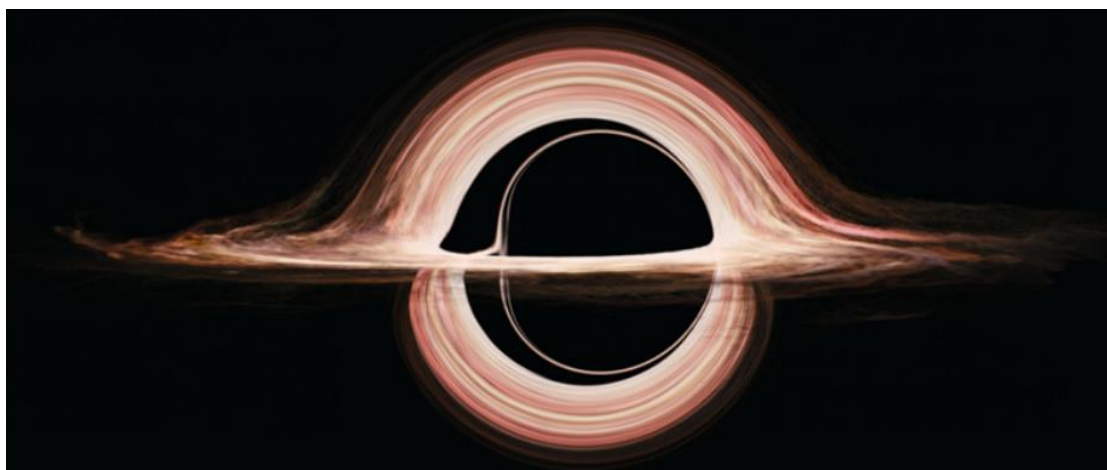
1. 動機

我修了一門課叫普通天文學，裡面有播個影片，有說星際效應這電影有發論文告訴 CG 界說黑洞的模型是長什麼樣子。所以我就決定去黑洞手刻出來。

2. 背景介紹

黑洞是一種天體，特色是重力非常大，所以光經過附近時會彎曲，越接近黑洞彎曲程度就越大。星際效應團隊的論文有提供他們用物理引擎跑出來的黑洞形狀和模樣，如下圖：

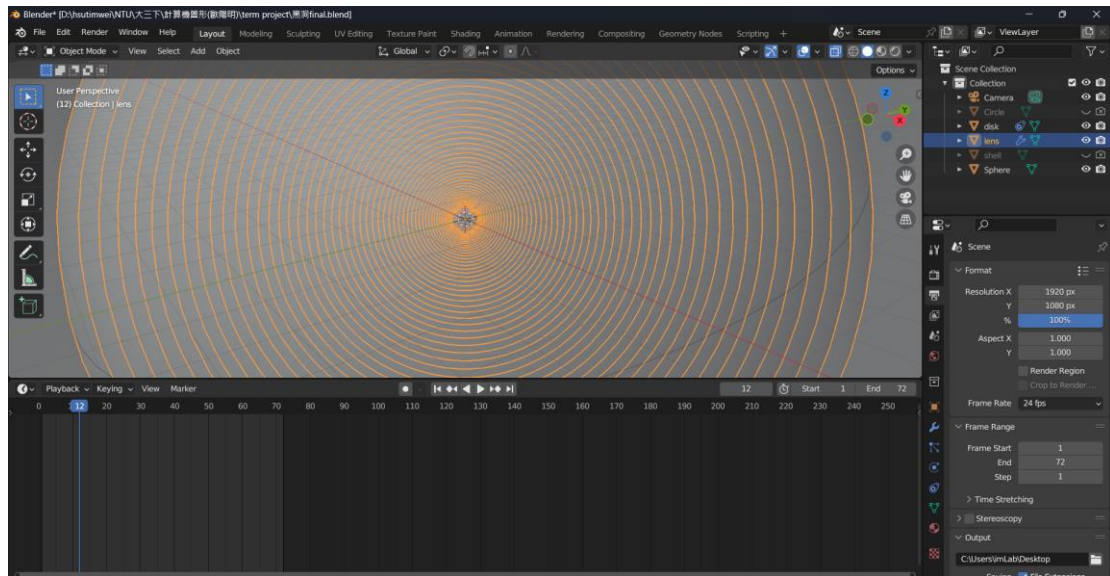




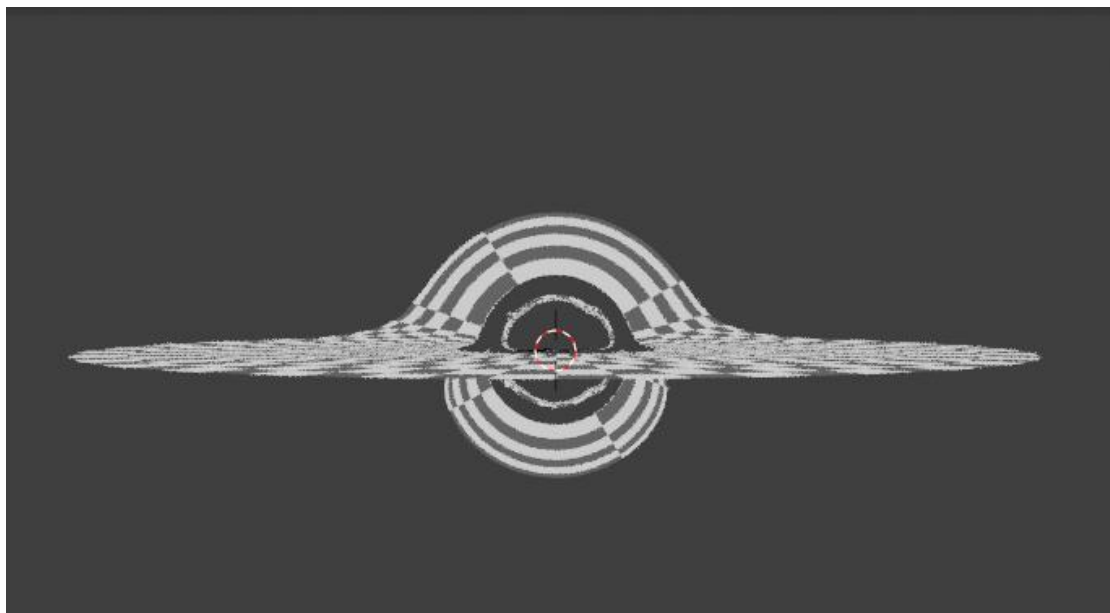
有顏色的是吸積盤，由灰塵和氣體構成。在電腦圖學界不會真的用物理引擎去跑，而是用簡化版或其他方法去近似，反正看起來像就好。

3. 方法

黑洞這個東西特色是光經過黑洞附近會彎曲，而且與黑洞中心距離的不同會導致彎曲程度的不同。所以不能直接套用上課所教的 ray tracing，但現有的軟體也沒辦法直接支援讓光彎曲，所以我們是用 ray tracing 去近似彎曲光的效果。為了方便理解，製作上是首先製作出 64 個層層套住的空心球，是用 geometry node 功能設定出來了。其實自己拉應該也是可以的。這 64 個空心球設定上是越靠近中心就越密集，如下圖：



概念是因為光線穿過一次空心球就要做一次折射，穿過很多空心球就要做很多次折射，所以設定越裡面越密集折射越頻繁象徵光越容易彎曲。另外也調整了每一層球殼的折射率，讓折射出來的模樣可以比較接近現實。折射設定的結果如下圖：

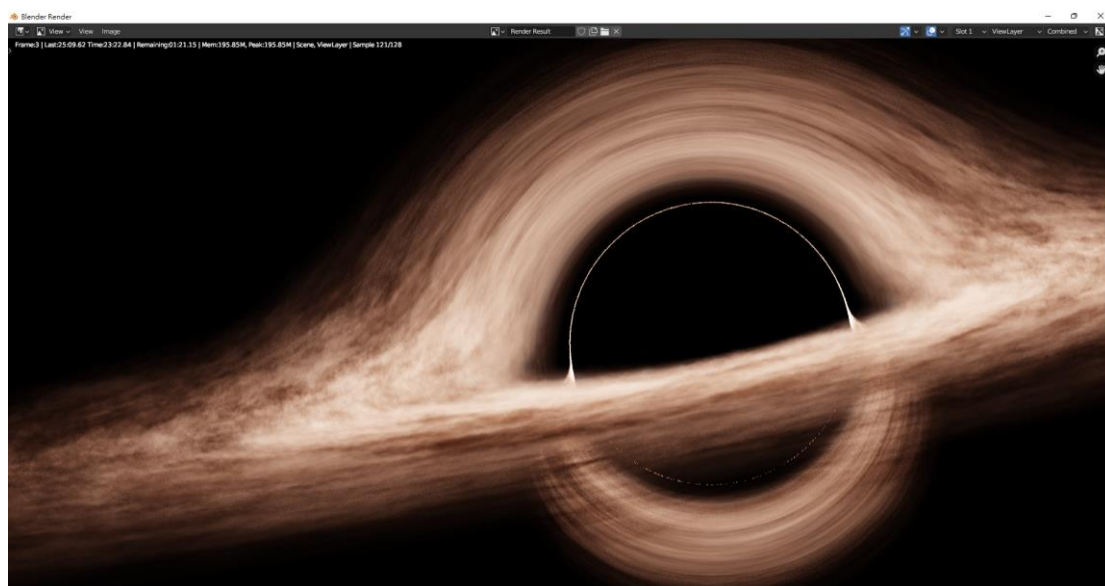


可以看到是跟真實狀況十分相似，下面的頂部比上面還接近中心。

設定完折射率後，還需要在黑洞中間黑色的部分增加一個光環，這部分就設定中間有光球然後絕大部分用另一個黑球蓋住即

可。

剩下就是設定吸積盤。為了更加接近現實，我們使用了 **musgrave texture node** 進行渲染，基本上不斷調參數就可以得到一個不錯的結果。同時也要把座標調整成極座標的方式，為了可以設定讓黑洞做旋轉。為了更加接近現實，我們需要考慮灰塵有因熱激發而發光的性質，也有消光散射的性質。所以我們用 **emission node** 設定發光的性質，用 **volume absorption** 去設定消光的性質。形狀上要考慮裡面比較亮外面比較暗，裡面比較厚外面比較薄，這些都需要去用 **vector math node** 和許多 **math node** 去做設定和調整參數。最後出來的結果如下：



4. Result

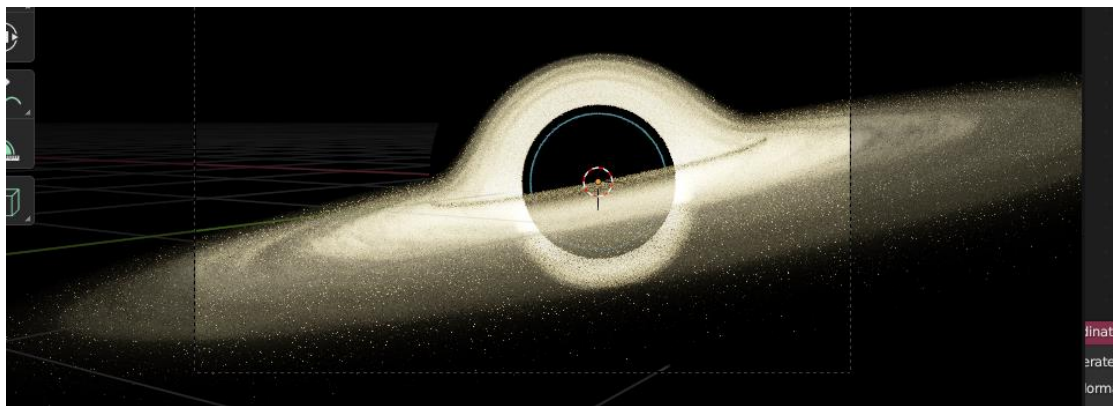
我把影片放在雲端上，連結如下：

<https://drive.google.com/file/d/149YsfSQkrCa5GS59NVJytDWke2oT2V37/view?usp=sharing>。因為參數的設定關係，建議用 0.25 倍速觀看。

5. 討論

有遇到一個困難是因為 blender 預設 ray tracing 光的折射次數最多是 12 次，但我們這裡光經過 64 個球殼最多會折射 128 次，所以要把 12 次改成 128 次，這樣會造成 render 速度超級慢。我用 RTX 4090 跑 5 個小時才跑出 72 幀。

關於光的彎曲的設計部分，我有嘗試其他更簡略的方法，像是只設 1 層球殼，單純去調整折射率，結果如下：



可以看到上半部跟下半部形成一個圓，跟真實狀況有一定的差距。

吸積盤的設計其實比較沒那麼多限制，畢竟現在最清楚的黑洞影像也沒辦法顯現黑洞的架構。而且氣體激發光也不是只有可見光。所以顏色、材質上的設計還是比較自由的。不過灰塵的消光性質會讓激發的光更偏向紅色，這也是我最後的顏色調整讓吸積盤偏

紅色的原因。

6. 結論和未來展望

這個 project 我有學到很多關於天體模型設計需要考慮的東西，像是考慮物質本身的性質、重力影響、背景等等。看論文也學到一些天文模擬方法的設計理念。可惜的是我沒有足夠的能力自行完成這個 project。必須參考其他人的方法和教學。不過有學到很多東西覺得就很不錯了。

除了這種黑洞之外，之後我們也可以嘗試模擬其他類型的黑洞。星際效應的論文中還有提供沒有吸積盤的黑洞，我有嘗試過，但我 blender 新手不會讓物體在保持折射率的狀況設定成完全透明，所以沒弄出來，另外也可以嘗試增加恆星、移動視角等等。

7. Reference

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0264-9381/32/6/065001/pdf>

<https://www.youtube.com/watch?v=XWv1Ajc3tfU>

<https://www.youtube.com/watch?v=5naMFeWTBeY>

<https://www.youtube.com/watch?v=egfpqMs88XE>

<https://www.youtube.com/watch?v=A7ftrDqs078>