

การกระจายตัวของมวลทั้งหมดและแก๊สในกระจุกกาแล็กซี (Total Mass and Gas Profiles of Clusters of Galaxies)

ธีรวัลย์ ปานกลาง*

*สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา 1061 ถนนอิสรภาพ แขวงหิรัญรูจี เขตธนบุรี กรุงเทพฯ 10600

กระจุกกาแล็กซี (Cluster of Galaxies) เป็นกระจุกกาแล็กซีที่มีกาแล็กซีรวมตัวอยู่เป็นจำนวนมาก โดยได้สำรวจพบว่า กระจุกกาแล็กซีที่มีขนาดเล็กนั้นอาจจะมีจำนวนกาแล็กซีอย่างน้อยเป็นหลักสิบกาแล็กซีในหนึ่งกระจุกกาแล็กซี ส่วนกระจุกกาแล็กซีที่มีขนาดใหญ่อาจจะประกอบไปด้วยกาแล็กซีมากที่สุดถึงจำนวนนับเป็นพันกาแล็กซีต่อหนึ่งกระจุกกาแล็กซี กาแล็กซีที่อยู่ในกระจุกกาแล็กซีจะส่งอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงต่อนักดาราศาสตร์ตั้งสมมุติฐานว่ากระจุกกาแล็กซีนี้นี้เป็นเป็นวัตถุท้องฟ้าที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในเอกภพ และประกอบไปด้วยสสารทุกชนิดที่มีอยู่ในเอกภพรวมเข้าด้วยกันในอัตราส่วนเดียวกันกับอัตราส่วนที่จะพบได้จริงในเอกภพ พื้นที่ส่วนใหญ่ของกระจุกกาแล็กซีจะเป็นพื้นที่ว่างเปล่าถ้าหากสังเกตด้วยตาหรือโดยใช้แสงขาว (Visible lights) แต่เมื่อพิจารณาถึงรูปร่างและการกระจายตัวของกาแล็กซีต่างๆ ในกระจุกกาแล็กซี ทำให้นักดาราศาสตร์สามารถจัดรูปร่างของกระจุกกาแล็กซีได้ (วิภู ธิโรปกรณ์, 2547)

สามารถจัดรูปร่างของกระจุกกาแล็กซีได้ (วิภู ธิโรปกรณ์, 2547)



ภาพที่ 1 กระจุกกาแล็กซี Abell 3558
ที่มา (Sukonthachat and Schindler, 2007)



ภาพที่ 2 กระจุกกาแล็กซี Abell 1689
ที่มา (Lemze et al., 2008)

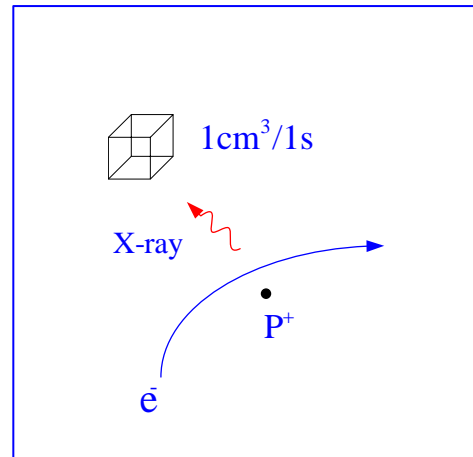
องค์ประกอบของกระจุกกาแล็กซี

กระจุกกาแล็กซีโดยทั่วไปมีมวลรวมทั้งหมดประมาณ $10^{14} - 10^{15}$ เท่าของมวลของดวงอาทิตย์ซึ่งมวลเหล่านี้อาจจะสามารถจัดแบ่งได้เป็นประเภทใหญ่ๆได้ 3 ชนิดคือ

1. มวลที่น้อยที่สุดในกระจุกกาแล็กซีก็คือมวลของกาแล็กซีขนาดใหญ่ที่พบว่ามีประมาณหลายร้อยกาแล็กซีและมวลของกาแล็กซีขนาดเล็กที่มีประมาณหลายพันกาแล็กซี ซึ่งเมื่อรวมมวลทั้งหมดของทุกกาแล็กซีในกระจุกกาแล็กซีใดๆ จะมีค่าเพียงประมาณร้อยละ 5 ของมวลทั้งหมดของกระจุกกาแล็กซีเท่านั้น

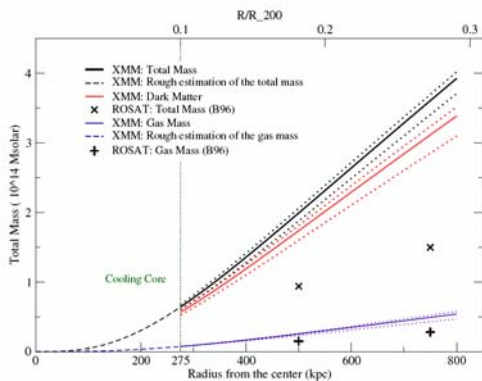
2. มวลที่มีมากเป็นอันดับสองภายในกระจุกกาแล็กซีนั่นก็คือ มวลของตัวกลางระหว่างกาแล็กซี (Intracluster medium หรือ ISM) ตัวกลางกาแล็กซีนี้อาศัยเกิดโดยใช้แสงขาวจะมองเห็นมันเป็นช่องว่างซึ่งจะแสดงเป็นความมืดในภาพถ่าย แต่ถ้าสังเกตช่องว่างเหล่านี้โดยใช้กล้องโทรทรรศน์รังสีเอกซ์จะพบว่ารังสีเอกซ์ปลดปล่อยออกมาจากทุกจุดในช่องว่างนี้จากปรากฏการณ์ เบรมสตราลุง (Bremsstrahlung) ซึ่งก็คือ รังสีเอกซ์จากการถูกหน่วงเมื่ออิเล็กตรอนพลังงานสูงวิ่งด้วยความเร็วเข้าใกล้แสงวิ่งเฉียดเข้าใกล้นิวเคลียสซึ่งมีประจุบวกทำให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนทิศทางหรือ มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วในลักษณะที่

พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนลดลงเป็นเหตุให้พลังงานที่แผ่ออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโฟตอนเป็นรังสีเอกซ์จากการถูกหน่วง ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงปรากฏการณ์ของ Bremsstrahlung ที่มา (King, 1962)

เนื่องจากจำนวนที่อิเล็กตรอนมีมากและแต่ละตัวสูญเสียพลังงานค่าต่างๆ กัน ดังนั้นสเปกตรัมของรังสีเอกซ์ที่แผ่ออกมาจะมีสเปกตรัมต่อเนื่อง และมีทิศทางการปลดปล่อยรังสีเอกซ์ในทุกทิศทาง นักดาราศาสตร์จึงนิยมเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า เทอร์มอลเบรมสตราลุง (Thermal Bremsstrahlung) นักดาราศาสตร์พบว่านิวเคลียสของอะตอมที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์นี้คืออะตอมของไฮโดรเจนที่สูญเสียอิเล็กตรอน หรือก็คือโปรตอนนั่นเอง (H^+ หรือ p^+)



ภาพที่ 4 แสดงการคำนวณหาสสารมืดบริเวณนอกแกนกลางของกระจุกกาแล็กซีที่มา (Sukonthachat and Schindler, 2007)

สำหรับอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูง (relativistic e^-) ที่วิ่งเข้าไปเฉียดนิวเคลียสก็คืออิเล็กตรอนอิสระที่อยู่ในตัวกลางระหว่างกาแล็กซี นอกจากนั้นนักดาราศาสตร์ยังพบอนุภาคที่หนักกว่าอะตอมของไฮโดรเจนอื่นๆ เช่น He^+ , C^+ และ Fe^+ ภายในตัวกลางระหว่างกาแล็กซีด้วย มวลรวมทั้งหมดของตัวกลางระหว่างกาแล็กซีนี้จะมีค่าประมาณร้อยละ 20-25 ของมวลทั้งหมดของกระจุกกาแล็กซี

3. มวลที่มีปริมาณมากที่สุดในการ์จุกกาแล็กซีก็คือ สสารมืด (Dark Matter หรือ DM) ซึ่งมีอยู่ในกระจุกกาแล็กซีคิดเป็นประมาณร้อยละ 70-80 ของมวลรวมทั้งหมดของกระจุกกาแล็กซี สสารมืดเหล่านี้เป็นองค์ประกอบหนึ่งในธรรมชาติซึ่งสมมุติฐานทางด้านฟิสิกส์ดาราศาสตร์และจักรวาลวิทยา คาดว่ามันเป็นสสารที่ไม่ทำปฏิกิริยาใดๆ กับสสารชนิดอื่นๆ ในเอกภพ แต่มันยังคงอยู่

ภายในอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงเช่นเดียวกับทุกสสารภายในเอกภพ นักดาราศาสตร์ในปัจจุบันเชื่อมั่นว่าสสารมืดนี้มีอยู่จริงและกำลังที่จะพยายามสังเกตและค้นหาอยู่ ในการหาตำแหน่งและความหนาแน่นของสสารมืดนี้สามารถหาได้จากการสำรวจกระจุกกาแล็กซีโดยใช้รังสีเอกซ์ การคำนวณหาการกระจายตัวโดยประมาณของสสารมืดในกระจุกกาแล็กซีนั้นสามารถทำได้ ถึงแม้ว่านักดาราศาสตร์ยังไม่ทราบแน่ชัดถึงคุณสมบัติของสสารมืดนั้น นักดาราศาสตร์ได้ตั้งสมมุติฐานว่ากระจุกกาแล็กซีทุกอันอยู่ภายใต้สภาวะสมดุลแบบไฮโดรสตาดิก (Hydrostatic equilibrium) ซึ่งก็คือการสมดุลกันระหว่างแรงโน้มถ่วงของทุกมวลสารภายในกระจุกกาแล็กซี (ซึ่งเป็นแรงดึงดูด) กับแรงดันของตัวกลางระหว่างกาแล็กซี (นักดาราศาสตร์มักจะเรียกว่า แก๊ส เพราะว่าพบพฤติกรรมมีลักษณะคล้ายกับแก๊สที่พบบนโลก) เมื่อกระจุกกาแล็กซีอยู่ภายใต้สมดุลนี้ นักดาราศาสตร์จะสามารถคำนวณหาการกระจายตัวของมวลรวม (Total mass) ของกระจุกกาแล็กซีได้ และจากการสังเกตรังสีเอกซ์ที่ปลดปล่อยมาจากกระจุกกาแล็กซี นักดาราศาสตร์จะสามารถคำนวณหาการกระจายตัวของมวลรวมระหว่างมวลของตัวกลางระหว่างกาแล็กซีและมวลของกาแล็กซีทั้งหมดในกระจุกกาแล็กซี และเมื่อนำการกระจายตัวของมวลทั้งหมดที่รัศมีต่างๆ มาลบด้วยการกระจายตัวของมวลรวมระหว่างมวลของตัวกลางระหว่างกาแล็กซีและมวลของกาแล็กซีทั้งหมด

ที่รัศมีเดียวกันจะทำให้นักดาราศาสตร์สามารถคำนวณหาการกระจายตัวของมวลของสสารมืดได้(ดังแสดงในภาพที่ 4)

การสังเกตการณ์กระจุกกาแล็กซี

เนื่องจากกระจุกกาแล็กซีปลดปล่อยรังสีเอกซ์จากปรากฏการณ์เทอร์มอลเบรมสตราลุง (Thermal Bremsstrahlung) ดังนั้นการสังเกตการณ์กระจุกกาแล็กซีจึงทำได้ดีที่สุดในช่วงความยาวคลื่นรังสีเอกซ์ แต่เนื่องจากสนามแม่เหล็กของโลกได้ป้องกันรังสีเอกซ์จากอวกาศ ดังนั้นนักดาราศาสตร์จึงต้องส่งกล้องโทรทรรศน์รังสีเอกซ์ขึ้นไป ในอวกาศ เพื่อเฝ้าสังเกตการณ์และทำการศึกษารายละเอียดดังกล่าว และในปัจจุบันก็มีหน่วยงานและองค์กรต่างๆ ได้พัฒนาเทคโนโลยีทางด้านอวกาศให้มีประสิทธิภาพสูงมากขึ้น เพื่อให้ได้มีกล้องโทรทรรศน์อวกาศที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับสังเกตวัตถุท้องฟ้าต่างๆ และสำรวจอวกาศในช่วงรังสีเอกซ์ ดังนี้ (Leubner, 2006).

1. CXO (Chandra X-ray Observatory) กล้องโทรทรรศน์อวกาศรังสีเอกซ์จันทราของนาซ่า เป็นกล้องโทรทรรศน์อวกาศรังสีเอกซ์ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดที่กำลังปฏิบัติการอยู่ในอวกาศ ถูกส่งขึ้นสู่อวกาศครั้งแรกเมื่อเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2542 (Sharma *et al.*, 2004)

2. XMM-Newton (X-ray Multimirror Mission Newton) ขององค์กร European Space Agency เป็นกล้องโทรทรรศน์อวกาศ

รังสีเอกซ์ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดเท่าที่มนุษย์ได้ส่งขึ้นสู่อวกาศ



ภาพที่ 5 แสดงลักษณะของกล้อง XMM Newton ที่มา: (Solovyev *et al.*, 2008)



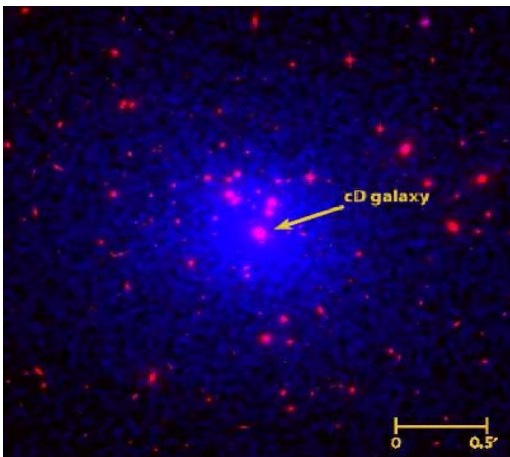
ภาพที่ 6 แสดงลักษณะของกล้อง CXO ที่มา (Xue and Wu, 2002)

3. งานวิจัยทางดาราศาสตร์รังสีเอกซ์และเอกภพวิทยาที่สำคัญ เช่น Doren Lemze และคณะ จากสำนักวิชาฟิสิกส์และดาราศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทลอาวีฟ (Tel Aviv University) ประเทศอิสราเอลได้นำเสนอผลงานที่เป็นการศึกษาเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีคุณภาพสูงของ Hubble Space Telescope (HST)/ACS และดาวเทียมจันทรา

(Chandra) ของกระจุกกาแล็กซี A1689 ผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบถึง โครงร่างการกระจายตัวของมวลอุณหภูมิจากการแผ่รังสีเอ็กซ์ (X-ray emission) และปริมาณของธาตุหนักของกระจุกกาแล็กซีดังกล่าว



ภาพที่ 7 กระจุกกาแล็กซี Abell 1689 เมื่อสังเกตด้วยแสงขาว ที่ีมา (Lemze *et al.*, 2008)



ภาพที่ 8 กระจุกกาแล็กซี Abell 1689 เมื่อสังเกตด้วย X-Rays ที่ีมา (Lemze *et al.*, 2008)

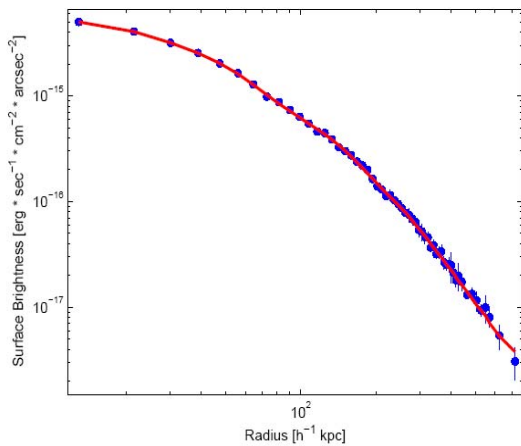
การแผ่รังสีเอ็กซ์ของกระจุกกาแล็กซี A1689 มีลักษณะต่อเนื่องและราบเรียบและ

จากการสังเกตของ Lensing พบว่ามีมวลรวมทั้งหมดของกระจุกกาแล็กซีมีจุดศูนย์กลางอยู่บริเวณศูนย์กลางของกระจุกกาแล็กซี ดังนั้น จากผลการสังเกตทั้งสองนี้ทำให้สรุปได้ว่า กระจุกกาแล็กซีนี้เป็นกระจุกกาแล็กซีแบบสมมาตร

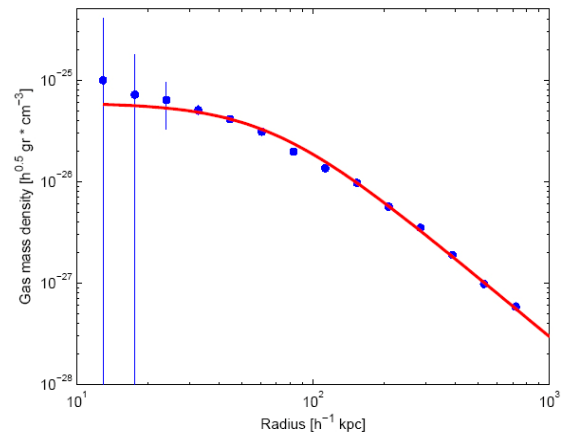
โดยการสมมุติว่ากระจุกกาแล็กซีนี้อยู่ภายใต้สภาวะสมดุลระหว่างแรงโน้มถ่วงและแรงดันแก๊สหรืออยู่ในสภาวะสมดุล ไฮโดรสแตติก (Hydrostatic) ซึ่งสามารถคำนวณหา (3D mass profile) การกระจายตัวของมวลของกระจุกกาแล็กซีนี้ใน 3 มิติ ซึ่งการกระจายตัวของมวลนี้สอดคล้องกันทั้งจากการวิเคราะห์โดยใช้รังสีเอ็กซ์และจากการสังเกตโดยใช้กระบวนการเลนซิง (Lensing) ที่ถูกโปรเจก (project) ในแนวรัศมี

อย่างไรก็ตามยังมีความไม่สอดคล้องของการกระจายของมวลของกระจุกกาแล็กซี โดยมักจะพบว่าการกระจายตัวของมวลของกระจุกกาแล็กซีที่คำนวณโดยใช้การกระจายตัวของอุณหภูมิของกระจุกกาแล็กซีจะมีค่าสูงกว่าการกระจายตัวของมวลที่คำนวณโดยใช้การกระจายตัวของรังสีเอ็กซ์จากกระจุกกาแล็กซีประมาณร้อยละ 30 ในทุกๆ ช่วงรัศมี ซึ่งความไม่สอดคล้องนี้ได้พบโดยทั่วไปในการสังเกตกระจุกกาแล็กซีชนิดสมมาตรอื่นๆ ผลการสังเกตนี้สนับสนุนผลการคำนวณจากการทำแบบจำลองไฮโดรไดนามิก (Hydrodynamic) ที่เผยแพร่ในเร็วๆ นี้ ที่ว่าผลจากการปลดปล่อยรังสีเอ็กซ์ที่มาจากวัตถุท้องฟ้าขนาดเล็กๆภายในกระจุกกาแล็กซีจะสามารถส่งผล

กระทบต่อสเปกตรัมของกระจุกกาแล็กซี และ ผลกระทบนี้จะส่งผลถึงการคำนวณหา อุณหภูมิของกระจุกกาแล็กซีได้โดยประมาณ เท่ากับที่พบในการศึกษา A1689 นี้ (ประมาณ ร้อยละ 30) (Elizabeth *et al.*, 2002)



ภาพที่ 9 ทีมวิจัยได้ทำการฟิต (fit) ข้อมูล พื้นผิวในแนวล้อมด้วยรังสีเอกซ์ที่ได้มาจาก โมเดล Independent (เส้น โคนิ่งสีแดง) และได้ ทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการ ทดลอง (จุดสีน้ำเงิน) จะเห็นได้ว่าทั้งข้อมูล และโมเดลเมื่อนำมาทำการฟิตค่าข้อมูลมี ความถูกต้องค่อนข้างมาก
ที่มา (Lemze *et al.*, 2008)



ภาพที่ 10 การกระจายตัวของความหนาแน่น ของแก๊สในแนวล้อม (จุดสีน้ำเงิน) ที่ คณะผู้วิจัยได้นำเอาไปเปรียบเทียบกับ ข้อมูลของ MME99 (เส้น โคนิ่งสีแดง) จาก กราฟจะสังเกตเห็นได้ว่าบริเวณตรงกลางกระจุก กาแล็กซีจะมีค่าความผิดพลาดค่อนข้างมาก แต่ก็ยังพอยอมรับได้
ที่มา (Lemze *et al.*, 2008)

บทสรุป

จากกราฟความสัมพันธ์ (ภาพที่ 9 และ 10) ทำให้ทราบถึงการกระจายตัวของ มวลทั้งหมดในแนวล้อมโดยบริเวณตรงใจ กลางของกระจุกกาแล็กซีจะมีค่าความ ผิดพลาดค่อนข้างมากเพราะเนื่องมาจาก บริเวณใจกลางของกระจุกกาแล็กซีจะมีตัว รบกวนค่อนข้างมากทำให้ข้อมูลเกิดความ ผิดพลาด อย่างไรก็ตามทำให้ได้ความ หนาแน่นจาก Gas mass = density × atomic mass (P^+) × volume เมื่อทราบความหนาแน่น ของแก๊สจะสามารถหา Gas mass ได้ เมื่อได้ Gas mass ก็จะสามารถหาสสารมืด (Dark matter)

ได้ โดยการนำเอามวลรวมของกระจุกกาแล็กซี
ลบด้วยมวลของแก๊ส และนี่ก็เป็นอีกหนึ่งวิธี
ของการศึกษาหาสารมืดว่าสารมืดมีอยู่จริง
และถ้าหากทำการศึกษาจนทราบแน่ชัดว่า
สารมืดส่วนใหญ่อยู่ตรงไหน โดยไม่ใช่แค่
การประมาณนักดาราศาสตร์และนักฟิสิกส์จะ
ได้นำข้อมูลเหล่านี้ไปให้กับวิศวกรออกแบบ
เครื่องมือที่จะช่วยให้การศึกษาได้แน่นอนและ
มีความแม่นยำมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

วิญญู ใจปการ. (2547). เอกภพเพื่อความเข้าใจ
ในธรรมชาติของจักรวาล.
กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์นานมีบุ๊คส์
พับลิเคชั่นส์.

Lemze, D., *et al.* (2008). **Mass and Gas
Profiles in A1689: Joint X-ray and
Lensing Analysis.** Retrieved July 5,
2010, from [http://arxiv.org/abs/0711.
3908v2](http://arxiv.org/abs/0711.3908v2)

Elizabeth, L., *et al.* (2002). **Chandra
Observation of the Cooling Flow
Cluster Abell 2052.** Retrieved July
9, 2012, from [http://arxiv.org/abs/
astro-ph/0211027v1](http://arxiv.org/abs/astro-ph/0211027v1)

King, I. (1962). The structure of star
clusters I: an empirical density
law. **A. J.**, 67: 471.

Leubner, M.P. (2006). **Dark matter and gas
density profiles-a consequence of
entropy bifurcation.** AIPC, 861,
928L.

Sharma, M., *et al.* (2004). **A Chandra X-ray
Observation of Abell 1991.**
Retrieved July1, 2012, from [http://
arxiv.org/abs/astro-ph/0405336v1](http://arxiv.org/abs/astro-ph/0405336v1)

Solovyev, L., *et al.* (2008). **The dynamical
state of A548 from XMM-Newton
data: X-ray and radio Connection.**
Retrieved April 24, 2012, from
<http://arxiv.org/abs/0804.3607v2>

Sukonthachat, J. (2005). The Cluster of
Galaxies Abell 3558. **Cluster of
Galaxies.**

Sukonthachat, J. and Schindler, S. (2007).
**The Cluster of Galaxies Abell 3558:
An implication for cosmology.**
Thailand-Korea Joint Workshop on
Stellar Astrophysics.

Xue, S.J. and Wu, X.P. (2002). **Chandra
observation of Abell 1689.**
Retrieved June 4, 2012, from
<http://arxiv.org/abs/astro-ph/0204510v1>