

บทที่ 6

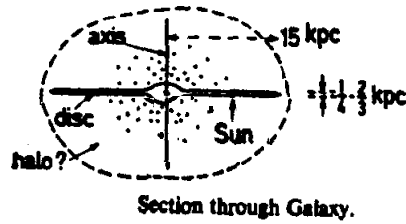
จุดกำเนิดของรังสีคอสมิก

เนื่องจากรังสีคอสมิกแผ่ขยายไปทั่วทั้งอวกาศซึ่งจะเป็นแบบสม่ำเสมอเป็นส่วนใหญ่ จนทำให้เราไม่สามารถหาแหล่งกำเนิดที่แน่ชัดของมันได้ แต่ปัญหานี้จะแก้ได้ถ้าเราพบรังสีคอสมิกจำนวนมาก ๆ อยู่ในบริเวณใดบริเวณหนึ่งในอวกาศ ความจริงแล้วความหนาแน่นของพลังงานของรังสีคอสมิกซึ่งอยู่ห่างจากอิทธิพลของระบบสุริยะ มีค่าประมาณ 1.0 eV-cm^{-3} (ซึ่งจริง ๆ แล้วประมาณ 0.6 eV-cm^{-3} ที่มาถึงเราในภาวะที่ solar activity มีค่าต่ำสุด) เปรียบเทียบกับการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ในโลกล้อม ซึ่งมีค่าประมาณ $2.9 \times 10^7 \text{ eV-cm}^{-3}$ จะเห็นว่ามีความน้อยมาก แต่ถ้าหากอนุภาคคอสมิกดังกล่าวแผ่ขยายผ่านไปทั่วจานกาแล็กซี่ (galactic disk) แล้วความหนาแน่นของพลังงานของรังสีคอสมิกดังกล่าวจะมีค่ามาก เมื่อเปรียบเทียบกับแสงดาว (stars) ซึ่งมีค่าประมาณ 0.6 eV-cm^{-3} หรือถ้าเป็นแสงจากกาแล็กซี่อื่น ๆ (extragalactic sources) ซึ่งมีค่าประมาณ 0.006 eV-cm^{-3}

ในปัจจุบันนี้เครื่องมือที่ทันสมัยสามารถส่งขึ้นไปศึกษาในอวกาศได้ จึงมีการสนใจแหล่งกำเนิดของรังสีคอสมิกมากขึ้น มีการพบว่ารังสีคอสมิกในอวกาศเป็นรังสีที่เคลื่อนที่ไปเป็นระยะอันไกลแสนไกล และเป็นเวลานานมาแล้ว การศึกษาทางดาราศาสตร์นี้ส่วนหนึ่งก็ศึกษาจากรังสีคอสมิกด้วย เนื่องจากรังสีคอสมิกเป็นส่วนหนึ่งของวัฏจักรอยู่นอกโลก แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ให้จากรังสีคอสมิกต่อทางดาราศาสตร์ค่อนข้างจะน้อยและไม่ค่อยดีเท่าจากการศึกษาทางแสงและคลื่นวิทยุ รังสีคอสมิกกับดาราศาสตร์มีส่วนสัมพันธ์กันมาก โดยเฉพาะการศึกษาแหล่งกำเนิดของมันจึงจำเป็นต้องรู้จักกับจักรวาลและดวงดาวด้วย

6.1 โครงสร้างของกาแล็กซี่ (Our galaxy)

เมื่อเรามองให้กว้างออกไปกว่าระบบสุริยะแล้วระบบที่เราอยู่ก็คือกาแล็กซี่ของเราซึ่งมีลักษณะเป็น spiral galaxy (ชนิด Sb) ดวงดาวในกาแล็กซี่ของเราส่วนใหญ่จะอยู่รวมกันเป็นลักษณะแผ่นจานกลม (disk) ดังรูปที่ 6-1 มีมวลประมาณ $1-2 \times 10^{11}$ เท่าของมวลระบบสุริยะ รัศมีของ



รูปที่ 6-1 ลักษณะกาแล็กซี่ของเรา

disk นี้ประมาณ 15 kpc (1 pc, หรือ parsec = 3.26 ปีแสง $\approx 3.09 \times 10^{18}$ ซม.) และมีบางส่วนของดวงดาวในกาแล็กซี่ของเราที่อยู่ห่างออกไปจาก the disk และรวมกันเป็น globular clusters ดวงดาวที่อยู่นอก the disk และดาวกลุ่มที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง (กว่าภายใน the disk) จะมีวงโคจรไปতিক ๆ กับ the disk ซึ่งทำให้กาแล็กซี่ของเรามีส่วนกลม (spherical system) ไปด้วย เราเรียกดาวพวกนี้ population II type stars ดวงดาวส่วนใหญ่จะรวมกันอยู่ใน the disk ซึ่งเป็น population I ความหนาแน่นของดวงดาวใน the disk ใกล้เคียง ๆ ระบบสุริยะมีค่าประมาณ 0.1 (pc)^{-3} แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 10^2 (pc)^{-3} ในบริเวณที่เรียกว่านิวเคลียส จำนวนดวงดาวทั้งหมดในกาแล็กซี่มีขนาดประมาณ 10^{11}

ดวงอาทิตย์เป็นดาวขนาดมาตรฐานดวงหนึ่ง มีมวลและกำลังส่องสว่างดังนี้

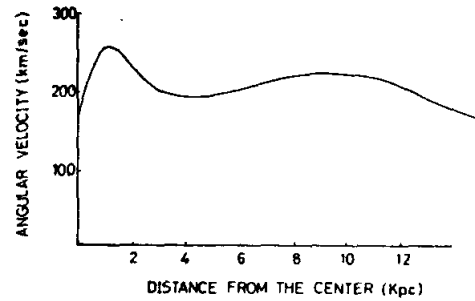
$$\text{มวลดวงอาทิตย์} = M_{\text{sun}} = 1.99 \times 10^{33} \text{ g}$$

$$\text{กำลังส่องสว่าง} = 3.90 \times 10^{33} \text{ erg - sec}^{-1}$$

ดวงอาทิตย์จะอยู่ใกล้กับระนาบในแนวแกนของ **the disk** โดยมีระยะห่างจากจุดศูนย์กลางกาแล็กซี่ประมาณ 10 kpc ซึ่งเมื่อพิจารณาตามโครงสร้างของแกนกาแล็กซี่แล้วมันจะอยู่ในตำแหน่งใกล้กับส่วนที่เริ่มเว้าแบน (ใกล้โคโรนา)

ในการศึกษาโครงสร้างของแขนกาแล็กซี่ (**arm structure**) จะเข้าใจได้ง่ายจากการศึกษาการกระจายของแก๊ส เราทราบกันแล้วว่าแก๊สส่วนใหญ่ประกอบด้วยอะตอมที่เป็นกลาง (**neutral atoms**) และโมเลกุลบริเวณที่อยู่ของพวกอะตอมไฮโดรเจนที่เป็นกลางจำนวนมาก ๆ เรียกว่า **H I cloud** ซึ่งจะสังเกตเห็นได้จากการศึกษาลักษณะของ **hyperfine line** ซึ่งมีความยาวคลื่น 21 cm . **H I clouds** จะมีขนาด 1 ใน 10 ของปริมาตร **the disk** และความหนาแน่นของอะตอมและอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 10 cm^{-3} และ 100° K ตามลำดับ มีความเร็วเฉลี่ย (**rms velocities**) ขนาดประมาณ $10 \text{ km} - \text{sec}^{-1}$ และประมาณ 9 ใน 10 ของปริมาตร **Galactic - disk** บริเวณตรงกลางจะเป่าพวก **ionized gases** เรียกว่า บริเวณ **H II** ความหนาแน่นของอนุภาคและอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 0.1 cm^{-3} และ 10^4 K ตามลำดับ ความหนาแน่นจะน้อยกว่าดาวที่อยู่คั่นในแขนและดาวพวกนี้เป็นดาวที่ร้อน (**hot stars**) และเก่าแก่กว่า (**old stars**) ดาวที่อยู่ตามแขนซึ่งเป็นดาวรุ่นหนุ่ม (**younger stars**) ซึ่งอุณหภูมิเฉลี่ยแล้วร้อนน้อยกว่า นอกจากนี้ยังพบโมเลกุลแบบอื่นที่มีปะปนอยู่ในกลุ่ม **H I clouds** เช่น พวก **OH** แต่อย่างไรก็ตามความหนาแน่นน้อยมากประมาณ 10^{-7} cm^{-3} หรือน้อยกว่า

มีการพบว่า **the Doppler shift** ของเส้นความยาวคลื่น 21 cm . ทำให้ทราบว่ามีการหมุนของกาแล็กซี่ ความเร็วเชิงมุมของดวงดาวต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับระยะห่างจากศูนย์กลาง ดังรูปที่ 6-2 ทำให้เกิดการหมุนด้วยความเร็วต่าง ๆ กันอันก่อให้เกิดการม้วนตัวทำให้มีแขนยื่นออกไปจากแกนกลาง (**nucleus**) กาแล็กซี่ มีการประมาณว่าลักษณะกาแล็กซี่ปัจจุบันนี้ซึ่งมีแขนยื่นออกไปนี้มีมาเป็นเวลาประมาณ 4×10^8 ปีมาแล้ว และความเร็วเชิงมุมมีค่าเท่ากับในปัจจุบัน แขนดังกล่าวนี้เปรียบเสมือนรูปแบบหนึ่งของคลื่นที่เกิดขึ้นในระหว่างดวงดาว (**interstellar gas**) ใน **the disk** ที่โคจรด้วยความเร็วต่าง ๆ กัน และมีการพบว่ามีความเร็วในเชิงรัศมีออกจากแกนกลางแก๊สเหล่านี้



รูปที่ 6-2 ความเร็วเชิงมุมของดวงดาวในกาแล็กซี่ขึ้นอยู่กับระยะห่างจาก
จุดศูนย์กลางของจาน (the disk)

(เสียมวลออกไป) ด้วยอัตราประมาณ $1 M_{\text{sun}}$ ต่อปี จึงมีการประมาณว่าจะทำให้เกิดการว่างเปล่า บริเวณแกนกลางภายใน 10^6 ปีข้างหน้าถ้าหากไม่มีมวลจากที่อื่นเข้ามาทดแทน มีบางทฤษฎีบอกว่ามีเข้ามาทดแทนจากบริเวณที่อยู่รอบ ๆ ของดวงดาวส่วนใหญ่ที่เรียกว่า the halo เกิดเนื่องจากการหมุนเวียนของสสารจากนิวเคลียสไปข้างนอกแล้วจากข้างนอกเข้ามาข้างในอีก

6.2 ส่วนประกอบของซากดึกดำบรรพ์ ที่มีในกาแล็กซี่

การเปรียบเทียบซากดึกดำบรรพ์ ว่ามีมากน้อยแค่ไหนในกาแล็กซี่นั้นพิจารณาจากแหล่งต่าง ๆ พบว่า ใต้ผลที่ค่อนข้างจะเหมือนกัน ที่นิวโลก็ศึกษาจากแร่ซากดึกดำบรรพ์ ทางธรณีวิทยาซึ่งก็เป็นแหล่งที่น่าเชื่อถือ ใต้แหล่งหนึ่ง แร่ซากดึกดำบรรพ์ที่มีซากดึกดำบรรพ์รวมทั้งที่หายากและพวกไอโซโทปที่มีอายุยาว

ลูกอุกกาบาตเป็นสิ่งที่เราได้ออกจากนอกโลก เอมามาศึกษาทาง เคมีและฟิสิกส์ ผลที่ได้ก็เหมือนกับที่ ใต้จากตัวอย่างในโล ก็ทำให้เชื่อได้ว่ามีความกำเนิดมาจากแหล่งเดียวกัน ถึงแม้ความแตกต่างจะมีบ้างอันเนื่องมาจากกรรมวิธีทาง เคมี และผลจากการแผ่รังสีคอสมิก จากการศึกษาตัวอย่างทั้งในโลกและจากลูก

อุกกาบาตพบว่าตัวอย่าง เหล่านี้กำลังมีธาตุบางอย่างน้อยลง ธาตุพวกนี้เป็นพวกที่ระเหยง่าย (volatile elements) เช่น ไฮโดรเจนและฮีเลียม นักวิทยาศาสตร์พบว่าธาตุเหล่านี้ก็หลุดออกไปเรื่อย ๆ นานมาแล้ว เนื่องจากแรงโน้มถ่วง มีไม่พอที่จะป้องกันไม่ให้หลุดออกไปเนื่องจากพลังงานความร้อน (thermal motion) ของธาตุ ซึ่งเป็นความจริง เมื่อพิจารณาธาตุต่าง ๆ ที่มีในดวงอาทิตย์ เพราะในดวงอาทิตย์มีธาตุที่ระเหยง่ายเป็นจำนวนมากและหลุมมาอยู่เรื่อย ๆ ส่วนธาตุอื่น ๆ มีขนาดเล็กใกล้เคียงกับที่มีในโลกและอุกกาบาต ส่วนใหญ่ของธาตุโดยเฉพะที่ศึกษาจากดวงอาทิตย์จะประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจนและฮีเลียม ในบรรยากาศของดาวเคราะห์ดวงใหญ่ ๆ เช่น ดาวพฤหัสบดี พบว่ามีไฮโดรเจนเป็นส่วนใหญ่

จากการศึกษาธาตุต่าง ๆ ในอุกกาบาตของ H.E. Suess และจากดวงอาทิตย์ของ L.H. Aller พบว่านอกจากธาตุที่ระเหยง่ายและฮีเลียมแล้วธาตุอื่น ๆ มีสัดส่วนที่สอดคล้องกัน ดังตารางที่ 6-1

มีการศึกษานอกระบบสุริยะพบว่าธาตุต่าง ๆ ในดวงดาวมีสัดส่วนที่สอดคล้องกันในดวงอาทิตย์ แต่อย่างไรก็ตามในดวงดาวที่คล้ายดวงอาทิตย์ไม่สามารถศึกษาธาตุบางอย่างได้ เช่น พวก rare gases เพราะผิวของดวงดาวดังกล่าวไม่ร้อนพอที่จะทำให้อะตอมเหล่านั้นหลุดออกมาได้ ดังนั้นเราจะศึกษาได้เฉพาะจากดาวพวกที่ร้อนมาก ๆ (high - temperature stars) ชนิด O, B และ A และใน nebulae อื่น ๆ

ตารางที่ 6-1 เป็นการเปรียบเทียบปริมาณธาตุต่าง ๆ ใน logarithmic scale จาก 3 แหล่ง คือ จากดวงอาทิตย์และดาวอุณหภูมิสูง (normalized to hydrogen) จากดวงอาทิตย์และในลูกอุกกาบาต (normalized to silicon) นอกจากฮีเลียมแล้วธาตุอื่น ๆ ใกล้เคียงกัน จากการศึกษารวมของทั้งสองคนดังกล่าวจะเห็นว่ากาแล็กซี่ของเราประกอบด้วยธาตุต่าง ๆ มีตั้งแต่ไฮโดรเจน atomic number = 1 ถึง ยูเรเนียม - 92 และมากกว่าประกอบกันขึ้นเป็นจักรวาล จะเห็นว่าเป็นส่วนที่แสงสว่างประกอบของรังสีคอสมิกโดยตรง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบธาตุต่าง ๆ ที่ค้นพบของทั้ง 2 คน ดังกล่าวสรุปได้ดังนี้

Table 6.1 Abundances of the Elements
(Logarithmic Scale)

Atomic Number and Element	Abundance			Atomic Number and Element	Abundance		
	Sun	High- Tem- perature Stars	Meteor- ites		Sun	High- Tem- perature Starr	Meteor- ites
1 H	12.00	12.00		44 Ru	1.82		1.82
2 He		11.21		45 Rh	1.37		1.35
3 Li	0.96		3.50	46 Pd	1.27		1.61
4 Be	2.36		2.70	47 Ag	1.04		1.04
5 B			2.80	48 Cd	1.66		1.78
6 C	8.72	8.30		49 In	1.28		0.91
7 N	7.98	8.18		50 Sn	2.05		1.62
8 O	8.96	8.78		51 Sb	0.42		0.58
9 F		(6.55)	3.98	52 Te			0.70
10 Ne		8.72		53 I			1.68
11 Na	5.44		6.14	55 Cs			1.61
12 Mg	7.40	7.95	7.46	56 Ba	2.50		2.44
13 Al	6.20	6.22	6.48	57 La			1.82
14 Si	7.50	7.45	7.50	58 Ce			1.86
15 P	5.34	5.49	5.20	59 Pr			1.48
16 S	7.30	7.49	6.49	60 Nd			2.02
17 Cl		6.22	4.82	62 Sm			1.54
18 A		6.92		63 Eu			0.95
19 K	4.66		5.00	64 Gd			1.70
20 Ca	6.15		6.19	65 Tb			1.22
21 SC	2.80		2.95	66 Dy			1.80
22 Ti	4.68		4.89	67 Ho			1.26
23 V	3.70		3.84	68 Er			1.70
24 Cr	5.02		5.39	69 Tm			0.96
25 Mn	4.90		5.34	70 Yb	2.28		1.68
26 Fe	6.57		7.28	71 Lu			1.18
27 Co	4.64		4.76	72 Hf			1.24
28 Ni	5.91		5.94	73 Ta			1.00
29 Cu	3.50		3.83	74 W			2.61
30 Zn	3.52		3.76	75 Re			0.20
31 Ga	2.51		2.56	76 Os			1.48
32 Ge	2.49		3.31	77 Ir			0.99
33 As				78 Pt			1.68
34 Se				79 Au			0.65
35 Br				80 Hg			-0.72
37 Rb	2.48		2.31	81 Tl			0.54
38 Sr	2.70		2.78	82 Pb	1.33		0.59
39 Y	3.20		2.45	83 Bi			0.82
40 Zr	2.65		3.24	90 Th			0.02
41 Cb	2.30		1.40	92 U			-0.25
42 Mo	2.30		1.88				

ทำให้เกิดจานกาแลคซี (**the Galactic disk**) ขึ้นมา ซึ่งหมายถึงว่าเมื่อศึกษาตามแบบฉบับการกระจายของแก๊สนั้นก็จะทำให้พวกที่หล่นลงมารวมประกอบกันเป็นพวกที่มีมวลเพิ่มขึ้นอยู่ในบริเวณ **disk**

