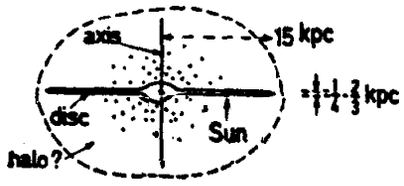
บทที่ 6
จุดกำเนิดของรังสีคอสมิค

เนื่องจากรังสีคอสมิคแผ่ขยายไปทั่วทั้งอวกาศซึ่งจะเป็นแบบสม่ำเสมอเป็นส่วนใหญ่ จนทำให้เราไม่สามารถหาแหล่งกำเนิดที่แน่นอนของมันได้ แต่ปัญหานี้จะแก้ได้ถ้าเราพบรังสีคอสมิคจำนวนมาก ๆ อยู่ ณ บริเวณใดบริเวณหนึ่งในอวกาศ ความจริงแล้วความหนาแน่นของพลังงานของรังสีคอสมิคซึ่งอยู่ห่างจากอิทธิพลของระบบสุริยะ มีค่าประมาณ 1.0 eV-cm^{-3} (ซึ่งจริง ๆ แล้วประมาณ 0.6 eV- cm^{-3} ที่บริเวณเราในภาวะที่ solar activity มีค่าต่ำสุด) เปรียบเทียบกับการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ใกล้โลก ซึ่งมีค่าประมาณ 2.9 X 10^{7} eV-cm^{-3} จะเห็นว่ามีค่าน้อยมาก แต่ถ้าหากอนุภาคคอสมิคดังกล่าวแผ่ขยายผ่านไปทั่วจานกาแลกซี (galactic disk) แล้วความหนาแน่นของพลังงานของรังสีคอสมิคดังกล่าวจะมีค่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับแสงดาว (stars) ซึ่งมีค่าประมาณ 0.6 eV-cm^{-3} หรือถ้าเป็นแสงจากกาแลกซีอื่น ๆ (extragalactic sources) ซึ่งมีค่าประมาณ 0.006 eV-cm^{-3}

ในปัจจุบันนี้มีเครื่องมือที่ทันสมัยสามารถส่งขึ้นไปศึกษาในอวกาศได้ จึงมีการสนใจแหล่งกำเนิดของรังสีคอสมิคมากขึ้น มีการพบว่ารังสีคอสมิคในอวกาศเป็นรังสีที่เคลื่อนที่ไปเป็นระยะอันไกลแสนไกลและเป็นเวลานานมาแล้ว การศึกษาทางดาราศาสตร์นั้นส่วนหนึ่งก็ศึกษาจากรังสีคอสมิคด้วย เนื่องจากรังสีคอสมิคเป็นส่วนหนึ่งของวัตถุที่อยู่นอกโลก แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้จากรังสีคอสมิคต่อทางดาราศาสตร์ ค่อนข้างจะน้อยและ ไม่ดีเท่าจากการศึกษาทางแสงและคลื่นวิทยุ รังสีคอสมิคกับดาราศาสตร์มีส่วนสัมพันธ์กันมาก โดยเฉพาะการศึกษาแหล่งกำเนิดของมันจึงจำเป็นต้องรู้จักกับจักรวาลและดวงดาวด้วย

6.1 โครงสร้างของกาแลกซี (Our galaxy)

เมื่อเรามองให้กว้างออกไปกว่าระบบสุริยะแล้วระบบที่เราอยู่ก็คือกาแลกซี ของเราซึ่งมีลักษณะเป็น spiral galaxy (ชนิด Sb) ดวงดาวในกาแลกซีของเราส่วนใหญ่จะอยู่รวมกันเป็นลักษณะแผ่นจานกลม (disk) ดังรูปที่ 6-1 มีมวลประมาณ 1-2 X 10^{11} เท่าของมวลระบบสุริยะ รัศมีของ



Section through Galaxy.

รูปที่ 6-1 ลักษณะกาแลกซีของเรา

disk นี้ประมาณ 15 kpc (1 pc,หรือ parsec = 3.26 ปีแสง ≃ 3.09 X 10^{18} ซม.) และมีบางส่วนของดวงดาวในกาแลกซีของเราที่อยู่ห่างออกไปจาก the disk และรวมกันเป็น globular clusters ดวงดาวที่อยู่นอก the disk และดาวกลุ่มที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง (กว่าภายใน the disk) จะมีวงโคจรไปคิด ๆ กับ **the disk** ซึ่งทำให้กาแลกซีของเรามีส่วนกลม (spherical system) ไปด้วย เราเรียกดาวพวกนี้ **population II type stars** ดวงดาวส่วนใหญ่จะรวมกันอยู่ใน **the disk** ซึ่งเป็น population I ความหนาแน่นของดวงดาวใน **the disk** ใกล้ ๆ ระบบสุริยะมีค่าประมาณ 0.1 $(pc)^{-3}$ แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ $10^{2}(pc)^{-3}$ ในบริเวณที่เรียกว่านิวเคลียส จำนวนดวงดาวทั้งหมดในกาแลกซีมีขนาดประมาณ 10^{11}

ดวงอาทิตย์เป็นดาวขนาดมาตรฐานดวงหนึ่ง มีมวลและกำลังส่องสว่างดังนี้

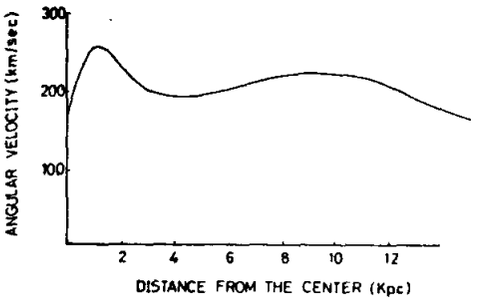
มวลดวงอาทิตย์ = M_{sun} = 1.99 X 10^{33} g

กำลังส่องสว่าง = 3.90 X 10^{33} erg - sec^{-1}

ดวงอาทิตย์จะอยู่ใกล้กับระนาบในแนวแกนของ the disk โดยมีระยะห่างจากจุดศูนย์กลางกาแลกซี ประมาณ 10 kpc ซึ่งเมื่อพิจารณาตามโครงสร้างของแกนกาแลกซีแล้วมันจะอยู่ในตำแหน่งใกล้กับส่วนที่เริ่มเป็นแขน (ใกล้โคนแขน)

ในการศึกษาโครงสร้างของแขนกาแลกซี (arm structure) จะเข้าใจได้ง่ายจากการศึกษาการกระจายของแกส เราทราบกันแล้วว่าแกสส่วนใหญ่ประกอบขึ้นจากอะตอมที่เป็นกลาง (neutral atoms) และโมเลกุลบริเวณที่อยู่ของพวกอะตอมไฮโดรเจนที่เป็นกลางจำนวนมาก ๆ เรียกว่า H I cloud ซึ่งจะสังเกตพบได้จากการศึกษาลักษณะของ hyperfine line ซึ่งมีความยาวคลื่น 21 ซ.ม. H I clouds จะมีขนาด 1 ใน 10 ของปริมาตร the disk และความหนาแน่นของอะตอมและอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 10 cm^{-3} และ 100° K ตามลำดับ มีความเร็วเฉลี่ย (rms velocities) ขนาดประมาณ 10 km - sec^{-1} และประมาณ 9 ใน 10 ของปริมาตร Galactic - disk บริเวณตรงกระเปาะกลางจานจะเป็นพวก ionized gases เรียกว่า บริเวณ H II ความหนาแน่นของอนุภาคและอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 0.1 cm^{-3} และ 10^4 ° K ตามลำดับ ความหนาแน่นจะน้อยกว่าดาวที่อยู่อัดกันในแขนและดาวพวกนี้เป็นดาวที่ร้อน (hot stars) และเก่าแก่กว่า (old stars) ดาวที่อยู่ตามแขนซึ่งเป็นดาวรุ่นหนุ่ม (younger stars) ซึ่งอุณหภูมิเฉลี่ยแล้วร้อนน้อยกว่า นอกจากนี้ยังพบโมเลกุลแบบอื่นที่มีปะปนอยู่ในกลุ่ม H I clouds เช่น พวก OH แต่อย่างไรก็ตามความหนาแน่นน้อยมากประมาณ 10^{-7} cm^{-3} หรือน้อยกว่า

มีการพบว่ามี the Doppler shift ของเส้นความยาวคลื่น 21 ซ.ม. ทำให้ทราบว่ามีการหมุนของกาแลกซี ความเร็วเชิงมุมของดวงดาวต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับระยะห่างจากศูนย์กลาง ดังรูปที่ 6- 2 ทำให้เกิดการหมุนด้วยความเร็วต่าง ๆ กันอันก่อให้เกิดการม้วนตัวทำให้มีแขนยื่นออกไปจากแกนกลาง (nucleus) กาแลกซี มีการประมาณว่าลักษณะกาแลกซีปัจจุบันนี้ซึ่งมีแขนยื่นออกไปนี้มีมาเป็นเวลาประมาณ 4 X 10^8 ปีมาแล้ว และความเร็วเชิงมุมมีค่าเท่ากับในปัจจุบัน แขนดังกล่าวนี้คือเปรียบเสมือนรูปแบบหนึ่งของคลื่นที่เกิดขึ้นในระหว่างดวงดาว (interstellar gas) ใน the disk ที่โคจรด้วยความเร็วต่าง ๆ กัน และมีการพบว่ามีความเร็วในเชิงรัศมีออกจากแกนกลางแกสเหล่านี้



รูปที่ 6-2 ความเร็วเชิงมุมของดวงดาวในกาแลกซีขึ้นอยู่กับระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของจาน (the disk)

(เสียมวลออกไป) ด้วยอัตราประมาณ 1 M_{sun} ต่อปี จึงมีการประมาณว่าจะทำให้เกิดการว่างเปล่าบริเวณแกนกลางภายใน 10^8 ปีข้างหน้าถ้าหากไม่มีมวลจากที่อื่นเข้ามาทดแทน มีบางทฤษฎีบอกว่ามีเข้ามาทดแทนจากบริเวณที่อยู่รอบ ๆ ของดวงดาวส่วนใหญ่ที่เรียกว่า the halo เกิดเนื่องจากการหมุนเวียนของสารจากนิวเคลียสไปข้างนอกแล้วจากข้างนอกเข้ามาข้างในอีก

6.2 <u>ส่วนประกอบของธาตุต่าง ๆ ที่มีในกาแลกซี</u>

การเปรียบเทียบธาตุต่าง ๆ ว่ามีมากน้อยแค่ไหนในกาแลกซีนั้นพิจารณาจากแหล่งต่าง ๆ พบว่าได้ผลที่ค่อนข้างจะเหมือนกัน ที่ผิวโลกก็ศึกษาจากแร่ธาตุต่าง ๆ ทางธรณีวิทยาซึ่งก็เป็นแหล่งที่น่าเชื่อถือได้แหล่งหนึ่ง แร่ธาตุที่ศึกษาก็มีธาตุทุกชนิดรวมทั้งที่หายากและพวกไอโซโทปที่มีอายุยาว

ลูกอุกกาบาตเป็นสิ่งที่เราได้จากนอกโลกเอามาศึกษาทางเคมีและฟิสิกส์ ผลที่ได้ก็เหมือนกับที่ได้จากตัวอย่างในโลก จึงทำให้เชื่อได้ว่ามีกำเนิดมาจากแหล่งเดียวกัน ถึงแม้ความแตกต่างจะมีบ้างอันเนื่องมาจากกรรมวิธีทางเคมี และผลจากการแผ่รังสีคอสมิค จากการศึกษาตัวอย่างทั้งในโลกและจากลูก

อุกกาบาตพบว่าตัวอย่างเหล่านี้กำลังมีธาตุบางอย่างน้อยลง ธาตุพวกนี้เป็นพวกที่ระเหยง่าย (**volatile elements**) เช่น ไฮโดรเจนและฮีเลียม นักวิทยาศาสตร์พบว่าธาตุเหล่านี้ได้หลุดออกไปเรื่อย ๆ นานมาแล้ว เนื่องจากแรงโน้มถ่วง มีไม่พอที่จะป้องกันไม่ให้หลุดออกไปเนื่องจากพลังงานความร้อน (**thermal motion**)ของธาตุ ซึ่งเป็นความจริงเมื่อพิจารณาธาตุต่าง ๆที่มีในดวงอาทิตย์ เพราะในดวงอาทิตย์มีธาตุที่ระเหยง่ายเป็นจะนวนมากและหลุดมาอยู่เรื่อย ๆ ส่วนธาตุอื่น ๆ มีขนาดใกล้เคียงกับที่มีในโลกและอุกกาบาต ส่วนใหญ่ของธาตุโดยเฉพาะที่ศึกษาจากดวงอาทิตย์จะประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจนและฮีเลียม ในบรรยากาศของดาวเคราะห์ดวงใหญ่ ๆ เช่น ดาวพฤหัสบดี พบว่ามีไฮโดรเจนเป็นส่วนใหญ่

จากการศึกษาธาตุต่าง ๆ ในอุกกาบาตของ **H.E. Suess** และจากดวงอาทิตย์ของ **L.H. Aller** พบว่านอกจากธาตุที่ระเหยหายและลิเธียมแล้วธาตุอื่น ๆ มีสัดส่วนที่สอดคล้องกันดังตารางที่ 6-1

มีการศึกษานอกระบบสุริยะพบว่าธาตุต่าง ๆ ในดวงดาวมีสัดส่วนที่สอดคล้องกับในดวงอาทิตย์ 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**) นอกจากลิเธียมแล้วธาตุอื่น ๆ ได้ค่าค่อนข้างสอดคล้องกัน จากการศึกษาของทั้งสองคนดังกล่าวจะเห็นว่าก๊าแลกซีของเราประกอบด้วยธาตุต่าง ๆ มีตั้งแต่ไฮโดรเจน **atomic number** = 1 ถึง ยูเรเนียม – 92 และมากกว่าประกอบกันขึ้นเป็นจักรวาล จะเห็นว่าเป็นส่วนที่แสดงส่วนประกอบของรังสีคอสมิคโดยตรง 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-Temperature Stars	Meteorites			Sun	High-Temperature Starr	Meteorites
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	0	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					

1. มีไฮโดรเจนเป็นจำนวนมากกว่าธาตุอื่น ๆ และฮีเลียมก็มากรองลงมา
2. ลิเธียม, **beryllium** และโบรอน มีปริมาณน้อยกว่าธาตุที่อยู่ข้างเคียง, ลิเธียมมีมากในดวงอาทิตย์
3. คาร์บอน, ไนโตรเจน, และออกซิเจนมีมากรองลงมาจากไฮโดรเจนและฮีเลียม และจะมีมากกว่าพวกธาตุที่หนักกว่า
4. ปริมาณของธาตุที่อยู่ระหว่าง **atomic number** = 20 และ 100 จะมีปริมาณลดลงเมื่อ **atomic number** มีค่าเพิ่มขึ้นนอกจากบางธาตุและกลุ่มเหล็ก
5. ธาตุที่หนักกว่า **atomic number 100**จะมีปริมาณที่ค่อนข้างเท่ากันนอกจากบางธาตุ

6.3 วิวัฒนาการของดวงดาว (Evolution of stars)

ความหนาแน่นของกลุ่มแมฆหมอกของดวงดาวที่เรียกว่า **interestellar gases** ไม่เป็นแบบเดียวกันและไม่คงที่เสมอไป เมื่อความหนาแน่นของเมฆหมอก (**cloud**) มีค่าเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิมีค่าลดลง เนื่องจากการแผ่รังสีแล้วกลุ่มเมฆหมอกตัวกลางจะขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปรของความโน้มถ่วงจะทำให้เกิดการแยกเป็นหน่วยย่อย ๆ ลงไปอีกเป็นกลุ่มดาวในระยะแรกที่เรียกว่า **protostars** จากนั้นในที่สุดก็จะกลายเป็นกลุ่มดาวฤกษ์ (**stars**)

ในระยะเริ่มต้นของ **the Galaxy gases** มีการสมมุติว่ามันมีลักษณะเป็นระบบทรงกลม (**spherical system**) และการกระจายของกลุ่มดาวนั้นจะเป็นแบบทรงกลม ซึ่งบางส่วนของมันจะยังคงประกอบกันเป็นเหมือน **globular clusters** ซึ่งเชื่อว่าในระยะนี้เองที่ประกอบกันเป็นกลุ่มดาวใน **population II** ซึ่งมีส่วนที่เป็นธาตุหนักอยู่เพียงเล็กน้อย

วิวัฒนาการขั้นต่อไปก็คือกลุ่มเมฆหมอก (**clouds**) ในระบบทรงกลมดังกล่าวจะมีโอกาสชนกันและสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุม ดังนั้นดวงดาวเหล่านั้นจะลวง (เลื่อนต่ำลง) สู่ระนาบซึ่งตั้งฉากกับแกนหมุนทำให้เกิดจานกาแลกซี (**the Galactic disk**) ขึ้นมา ซึ่งหมายถึงว่าเมื่อศึกษาตามแบบฉบับการกระจายของแกสนั้นก็จะทำให้พวกที่หล่นลงมารวมประกอบกันเป็นพวกที่มีมวลเพิ่มขึ้นอยู่ในบริเวณ **disk**

ดังกล่าว ซึ่งทำให้ดวงดาวในบริเวณดังกล่าวมีธาตุหนักเพิ่มขึ้น ดวงดาวเหล่านี้จะประกอบกันเป็นกลุ่มดาวใน **population I** ซึ่งจะอุดมสมบูรณ์ไปด้วยธาตุหนัก ๆ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลอง

เมื่อเกิดมีดวงดาวขึ้นนั้นต้องเกี่ยวข้องกับความโน้มถ่วง (**gravitation**)ซึ่งจะเป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนพลังงานของความโน้มถ่วง (**gravitational energy**) เป็นการแผ่รังสีแทนอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการส่องสว่างลุกขึ้น (**star flares up**) จากนั้นก็จะค่อย ๆ ลดลง การส่องสว่างก็ลดลงในระยะ (**stage**) นี้ ของดวงดาวจะเกิดมีดิวทีเรียมและลิเธียมขึ้นจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ภายในส่วนกลางของดวงดาว ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้มีลิเธียมมากในดวงอาทิตย์ จะมีระยะหนึ่งที่ดวงดาวมีบริเวณที่เป็นการแผ่รังสีและในที่สุดก็เป็นทั้งหมดและเมื่อไฮโดรเจนกำลังถูกเผาไหม้ในบริเวณตอนกลางของดวงดาว เราเรียกตอนนี้ว่า **main sequence** ซึ่งเวลาที่ใช้กว่าจะถึงระยะนี้จากเริ่มต้นเป็นดวงดาวประมาณ 10^7 ถึง 10^8 ปี ขึ้นอยู่กับมวลของมัน แต่ละระยะของวิวัฒนาการ กำลังการส่องสว่างและอุณหภูมิที่ผิวจะแตกต่างกันออกไป และจะสัมพันธ์กับมวลของมันด้วย ดวงดาวจะอยู่ในระยะ **main sequence** เป็นเวลานานพอสมควรซึ่งประมาณว่า 10^{10} เท่าของ (มวลดวงอาทิตย์ต่อมวลดวงดาวนั้น)^3 ปี จนกระทั่งไฮโดรเจนหมดไปจากแกนกลางของดวงดาวแล้วเกิดเป็นแกนฮีเลียมขึ้นแทน จากผลอันใหม่ทำให้อุณหภูมิภายในสูงขึ้น ทำให้เกิดระยะใหม่ขึ้นมาคือดวงดาวขยายตัวเพิ่มขึ้น โดยจะมีไฮโดรเจนเป็นจำนวนมากมาอยู่ที่ผิวโดยมีแกนเป็นฮีเลียม ถ้าหากอุณหภูมิภายในของดวงดาวนี้ยังคงเพิ่มขึ้นอยู่เรื่อย ๆ จะเกิดการเผาไหม้ของฮีเลียมแบบลุกโพล่งขึ้นทันทีทันใด ที่เรียกว่า **helium flash** ในกรณีที่เป็นดาวที่มีมวลน้อย ๆ จากนั้นดวงดาวก็จะกลับมาสู่ **main sequence** อีก ส่วนดวงดาวที่มีมวลมาก ๆ จะเผาไหม้ฮีเลียมแบบไม่รุนแรงนัก

นอกจากที่กล่าวมานี้ยังมีขั้นตอนของวิวัฒนาการของดวงดาวระยะอื่น ๆ ของดาวแบบต่าง ๆ อีก เช่น ดาวที่เป็น **red giants** และ **red supergiants** จะมีระยะที่เป็น **convective envelopes** (คล้ายการขยายตัวของดวงดาวเนื่องจากการเผาไหม้ของฮีเลียม เนื่องจากอุณหภูมิภายในแกนกลางยังเพิ่ม) และธาตุต่าง ๆ ที่เกิดภายในจะถูกส่งมายังผิวโดยที่ดาวเหล่านี้ยังอยู่ในสภาพที่ไม่เสถียรด้วยจะปล่อย (พ่น) มวลออกไปเรื่อย ๆ เมื่อมีการเกิด **Helium flash** ก็จะเป็นการ

ทำให้มวลหายไปเรื่อย ๆ (**mass ejection**) และถ้าหากถึงขั้นทำให้ **iron core collapse** ก็จะเป็นภาวะที่เรียก **supernovae** ของดวงดาวชนิด I และ II ในกาแลกซีตามลำดับ ในระยะสุดท้ายดวงดาวก็จะกลายเป็นดาวแคระขาว (**white dwarfs**) หรือ **neutron stars** และในที่สุดก็จะเป็น **invisible dwarfs**

ที่กล่าวมานี้เป็นทฤษฎีหนึ่งที่พบว่ามีสารในอวกาศเนื่องจากสารที่ปล่อยออกมาจากดวงดาวในระยะดังที่กล่าว ซึ่งยังไม่เป็นทฤษฎีที่สมบูรณ์ในการอธิบายธาตุต่าง ๆ ที่มีในอวกาศว่าเป็นมาอย่างไร อันหมายถึงแหล่งกำเนิดของรังสีคอสมิค ทั้งนี้เพราะยังไม่มีใครทราบแน่ชัดว่าส่วนใดของดวงดาวที่ถูกปล่อยออกมาหรือปฏิกิริยานิวเคลียร์เกิดอย่างไร ในดวงดาวอย่างแน่ชัด อันก่อให้เกิดการปลดปล่อยอย่างรุนแรงดังกล่าว ในการศึกษาวิวัฒนาการของดวงดาวอย่างละเอียด ผู้สนใจศึกษาได้จาก **the Hertzsprung - Russell (H - R) diagram** หรือแบบอื่นในตำราเกี่ยวกับดาราศาสตร์

6.4 <u>กาแลกซีทั่ว ๆ ไป</u> (**Galaxies**)

นอกเหนือจากกาแลกซีของเราแล้วมีการพบว่ายังมีกลุ่มเมฆหมอกอีกแบบที่เรียกว่าเนบิวลา (**nebulae**) จำนวนมากมายลักษณะคล้ายคลึงกับกาแลกซีของเรา เนบิวลาเหล่านี้ก็คือกาแลกซีที่กำลังห่างออกไปจากเราด้วยความเร็วซึ่งเป็นสัดส่วนกับระยะทาง d,

$$v = Hd \qquad 6.1$$

โดยที่ $H \simeq 10^7$ cm sec^{-1} $(Mpc)^{-1}$ ซึ่งก็คือ **the Hubble constant**

$R = c / H \simeq 3 \times 10^3$ Mpc $\simeq 10^{28}$ cm ซึ่งก็คือ **the Hubble radius** ของจักรวาลนั้น ซึ่งเราไม่อาจศึกษาได้จากการทดลองโดยตรง

$$\tau = 1 / H \simeq 3 \times 10^{17} \text{ sec} \simeq 10^{10} \text{ years} \qquad 6.2$$

τ ก็คือ **the Hubble age** คือเวลาที่จักรวาลนั้นใช้ผ่านไปจากจุด ๆ หนึ่ง ไปยังที่มันอยู่ในปัจจุบัน (ระยะ **the Hubble radius**)

กาแลกซีทั้งหลายจัดแบ่งตามรูปร่างลักษณะได้หลายแบบ เช่น E (elliptic), S (spiral), SB (barred spiral) และ Ir (irregular) 3 อย่างแรกมีจำนวนมากกว่า ๆ กัน แต่แบบ Ir จะมีปริมาณ 10 % ของทั้งหมดกาแลกซี E ยังแบ่งย่อยออกไปเป็น E_n โดยที่ n / 10 คือ the ellipticity, กาแลกซี S และ SB จะมี spiral arms และลักษณะของมันก็ยังแบ่งย่อยออกไปอีกตามลักษณะของแขนมากน้อย คือ So, Sa, Sb และ Sc หรือ SBO, SBa, SBb และ SBc จักรวาลของเราเป็นแบบ Sb เมื่อพิจารณาถึงขนาดแล้วกาแลกซี E แทบทั้งหมดจะใหญ่กว่า S และ SB นอกจากบางกาแลกซีเท่านั้น เช่น M32 จะเล็กกว่า และเหมือนนิวเคลียสของ S ส่วนขนาดของกาแลกซี Ir อยู่ระหว่าง S และพวก E เล็ก ๆ

ถ้าพิจารณาอย่างหยาบ ๆ แล้ว E และ SO มีลักษณะเป็นทรงกลม โดยมีมวลเฉลี่ย $6 \times 10^{11} M_{sun}$ ส่วน S และ SB จะเป็นแผ่นบาง (flat) และมวลเฉลี่ยประมาณ $3 \times 10^{11} M_{sun}$ กาแลกซีของเราและ the Andromeda Nebula (M 31) เป็นแบบ Sb แต่ยกเว้นที่มันมีมวลหลายเท่าของ $10^{11} M_{sun}$ ปกติความส่องสว่างไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับมวล แต่พอประมาณได้ว่ามีค่าประมาณ มวล $^{\frac{3}{4}}$

เมื่อกาแลกซีหลาย ๆ กาแลกซีรวมกันเป็นกลุ่มโตขึ้นเรียกกลุ่มกาแลกซีเหล่านี้ว่า the supergalaxy ในการศึกษาอวกาศ ดวงดาว และกาแลกซี นักวิทยาศาสตร์มักจะศึกษาการแผ่คลื่นวิทยุ (radio emission) ของมันเป็นส่วนประกอบทางหนึ่ง และมีการพบว่า 10^{-4} ของกาแลกซีจะเป็นพวก raido galaxies โดยที่ radio emission เหล่านั้นมีค่าแรงกว่าจากกาแลกซีของเราประมาณ 1000 พัน มีการพบคลื่นวิทยุที่เป็นแบบ polarized ทำให้เชื่อว่าแหล่งดังกล่าวเป็นแบบ sychrotron radiation ตัวอย่าง radio galacies ที่สำคัญ คือ Vir A ซึ่งกำหนดด้วยสัญญลักษณ์ M 87 (NGC 4486) เป็นกาแลกซีชนิด E ขนาดใหญ่ มันมีโครงสร้างเป็นแบบ jetlike ซึ่งจะให้ polarized light ที่รุนแรง กาแลกซีนี้จะอยู่ห่างออกไป 11 Mpc และกำลังของคลื่นวิทยุประมาณ 2×10^{41} erg - sec^{-1}

วิวัฒนาการของกาแลกซีมีหลายขั้นตอน ในการศึกษาก็อาศัยทั้ง **radio emission, optics,** รูปแบบการอธิบายในลักษณะการเคลื่อนที่ของแกสในสนามความโน้มถ่วง จึงทำให้รู้ว่ามีกาแลกซีอยู่เป็นจำนวนมากมายใน **intergalactic space** ซึ่งเราทราบเรื่องราวเหล่านี้น้อยมาก เนื่องจากมันอยู่ไกลเกินกว่าความรู้ความสามารถของคนเราจะไปถึงได้

6.5 เรื่องราวทั่ว ๆ ไปเกี่ยวกับแหล่งกำเนิดรังสีคอสมิค

6.5.1 สิ่งที่ได้จากการทดลองและผลที่ตามมา

มีเรื่องราวที่เราได้จากการทดลองหลายอย่าง ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญเบื้องต้นในการพิจารณาแหล่งกำเนิดของรังสีคอสมิค คือ

1. รังสีคอสมิคปฐมภูมิ ส่วนใหญ่ประกอบด้วยอนุภาคทางนิวเคลียร์ (**nuclear particles**) ที่ปราศจากอิเลคตรอน โดยที่ความเข้มสัมพัทธของอิเลคตรอนที่มีส่วนมีค่าน้อยมาก จำนวนของอนุภาคนิวเคลียรมีลักษณะคล้ายกับธาตุที่ประกอบกันเป็นรังสีคอสมิค (แต่ไม่ใช่เหมือนกันทุกอย่าง) โดยมีไฮโดรเจนมากที่สุด รองลงมาก็คือฮีเลียม ธาตะที่หนักก็มีน้อยลง ๆ (นอกจากเหล็ก)

2. อนุภาคคอสมิคส่วนใหญ่มีพลังงานสูงมาก (**relativistic energy**) และมีช่วงแปรเปลี่ยนกว้างประมาณด้วยตัวร่วม 10^{10} โดยที่พลังงานตัวสูงสุดที่ตรวจพบมีค่าถึง 10^{20} **eV** (มากกว่า 1 **joule**)

3. การกระจายในทิศทางของรังสีคอสมิคจะเป็นแบบทุกทิศทาง (**isotropic**) หรือถ้ามีแตกต่างไปบ้าง (**anisotropy**) ก็จะมีไม่เกิน 0 – 1 % ของรังสีคอสมิค ส่วนใหญ่ และจะมี 1 – 2 % หรือน้อยกว่าที่พลังงานระดับสูง ๆ

4. ความเข้มของรังสีคอสมิคจากการวัดจากลูกอุกกาบาตโดยวิธีวัดการแผ่รังสี และโดยวิธีอื่นเชื่อว่าในช่วงเวลาที่ผ่านมา 10^8 ปี มีค่าค่อนข้างคงที่ นอกจากจะมีบางช่วงในระยะสั้น ๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปบ้างเนื่องจากภาวะไม่ปกติของระบบสุริยะและอื่น ๆ

จากสิ่งที่เราได้กล่าวมาข้างบนทำให้ได้ผลที่ตามมาอันเป็นสิ่งสำคัญในการพิจารณาแหล่งกำเนิดรังสีคอสมิคดังนี้

1. รังสีคอสมิคที่ถูกเร่งให้มีพลังงานสูง ๆ นิวเคลียสของมันไม่ได้แตกสลายไปมากมายนักจากปฏิกิริยาใด ๆ เพราะยังปรากฏว่ามีรังสีคอสมิคปฐมภูมิที่มีนิวเคลียสหนัก ๆ อยู่ ความหนาแน่นพลังงานของรังสีคอสมิคค่อนข้างจะคงที่ การเคลื่อนที่วกไปเวียนมา และสนามแม่เหล็กทั้งสามอย่างนี้จะเป็นตัวการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานของรังสีคอสมิค

2. การกระจายอยู่สม่ำเสมอทุกทิศทุกทาง (**isotropy**) และความเข้มของรังสีคอสมิคมีค่าคงที่ดังกล่าวมาแล้วในข้อ 3 และ 4 ข้างบนจะเป็นสิ่งบอกว่ารังสีคอสมิคถูกกักเก็บให้เคลื่อนที่ไปมาอยู่ในอวกาศเป็นเวลานานมาแล้ว โดยที่สนามแม่เหล็กของกาแลกซีต่าง ๆ จะเป็นตัวกักขังและบีบหรือเร่งให้เคลื่อนที่ไปมาอยู่ในบริเวณดังกล่าวนี้ ซึ่งบริเวณเหล่านี้จะประกอบกันเป็นระบบอันหนึ่งเริ่มจากระบบสุริยะ แหล่งกำเนิดของรังสีคอสมิคอื่นๆ , **Galaxy disk** ของเรา, **Galaxy disk** ของเรา และ **the halo,** กลุ่มของกาแลกซีและจักรวาลทั้งหมด

3. ความเร่งและการกักเก็บไว้เป็นผลต่อสเปคตรัมของพลังงานและทำให้อัตราการเพิ่มพลังงาน หมายถึง

$$dE / dt = aE \qquad 6.3$$

อนุภาคตัวหนึ่งที่มีพลังงานเริ่มต้น E_o จะมีพลังงานเพิ่มเป็น E หลังจากเวลาผ่านไป t ตามสมการ

$$E = E_o \, e^{at} \qquad 6.4$$

ถ้าอายุเฉลี่ยของอนุภาคที่ถูกกักเก็บไว้นี้คือ T โอกาสที่อนุภาคเหล่านี้จะเหลืออยู่ที่เวลา t ในบริเวณดังกล่าวคือ $e^{(-t/T)}$

4. การที่พบนิวไคลด์บางชนิดที่มีน้อยในเนื้อสารดวงดาวหรือระหว่างดวงดาวต่าง ๆ นั้นก็เนื่องมาจากการแตกย่อยของนิวไคลด์ที่ใหญ่กว่าขณะที่สารนั้นเคลื่อนที่ผ่านไปในอวกาศ การแตกย่อยของนิวไคลด์เหล่านี้เกิดขึ้นเมื่อมีรังสีคอสมิคพลังงานสูงพอที่จะทำปฏิกิริยาให้นิวเคลียสของสารเปลี่ยนรูป (**nuclear transformation**) ผ่านเข้ามาชน

5. การที่พบว่าอีเลคตรอนมีน้อยกว่าโปรตอนนั้น เนื่องมาจากความสัมพันธ์ระหว่างมวลและพลังงาน การหายไปของอีเลคตรอนใน **synchroton radiation** มีมากกว่าโปรตอน กรรมวิธีดังกล่าวเป็น **nonthermal radiation** อีเลคตรอนนั้นเกิดขึ้นได้จากปฏิกิริยาทางนิวเคลียร์เมื่อมีเมซอนขึ้นมาแล้วสลายตัว ในปฏิกิริยาเดียวกันนี้สามารถให้รังสีแกมม่าได้ด้วยเมื่อมีการสลายตัวของ **neutral pions.**

6.5.2 <u>รังสีคอสมิคในระบบสุริยะ</u>

มีการทดลองศึกษาพบว่าดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดรังสีคอสมิคแหล่งหลักอันหนึ่งที่คนสังเกตพบได้ ดวงอาทิตย์ให้อนุภาคพลังงานสูงและในทางอ้อมลมสุริยะ (**solar wind**) จะเป็นตัวเร่งอนุภาคให้ทำปฏิกิริยากับสนามแม่เหล็กโลก และ (บางที) สนามแม่เหล็กจากดาวพฤหัสบดี อนุภาคเหล่านี้จะถูกกักและรบกวนโดยสนามแม่เหล็กระหว่างดวงดาวทำให้กระจายไปอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ถูกกักไว้ (**the storage time**) มีค่าประมาณได้จาก

$$\tau \simeq \frac{L^2}{lv} \simeq 10^8 \text{ sec} \qquad 6.5$$

สมการ 6.5 เป็น **diffusion model** ถ้าพิจารณาว่าขนาดเชิงเส้นของระบบสุริยะ มีค่า $L \simeq 10^{15}$ ซม. ระยะเฉี่ยวชน (ในสนามแม่เหล็กที่แปรปรวน) เฉลี่ยเป็น $l = 10^{12}$ ซม. และความเร็วเฉลี่ยของอนุภาค $v \simeq 10^{10}$ ซม. ต่อวินาที

ถ้าเราใช้สมการ 6.5 เราก็จะเห็นว่าอนุภาคจากดวงอาทิตย์เป็นส่วนหนึ่งของแหล่งกำเนิดของรังสีคอสมิคที่จะละเลยไม่ได้ จำนวนของอนุภาคจากดวงอาทิตย์ในการเกิด **solar flare** ที่รุนแรงครั้งหนึ่งมีค่ามากมาย ประมาณ 10^{33} (อนุภาคต่อการเกิด **solar flare** ครั้งหนึ่ง) เมื่อศึกษาเกี่ยวกับ **solar flares** หลาย ๆ ครั้งใน **solar cycle** ชุดสุดท้ายพบว่ามีมากกว่า 10 ครั้งที่เกิดทั่วผิวดวงอาทิตย์ ซึ่งทำให้มีการส่งอนุภาคออกมาประมาณ

$$Q_s \simeq 10^{26} \quad \text{sec}^{-1}$$

ดังนั้นพอจะประมาณได้ความหนาแน่นของอนุภาคที่เกิดจากดวงอาทิตย์ในระบบสุริยะของเรามีค่า

$$N_s \simeq Q_s \frac{\tau}{L^3} \simeq 10^{-11} \quad \text{cm}^{-3} \qquad 6.7$$

ค่าดังกล่าวนี้มีค่าประมาณ 1 ใน 10 ของความหนาแน่นของรังสีคอสมิคที่เกิดจากทุกแห่งที่เราสังเกตพบ

ความจริงแล้วส่วนประกอบของรังสีคอสมิคที่พบจะประพฤติตัวคู่ไปกับ **solar activities** กล่าวคือความเข้มจะมีค่ามากเมื่อเกิด **solar activities** สูงสุด และจะน้อยเมื่ออยู่ในในช่วงดวงอาทิตย์สงบ **(quiet period)** แต่ที่กล่าวมานี้เกิดเฉพาะกับย่านอนุภาคพลังงานต่ำเท่านั้น อนุภาคพลังงานสูงส่วนใหญ่จะมีความเข้มลดลง กล่าวคือจากการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของรังสีคอสมิคในช่วง 11 ปี พบว่าความเข้มจะลดลงเมื่อมีการเพิ่มของ **solar activities** รังสีคอสมิคที่เกิดจากการเปลี่ยนแปรของดวงอาทิตย์ใน **solar cycle** พิจารณาได้ว่าขึ้นอยู่กับเหตุที่เรียกว่า **diffusion - convection effect** ในสนามแม่เหล็กที่ไม่เป็นระเบียบทำให้เกิดการไหลออกไปกับลมสุริยะ

เปรียบเทียบพลังงานรังสีคอสมิคส่วนที่มาจากดวงอาทิตย์กับส่วนที่มาจากนอกระบบสุริยะ ที่มาถึงโลก ศึกษาจากสเปคตรัมของพลังงานจากดวงอาทิตย์กับทั่ว ๆ ไป พบว่าอนุภาคจากดวงอาทิตย์เมื่อเกิด **solar flares** มีสเปคตรัมของพลังงานสูงกว่าภาวะปกติ ซึ่งพลังงานบางตัวสูงถึง 100 **GeV** อนุภาคที่พลังงานสูงกว่า 10 **TeV** จะทะลุออกนอกสนามแม่เหล็กระหว่างดวงดาวพระเคราะห์ได้ เพราะความเข้มของสนามแม่เหล็กดังกล่าวมีค่าเพียงไม่กี่ **gammas** ($1\ \gamma = 10^{-5}$ **gauss**) แต่จากการศึกษาปริมาณของรังสีคอสมิคที่มาจากดวงอาทิตย์กับปริมาณของรังสีคอสมิคในภาวะปกติทั่ว ๆ ไป ดังตารางที่ 6-1 แล้วพบว่ารังสีคอสมิคส่วนใหญ่ไม่ได้เกิดมาจากดวงอาทิตย์ ที่มาจากดวงอาทิตย์นั้นเป็นเพียงส่วนของพวกที่มีพลังงานต่ำ ๆ

6.5.3 <u>รังสีคอสมิคในกาแลกซีของเรา</u>

สมมุติว่ามีดวงดาวแบบดวงอาทิตย์ของเราที่ประกอบกันเข้าเป็นแหล่งกำเนิดของรังสี

คอสมิคในกาแลกซี อัตราการผลิตจะเป็น

$$Q_{stars} \simeq 10^{37} \quad sec^{-1} \qquad 6.6$$

สมการนี้พิจารณามาจากสมการ 6.6 เมื่อมีดาวแบบนี้ประมาณ 10^{11} ดวงในกาแลกซี ถ้ารังสีคอสมิคอยู่ใน the disk ปริมาณ $V_{disk} \simeq 10^{67}$ cm^3 แล้วค่าเฉลี่ยของเวลาที่อยู่จะมีค่าเป็น

$$\tau \simeq \frac{V_{disk} \cdot N_G}{Q_{stars}} \simeq 10^{20} \quad sec$$

เมื่อความหนาแน่นของอนุภาครังสีคอสมิคในกาแลกซี คือ $N_G \simeq 10^{-10}$ cm^{-3} ซึ่งค่าที่ได้นี้มีค่านานกว่าอายุของจักรวาลเสียอีก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าดาวธรรมดานี้เป็นเพียงแหล่งกำเนิดเล็ก ๆ ของรังสีคอสมิคเท่านั้น

นอกจากการคำนวณดังกล่าวแล้วยังมีการคำนวณโดยวิธีอื่น ๆ อีก เพื่อหาค่าเวลาเฉลี่ยที่อนุภาคคอสมิคอยู่ในกาแลกซี วิธีแรกคือประมาณจาก (ความหนา) เนื้อสารที่รังสีคอสมิควิ่งผ่านดังกล่าวในหัวข้อ 6.5.1 โดยเลือกสารพวกลิเธียม, เบอริลเลียม (beryllium) และโบรอนรวมกันเป็นส่วนของนิวไคลด์หนักที่แตกแยกออกมา ซึ่งเฉลี่ยแล้วได้เนื้อสารที่อนุภาคคอสมิควิ่งผ่านเป็น

$$X \simeq 3 \quad g - cm^{-2} \qquad 6.7$$

ค่านี้เป็นสัดส่วนกับเวลาที่รังสีคอสมิคใช้ในการเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดมายังโลก ถ้ารังสีคอสมิคถูกกักไว้ใน disk ซึ่งมีความหนาแน่น $\rho_{disk} \simeq 10^{-24}$ $g - cm^{-3}$ เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่จะเป็น

$$\tau_{disk} \simeq \frac{X}{\rho_{disk} c} \simeq 10^{14} \quad sec \qquad 6.8$$

ในทางตรงกันข้ามถ้าเราพิจารณาจาก diffusion model (สมการ 6.5) โดยใช้ $L \simeq 10^{21}$ cm เป็นความหนาของ the disk และ $l \simeq 3 \times 10^{19}$ cm เป็นค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มเมฆหมอกของดวงดาว (interstellar clouds) จะได้ τ น้อยมาก คือ 10^{12} sec และค่านี้จะเพิ่มเป็น 10^{14} sec ก็ต่อเมื่อค่า l น้อยลงเป็น 0.1 pc เท่านั้น

วิธีที่ 3 เราพิจารณาว่ารังสีคอสมิคสะสมอยู่ใน the halo มันจะดีกว่า 2 วิธีข้างบน ปริมาตรของ the halo คือ $V_{halo} \simeq 3 \times 10^{68}$ cm^3 และความหนาแน่นภายในมีค่าประมาณ ไม่มากกว่า 10^{-26} g - cm^{-3} ในกรณีที่ว่านี้เมื่อมวลส่วนใหญ่มาอัดกันอยู่ใน the disk หาค่าเฉลี่ยความหนาแน่นหมดทั้งกาแลกซี (รวม the halo ด้วย) จะได้ค่าประมาณ 3×10^{-26} g - cm^{-3} ทำให้เราได้

$$\tau_G \simeq \frac{X}{c\rho_{disk}} \simeq 3 \times 10^{15} \text{ sec} \qquad 6.9$$

เป็นเวลาที่มากพอจะทำให้รังสีคอสมิคกระจายไปอย่างสม่ำเสมอ (isotropy) ส่วนค่าที่ได้จากวิธีที่ I (ที่ต่างออกมาจากวิธีแรก) คือ $\tau_{disk} \simeq 10^{14}$ sec นั้นสั้นเกินไป อนุภาคยังอยู่ในรูปที่เป็น anisotropy ซึ่งไม่สอดคล้องกับการทดลอง

แต่ในปัจจุบันนี้ยังไม่มีทฤษฎีที่แน่นอนสอดคล้องกับการทดลองที่พอจะตัดสินใจให้แน่ชัดว่ารังสีคอสมิคสะสมอยู่ที่ใดแน่นอน ในกาแลกซีทั้งหมดรวมทั้ง the halo เป็นเวลา 10^8 ปี หรืออยู่ใน the disk เป็นเวลาหลายล้านปี แต่ทั้งสองกรณีนี้ให้อัตราส่วนของปริมาตรที่อนุภาคสะสมอยู่ต่ออายุเฉลี่ยในขนาดของ 10^{53} cm^3 sec^{-1} และอัตราการเกิดรังสีคอสมิคเป็น

$$Q_G = \frac{N_G V_G}{\tau_G} \simeq 10^{43} \text{ sec}^{-1} \qquad 6.10$$

ทำให้เราได้อัตราของพลังงานที่เกิดเป็น

$$\langle E \rangle Q_G \simeq 10^{41} \text{ erg sec}^{-1} \qquad 6.11$$

ค่าที่ได้นี้มีค่าใกล้เคียงกับอัตราการปลดปล่อยพลังงานสูงสุด คือ 10^{46} erg - sec^{-1} ที่เกิดจากพลังงานนิวเคลียร์ทุกอย่างที่มี ซึ่งปล่อยด้วยอัตราคงที่ตลอดชั่วอายุของกาแลกซี

อัตราปล่อยพลังงาน ดังสมการ 6.11 เป็นค่าที่ใหญ่มาก ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องจากเกิดปรากฏการณ์ที่รุนแรง ปรากฏการณ์ที่แรงที่สุดในกาแลกซีของเราก็คือการระเบิดของ supernova ส่วนที่เหลือจากการเกิดระเบิดของ supernova เมื่อรวมกันแล้วจะให้พลังงานในรูปที่ไม่ใช่ความร้อน

(**nonthermal**) ในอัตราที่สูงถึง 10^{38} ถึง 10^{39} **erg - sec**$^{-1}$ ถ้าเฉลี่ยมีการระเบิดของ **supernova** 1 ครั้งทุก 100 ปี แล้วเศษที่เหลือจะมีผลต่อ ถึง 10^4 ปี ซึ่งจะทำให้สมการ 6.11 เป็นไปได้ การพิจารณารังสีคอสมิคมีจุดกำเนิดจาก **supernova** นี้ มีการทดลองสนับสนุนว่าเป็นไปได้ จากการศึกษาการแผ่คลื่นวิทยุ (**nonthermal radio emission**) และจากที่พบว่ามีธาตุหนักเป็นจำนวนมากในรังสีคอสมิคนั้น เป็นผลจากวิวัฒนาการของดวงดาว ซึ่งขั้นสุดท้ายของวิวัฒนาการ (**the last stage**) ก็คือ **the supernova** และมีธาตุหนักเพิ่มขึ้นอยู่เรื่อย ๆ ในระหว่างมีวิวัฒนาการ แต่ที่กล่าวมานี้ไม่ใช่ว่าไม่มีแหล่งกำเนิดอื่น ๆ ยังมีแหล่งพิเศษอื่น ๆ อีกมากมายที่อาจมีปฏิกิริยาพอที่จะปล่อยรังสีคอสมิคออกมาได้ เช่น พวก **nova** (คล้าย **supernovae** แต่เล็กกว่า), ดาวที่เรียกว่า **peculiar stars** และ **magnetic variable stars** ชนิด **A** ให้อนุภาคพลังงานสูง, ชนิด **T - Tauri** มีลิเธียมอยู่เป็นจำนวนมาก, **supergiants** และ **red giants** ซึ่งยังไม่เสถียรจะปล่อยสารออกมาด้วยความเร็วสูง (**supersonic velocity**) นอกจากนี้ยังอาจมาจากนอกกาแลกซีของเราได้ด้วย และในขั้นตอนต่าง ๆ ของวิวัฒนาการขั้นต่าง ๆ จะเป็นส่วนที่ทำให้เกิดการเร่งอนุภาครังสีคอสมิค แต่อย่างไรก็ตามก็ยังมีการศึกษาค้นคว้ากันต่อไป เพื่อหาคำตอบที่แท้จริงของแหล่งกำเนิดรังสีคอสมิค.