

University of Groningen

Local Group galaxies in a LambdaCDM Universe

Li, Yang-Shyang

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:

2009

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Li, Y-S. (2009). *Local Group galaxies in a LambdaCDM Universe*. s.n.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Chinese summary

摘要

我們所在的星系——銀河系 (Milky Way galaxy) ——並不是獨自存在，而是由大約二十個左右的衛星矮星系 (dwarf satellite galaxies) 所環繞。這些銀河系的衛星矮星系與銀河系相較之下，小得多也暗得多。離開銀河系再遠一點，我們可以發現室女座大星系 (Andromeda galaxy)。這是一個與銀河系相當的盤狀星系，也同樣擁有環繞它自己的矮星系系統。本星系群 (Local Group) 的大部分，即是由前述所提到的星系們組成。這些星系在觀測上的種種特性，可以使我們深入了解它們的起源。



圖一左：室女座大星系是距銀河系最近的盤狀星系，這是它在肉眼可見波段的影像。我們的銀河系在外觀及其他特性上與室女座大星系類似（卻不完全相同）。圖一右：大麥哲倫星系在可見光的影像。大麥哲倫星系是銀河系最大的衛星矮星系。

即使在我們鄰近的範圍，我們同樣能找到各種不同的星系。每一個環繞銀河系或是室女座大星系的矮星系，都各自擁有在觀測上與眾不同的特性。雖然這些衛星矮星系在特性上各自互異，這些特性卻有著某些相關性。這表示了這些矮星系在形成的過程中，必然受到某些類似的基本物理定律的影響，而這些矮星系的觀測特性，正是反映出它們所經歷的物理過程。

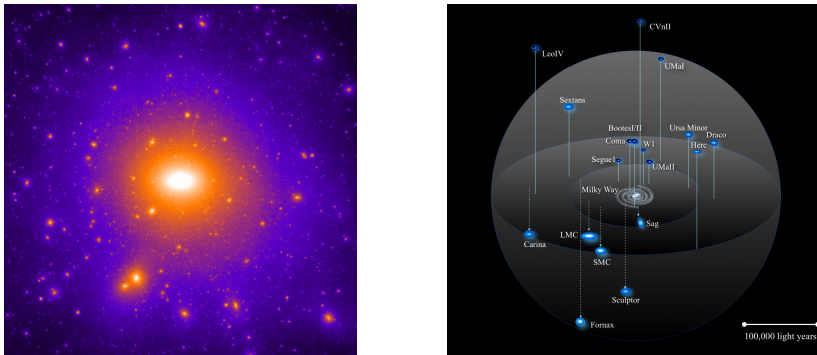
舉例來說，在較亮的銀河系衛星矮星系中，我們通常在其成員恆星的大氣中，發現較多的化學元素。這個現象在天文學上被稱為矮星系的「金屬豐度與光度關係」。天文學家經由觀測恆星的光譜來測量恆星化學元素含量的多寡。恆星一般被視為完全理想的「黑體」，而一個理想的黑體在各波長範圍能放射出多少的光子，是由恆星的表面溫度所決定，這可以由普朗克函數 (Planck function) 來描述。然而，如果我們把恆星的光譜仔細放大來看，會發現恆星的光譜除了普朗克函數所描述的平滑光譜之外，事實上還存在著為數眾多的吸收譜線。這些吸收譜線的成因，來自於恆星大氣中金屬元素與光子間的交互作用。（在天文學上，所有比氫跟氦重的化學元素皆稱為金屬。）得力於大望遠鏡及感光度高的電子耦合元件 (Charged Coupled Device) 的進步，天文學家目前可以對許多鄰近的衛星矮星系，取得上百個成員星的光譜，並由光譜研究各星系的化學豐度是如何與星系的其它觀測性質相關連。

星星的運動是由其所受的重力決定。在太陽系的例子中，行星的速度與加速度取決於太陽的質量。就如同於觀察太陽系行星是如何繞行太陽的例子，測量星系成員星的運動，能使我們得到這些星系的質量。

這些關於恆星的種種資訊，（譬如金屬豐度、星系質量等等）可以用來與各種不同的星系形成與演化模型所做出的預測相比較，使我們找出其中最能描述實際觀測的理論模型，甚至可以利用這些資訊去發掘出，究竟是什麼樣的過程使得我們周圍的星系，形成並演化至目前各種不同的樣貌。正由於我們可以直接觀測本星系群內不同星系的成員星，本星系群提供了我們仔細研究星系形成與演化的獨特機會。

在宇宙間，許多星系的性質，都可以利用普遍受到學界歡迎的冷暗物質結構形成理論 (Cold Dark Matter structure formation theory) 成功地解釋。在這個理論模型中，宇宙的絕大部分是由幾乎只透過重力交互作用的「暗」物質所組成。在非常早期的宇宙，（比平均密度高的）高密度暗物質的區域，會由於重力大而吸引更多物質，直到重力超過平衡的力量而塌縮成所謂的暗物質暈 (dark matter halo)。理論上，小的暗物質暈率先形成，然後再藉由互相聚合而形成大的暗物質暈。在宇宙早期時，一般物質 (baryonic matter)（好比氣體）的分佈是隨著暗物質而均勻分佈。一旦暗物質暈形成後，暗物質暈所含的氣體可以形成恆星，而成為最早期的星系系統。

到目前為止，以冷暗物質理論為出發的各種複雜而繁瑣的星系形成與演化數值模擬，已可以成功在模型中，複製出許多在大尺度宇宙所觀測到的最令人目眩驚嘆的種種天文現象。然而，冷暗物質理論卻在單一星系的尺度，因為理論預測與實際觀測不符合，而受到最嚴厲的挑戰。其中的挑戰之一，可由接下來的圖示二說明：



圖二左：利用冷暗物質結構形成理論所模擬出的銀河系與其衛星矮星系的分佈，圖片由 Felix Stoehr 提供。圖二右：實際觀測到的銀河系與其衛星矮星系的空間分佈示意圖，由 James Bullock 提供。

圖二左是在電腦模擬中，冷暗物質在一個類似於銀河系的星系中的分佈。圖中同時可見由小集團表示的衛星矮星系。圖二右是截至目前所觀測到約二十個在銀河系周圍的衛星矮星系，分佈在三度空間的示意圖。這兩圖的比較顯示出以冷暗物質理論為基礎的數值模擬，預測了為數遠遠超過實際觀測到的衛星矮星系。

本論文：宇宙學脈絡下的本星系群成員星系

本論文的內容著重於本星系群的成員星系，包含銀河系、銀河系的衛星矮星系、以及室女座大星系。在第二章中，我首先分析在數值模擬中，一個（假定）類似於銀河系的暗物質暈內的衛星系統（subhalo）。此分析的其中目的之一是，建立數值模擬的暗物質衛星系統與實際在銀河系周圍的衛星矮星系（特別是每個衛星矮星系的暗物質質量）間的關聯性。舉例來說，我們探討模擬中的衛星系統與實際銀河系的衛星矮星系，是否在空間分佈及運動上有任何相似之處？我接著在第三章進一步將此單一銀河系尺度的數值模擬，與一系列（由觀測事證啟發）描述一般物質如何演化的各式處方結合，建立一個關於星系形成及演化的模型，並由此模型來探討銀河系衛星矮星系的形成與演化。第三章主要討論的問題有：為什麼在實際觀測上，銀河系只有大約二十個衛星矮星系，而對等的數值模擬卻預測了大量的衛星系統？是哪些物理作用在衛星矮星系的形成與演化中產生影響，導致了目前各星系的各種不同的性質？在第四章中，我更進一步深究（在第三章所提到的）星系形成及演化模型所預測的理論矮星系的動力性質，並且將理論所預測的矮星系中心區域質量，與最新的觀測數據作比較。在第五章中，我利用一個關於宇宙演化的新數值模擬，來估計本星系群及銀河系的個別質量。

銀河系衛星矮星系的集合過程

銀河系（亦或是室女座大星系）的衛星矮星系有一個特殊之處，就是這些矮星系在空間中幾乎是分佈在同一個平面上。這是個令人費解的現象，因為最簡單的預期是在各個可能的不同方向，都應該看到衛星星系分佈於銀河系周圍。

在第二章中，我們分析一系列在宇宙學脈絡下，以冷暗物質結構形成理論為本，關於單一星系系統的高解析數值模擬。我們的分析結果顯示，在（與銀河系類似的）單一星系內的衛星系統，多半是先行聚集成團，然後以成團的方式加入宿主星系。前人的研究已經指出，在星系團（cluster of galaxies）尺度的數值模擬中，星系團是由一小團、一小團的星系經由重力集合而成，但直到目前才確定類似的過程，同樣發生在單一星系的尺度。這種衛星系統在空間中集合成團的現象，在它們剛加入繞行宿主星系的時刻最為顯著。但在空間上的聚集現象可能會因為繞行宿主星系時的重力交互作用，而隨著時間消失。然而我們的結果顯示，即使對於某些在距今約八十億年前，成團加入宿主星系的衛星系統（即使它們空間中聚集的現象已經消失），這種衛星系統成團聚集的訊息，仍可經由衛星系統的軌道角動量區別出來。我們同時發現這種單一星系的衛星系統成團加入宿主星系的現象，在我們的數值模擬中似乎十分普遍——大約有三分之一衛星系統以此方式加入。這項分析結果，對於了解銀河系的衛星矮星系奇特的空間分佈，有著重要的衍生涵意。

銀河系衛星矮星系間的相似與分歧

如同之前提到的，本星系群的成員星系有著不同於彼此的性質，這些性質卻同時存在著關連性，而不同星系也有某些共通性。正因如此，一個耐人尋味的問題即是，星系形成及演化的理論模型，是否同樣預測了衛星矮星系間的種種相似與分歧，且理論模型能否產生與實際觀測類似的結果？換句話說，以目前對於銀河系衛星矮星系的觀測資料為基礎，這些資訊能否告訴我們，什麼樣的天文物理過程在這些星系的形成及演化中，扮演著重要的角色？

在第三章中，我們試圖了解銀河系的衛星矮星系的形成及演化過程。我們利用在第二章提到的單一銀河系尺度的數值模擬，結合一系列（由觀測事證啟發）描述一般物質如何演化的半解析處方，建立星系形成及演化的模型。我們所使用的半解析模型，早先分別被應用在整個宇宙尺度，以及單一個類似銀河系的星系尺度，此模型已知能夠合理解釋（並且預測）許多在這些尺度所觀測到的星系性質。然而，這個模型卻很少在銀河系衛星矮星系的尺度下被檢驗過。本章的結論是，將同樣一個能夠良好描述星系在宇宙大尺度眾多性質的理論模型，應用在矮星系的尺度範圍，我們得到的模型結果在許多方面，都令人鼓舞地與實際觀測到的銀河系衛星矮星系相類似。即使我們的研究指出，為了使在大尺度表現良好的模型能夠產生與觀測類似的矮星系，我們必須在模型中引入某些僅僅對矮星系有重大影響的物理處方，以使我們的模型能同時描述不同尺度的星系性質。

近期由各銀河系衛星矮星系成員星的觀測顯示，成員星的運動暗示這些衛星矮星系似乎都有著類似的暗物質質量。這是個非常值得思考的現象，因為這些矮星系在光度上的差異甚大。在第四章中，我們回頭檢驗在第三章中所使用的星系形成演化模型中，理論是否預測矮星系有這種質量類似但光度差異極大的特性。我們發現，在我們理論模型中的矮星系確實有此特性，而這是由於這些矮星系的暗物質暈的質量，在演化早期時，超過了可藉由氫原子將氣體冷卻的臨界值。

測量本星系群及銀河系的個別質量

利用目前對（由宇宙背景輻射的特性所得知的）宇宙年齡，加上銀河系及室女座大星系間的相對速度及距離的知識，我們可以估計本星系群的質量。這個想法就是在一九五九年由 Kahn 與 Woltjer 所提出的著名的「時間論點」(Timing Argument)。他們利用當時對於這三個參數的最佳測量值加上對某些未知數的假設，得到本星系群的質量約在一兆個太陽質量左右，而這個數目遠遠超過在銀河系及室女座大星系的星球及氣體質量總和。在第五章中，我們從一個非常大型的宇宙數值模擬 (Millennium Simulation)，挑選出其中類似於銀河系與室女座大星系的成對星系。利用這些成對星系在數值模擬中已知的實際質量與由「時間論點」所求出的質量，我們可以得到實際質量與「時間論點」給出的質量間的轉換比。我們由模擬的資料中發現，由「時間論點」得出的成對星系質量，與兩星系的暗物質暈的總和，在統計上有很好的非偏向 (unbiased) 相關性。我們的這項研究更因為使用了非常大型的數值模擬，得以找出許多類似於銀河系與室女座大星系的成對星系。使得我們的結果不僅是侷限於實際質量與「時間論點」所得質量間的轉換比的單一數值，同時能給出這個轉換比在統計上的信心水準。將上述由數值模擬所得的質量轉換比分佈應用在本星系群的案例，我們估計本星系群的實際質量，在百分之九十五信心水準上，為五點二七兆太陽質量。