

宇宙射線望遠鏡

組員：郭灝民，陳天賜
沙田浸信會呂明才中學

簡介：

宇宙射線來自太陽系以外，它們主要是由亞原子粒子組成。在地球上我們測量到很多不同能量的宇宙射線，有些甚至可達 10^{20} 電子伏特(eV)。至於宇宙射線的來源，尤其是帶高能量的，現在仍沒有圓滿的理論解釋。在這個報告中，我們將會研究在黑洞附近的吸積盤內的磁場是否有可能將帶電的粒子加速到很高的能量。我們用一個簡化了的黑洞磁場模型和電腦程式來研究粒子能量和磁場的關係。之後，我們把計算出來的結果和現實中由宇宙射線望遠鏡測量出來的紀錄作比較。從而推斷我們的假設是否正確。

方法：

在我們完成電腦程式前，我們會

- 一.設計一個合適的黑洞模型
- 二.寫下與模擬帶電粒子運動有關的方程式
- 三.預測結果

電腦程式包括：

- 1.使用者設定黑洞和粒子的最初情況,
 - 甲.黑洞
 - i.在粒子位置上的磁場強度
 - ii.旋轉頻率
 - 乙.粒子
 - i.質量
 - ii.所帶電荷

2.對粒子的運算

由方程式 $F=qvB$ 以牛頓的第二定律 $F=ma$.

$$ma = qvB$$

$$a = qvB/m \text{ ---- (1)}$$

這裏 m, q, v, a 分別是粒子的質量、電荷、速度及加速度，而 B 則為磁場。

$$dv/dt = a$$

$$adt = dv \text{ ---- (2)}$$

在不同方向的加速會有相對的 dv 加在開始時的速度

若磁場 B 分佈均勻及不變，則粒子進行圓周運動，它的周期為

$$T = 2\pi m/qB$$

我們可以用 T 作為計算時選取 dt 的參考。

3.對黑洞的運算

主要計算它的磁場強度隨時間的改變，我們假設

$$B=B_0(1+ a\cos(wt))$$

至於 a, w 則是黑洞參數。

結果：

在我們的程式中，參數的設定分別是：

黑洞：

吸積盤磁場最弱點的強度 (B) :		$1 \times 10^9 \text{ T}$
黑洞吸積盤自轉頻率 (w) :		$1 \times 10^3 \text{ rads}^{-1}$
旋轉參數 (a) :		0.5
粒子 :	1. 質子	2. 電子
電荷 (q) :	$1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$	$-1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$
靜止質量 (m) :	$1.67252 \times 10^{-27} \text{ kg}$	$9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$
開始的 X-速度 (vx) :		1 ms^{-1}
開始的 Y-速度 (vy) :		1 ms^{-1}
能量 (E) :	$9.414 \times 10^8 \text{ eV}$	$5.122 \times 10^5 \text{ eV}$

我們的計算加入了狹義相對論的修正。不過由於電算機的限制，我們做到最大的速度只為光速的 1.8%。

討論：

在運算期間，我們要選擇一個合適的 dt，以及加上相對論修正，以致粒子速度不會超越光速。dt 不能過小，否則所得的結果將會不明顯。所以，我們要以粒子在磁場內一個圓周運動的周期作為 dt。但由於磁場模型經過簡化，我們預測得出來的結果將會和真實的有不同。實際上，磁場模型經過多次修改，得出來的結果才會有較高能量。首先，我們假設磁場強度隨時間而改變，亦即為： $B=B_0(1+a\cos(\omega t))$ 。然後，改變 a 和 ω 的數值，將出來的結果提高。然而經過我們的計算，發現我們的模型是能夠將很低速的粒子加速至 1.8% 光速(約 $5.4 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$)。

分析：

計算模型得出的結果與實際的結果是預期地有十分之大的差別。這是由於

1. 電腦未能應付大量的運算，只到了 1.8% 光速便不能繼續
2. 磁場變化與現實黑洞磁場變化機制有出入
3. 黑洞參數與現實不符
4. 宇宙射線望遠鏡所得之數值 10^{20} eV 為最大值，可能有能量較細之宇宙射線
5. 黑洞只是被假設為宇宙射線的來源，未必會令粒子達到很高的能量

鳴謝：

中文大學物理學系朱明中教授

參考資料：

參考資料主要來源是朱明中教授，而以下有關天文射線及黑洞的資料，均只作參考，並沒有在報告中引用。

D. A. Ostlie and B. W. Carroll, Modern Stellar Astrophysics (Addison-Wesley, Reading, 1996).

C. W. Misner, K. S. Thorne, and J. A. Wheeler, Gravitation (Freeman, San Francisco, 1973).

<http://opposite.stsci.edu/pubinfo/PR/1999/43/related.html>

<http://opposite.stsci.edu/pubinfo/PR/97/01.html>

Junor et al., in Nature, 28 October 1999; <http://www.aip.org/physnews/graphics/html/m87jet.html>

<http://www.aip.org/physnews/graphics/html/m87jet.html>

<http://focus.aps.org/v5/st16.html>

Michael W. Friedlander, Cosmic Rays (Harvard University Press, Cambridge, 1989).