

## 普通天文學 2024 作業二

B11202041 物理二 劉晁泓

March 23, 2024

Note: 本作業請使用太陽質量 ( $1.989 \cdot 10^{30}$  kg) 為所有質量的單位

$M_{\text{sun}} \rightarrow$  太陽質量

$M_{\text{pc}} \rightarrow 10^6$  pc

AU  $\rightarrow 1.5 \cdot 10^8$  km

1. [10 分] 課上我們提到暗物質佔目前宇宙整體能量約 25%，但是有趣的是，在我們日常生活或是太陽系中抑或是地球的運行軌道，好像沒有感受到暗物質所提供的重力，我們可以透過以下計算來了解暗物質在太陽系尺度下所產生的重力效應。

下圖為銀河系中預期的暗物質密度隨著銀河系中心距離的變化，太陽系約位於銀河系 8 kpc 的位置，相對應的按物質質量密度約  $6 \cdot 10^6$  ( $M_{\text{sun}}/\text{kpc}^3$ )。根據此資訊，估算在地球距離太陽半徑 (1AU) 的球體積裡，暗物質所佔的質量為何（以太陽質量為單位）？

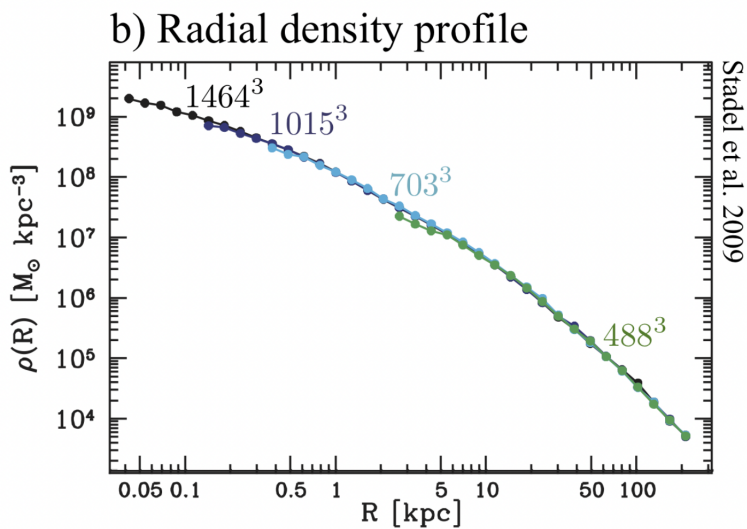


Figure 1: <https://arxiv.org/pdf/1404.1938.pdf>

2. [10 分][圖來自 COBE 衛星] 上課講到 COBE 衛星觀測 CMB，將平均值減掉後，得到上圖的溫度差，根據 COBE 的結果溫度插為 3.3 mK（深紅色是比平均多  $\sim 3.3$  mK，深藍色是比平均少  $\sim 3.3$  mK）。根據

這個溫度，推算出太陽系相對 CMB 的速度為何？[提示如果根據 Wien's law，溫度變化同等於波長變化，波長變化跟速度有關（都普勒效應）]

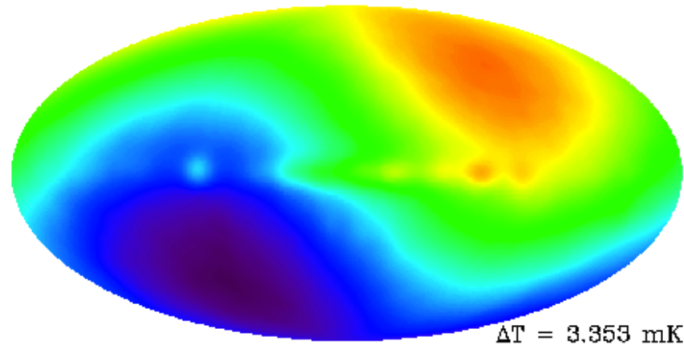


Figure 2

3. [30 分] Zwicky 當初觀測星系團中的星系的相對速度，計算所需要的質量，發現暗物質。請使用此觀測資料 (Virgo\_galaxy\_catalog.csv)，按照以下步驟做一樣的運算。

- (a) 該數據中有一個"cz" 的欄位，代表的是那些星系相對太陽系的速度，單位 km/s。請問在該星系團中所有的星系相對太陽系的平均速度為何？
- (b) cz 有一個分佈，請問根據數據所計算出來的 cz 標準差為何？
- (c) 此標準差值，在天文稱為 velocity dispersion( $\sigma$ )，跟系統內的質量有以下關係 ( $M$  為質量)

$$M \simeq \frac{\pi \sigma^2 R}{G}$$

其中  $R$  是星系團半徑約 2 Mpc， $G$  為重力常數。計算該星系團的質量。

- (d) 該數據中有一個"zmag" 的欄位，代表那些星系用 SDSS z band filter 的觀測輿等，這個星系團離我們的距離為 20 Mpc，先計算這些星系的絕對輿等。接著計算這些星系鄉對於太陽有多量（太陽在 z band 的絕對輿等為 4.5）。假設星系的光度鄉對於太陽的光度，約等於星系的質量相對於太陽的質量（天文稱這個為 mass to light ratio），計算在這個目錄內所有星系的質量加總。這個數星星算出來的質量，跟用速度算出來的質量差多少？[可以使用任何能幫助你做計算的工具 (Excel, google sheet, python, matlab) 等等] 請附上你所使用的程式碼截圖。[資料來源：資料 1]
4. [20 分] 根據宇宙大霹靂理論，宇宙年齡約 38 萬年的時候，溫度下降到 3000 K，光子無法將電子從中性氫中游離開來，
- (a) 將電子完全從氫氣游離的能量為 13.6 eV，試問相對應的光子波長為何？
  - (b) 根據黑體輻射 Wien's law，該光子波長相對應的溫度又是如何？
  - (c) 請解釋為何不是當宇宙下降到 13.6 eV 相對應的溫度時，光子就無法將電子從中性氫中游離開來，為何需要下降到 3000 K？
5. [15 分] 請看這個演講 by Adam Riess [1 hour!]，根據演講內容回答以下問題。

- (a) 聽完這個演講，有哪些東西是你上完這前三週的課之後，可以聽得懂的？[100 字以內]
  - (b) 聽完這個演講，有哪些東西是你沒有聽懂的？[100 字以內]
  - (c) 演講中提及用標準燭光所計算的哈伯常數，可能會造成系統性誤差的原因有哪些？那講者是如何用資料來測試可能的系統性誤差？
6. 上課提到透過 CMB 偵測暴漲的訊號。在 2014 年，一組天文團隊叫 BICEP2 公佈他們偵測到暴漲的訊號，請讀以下文章關於他們的研究成果，接著請讀此文章，並回答以下問題。
- (a) 要偵測暴漲的 CMB 訊號，文章中提到要透過一種 polarization 的訊號，請寫出他的名稱。
  - (b) 請問當初 BICEP2 認為他們有偵測到暴漲的訊號，後來發現該訊號是其他東西所造成的，請問那個東西是什麼？
  - (c) 讀完這些結果，請寫下你的心得 [100 字以內]。
7. 請閱讀這篇文章並寫下你的心得 [100 字以內]。[如果以上連結不能用，使用連結 2]