บทที่ 3

ลักษณะ ส่วนประกอบ ของอาณาบริเวณกัมมันต์บนดวงอาทิตย์ และพัฒนาการของอาณาบริเวณกัมมันต์

อารัมภบท

บริเวณพื้นผิวดวงอาทิตย์ตามที่ได้สังเกตดูเป็นประจำวันในแสงสีขาวและในแสงไฮโดรเจนอัลฟ่า จะเห็นมีบริเวณแตกต่างกัน 3 อย่าง คือ (1) อาณาบริเวณปรกติที่ไม่มีจุดหรือโพรมิเนนซ์ (2) อาณาบริเวณที่มีจุดรวมทั้งบริเวณใกล้เคียงกับจุดซึ่งมีโครงสร้างและส่วนประกอบแตกต่างไปจากอาณาบริเวณปรกติ เป็นอาณาบริเวณที่เป็นจุดมุ่งหมายในการศึกษาค้นคว้าเพื่อเขียนวิทยานิพนธ์นี้ (3) อาณาบริเวณที่แสดงการปรากฏเป็นโพรมิเนนซ์โดยไม่อยู่ในอาณาบริเวณใกล้เคียงกับจุด

พัฒนาการของอาณาบริเวณกัมมันต์บนดวงอาทิตย์ ตามที่ได้กระทำการศึกษาค้นคว้าโดย คีเปนฮอยเออร์ และ เดอ จาเกอร์ จะได้นำมากล่าวไว้โดยสังเขป

3.1 ความหมายของอาณาบริเวณกัมมันต์

อาณาบริเวณกัมมันต์บนดวงอาทิตย์เป็นบริเวณที่มีขอบเขตจำกัดมองเห็นได้ว่ามีลักษณะแตกต่างจากบริเวณปรกติบนดวงอาทิตย์ มีขนาดพื้นที่ประมาณได้ไม่เกิน 1 ใน 10 ของพื้นที่ผิวของครึ่งทรงกลมของดวงอาทิตย์ที่เรามองเห็น ภายในอาณาบริเวณกัมมันต์จะมีปรากฏการณ์หลายอย่างเกิดขึ้นร่วมกัน โดยที่ปรากฏการณ์เหล่านี้เกิดขึ้นชั่วระยะเวลาหนึ่งแล้วหายไป ปรากฏการณ์แต่ละอย่างจะแสดงรูปลักษณ์(feature)ที่แตกต่างกันออกไป มีช่วงเวลาที่ปรากฏ(อายุ)แตกต่างกัน เวลาที่เริ่มเกิดก็ไม่พร้อมกัน ปรากฏการณ์ที่สามารถมองเห็นและถ่ายภาพได้โดยผ่านกล้องโทรทรรศน์ควบกับเครื่องกรองแสง มี จุด(sunspot) พลาจ(plage) แฟคิวเล่(facula) การลุกจ้าหรือแฟลร์(flare) เสิร์จ(surge) และมี โพรมิเนนซ์(prominence)หรือฟิลาเมนต์(filament) เทร้ด(thread)

ไฟบริล(fibril)ซึ่งมีโครงสร้างที่แสดงให้เห็นว่า อาฌาบริเวณกัมมันต์มีอำนาจสนามแม่เหล็กส่วนรวมเป็นขนิด ขั้วเดียว สองขั้ว หรือ หลายขั้ว อยู่รวมกัน

นอกจากนี้ยังมีปรากฏการณ์อื่นๆ ซึ่งมองไม่เห็น ถ่ายภาพไม่ได้ แต่ตรวจพบได้โดยใช้เครื่องมือหลายๆอย่าง ปรากฏการณ์เหล่านี้ได้แก่ รังสีต่างๆที่ถูกส่งออกมาจากอาฌาบริเวณกัมมันต์ เช่น รังสีเอกซ์ รังสีอุลตราไวโอเล็ต รังสีคอสมิค อนุภาคต่างๆที่มีพลังงานสูง สัญญาณวิทยุ ซึ่งปรากฏว่าสิ่งเหล่านี้ถูกส่งออกมาด้วยปริมาณที่มากมายกว่าที่ถูกส่งออกมาจากบริเวณปรกติบนดวงอาทิตย์ อีกทั้งยังมีอาฌาบริเวณกัมมันต์ในโคโรน่าด้วย ปรากฏการณ์ต่างๆที่มองไม่เห็นเหล่านี้ จะไม่กล่าวถึงในวิทยานิพนธ์นี้ แต่อาจจะมีกล่าวพาดพิงถึงบ้างเพียงเล็กน้อย

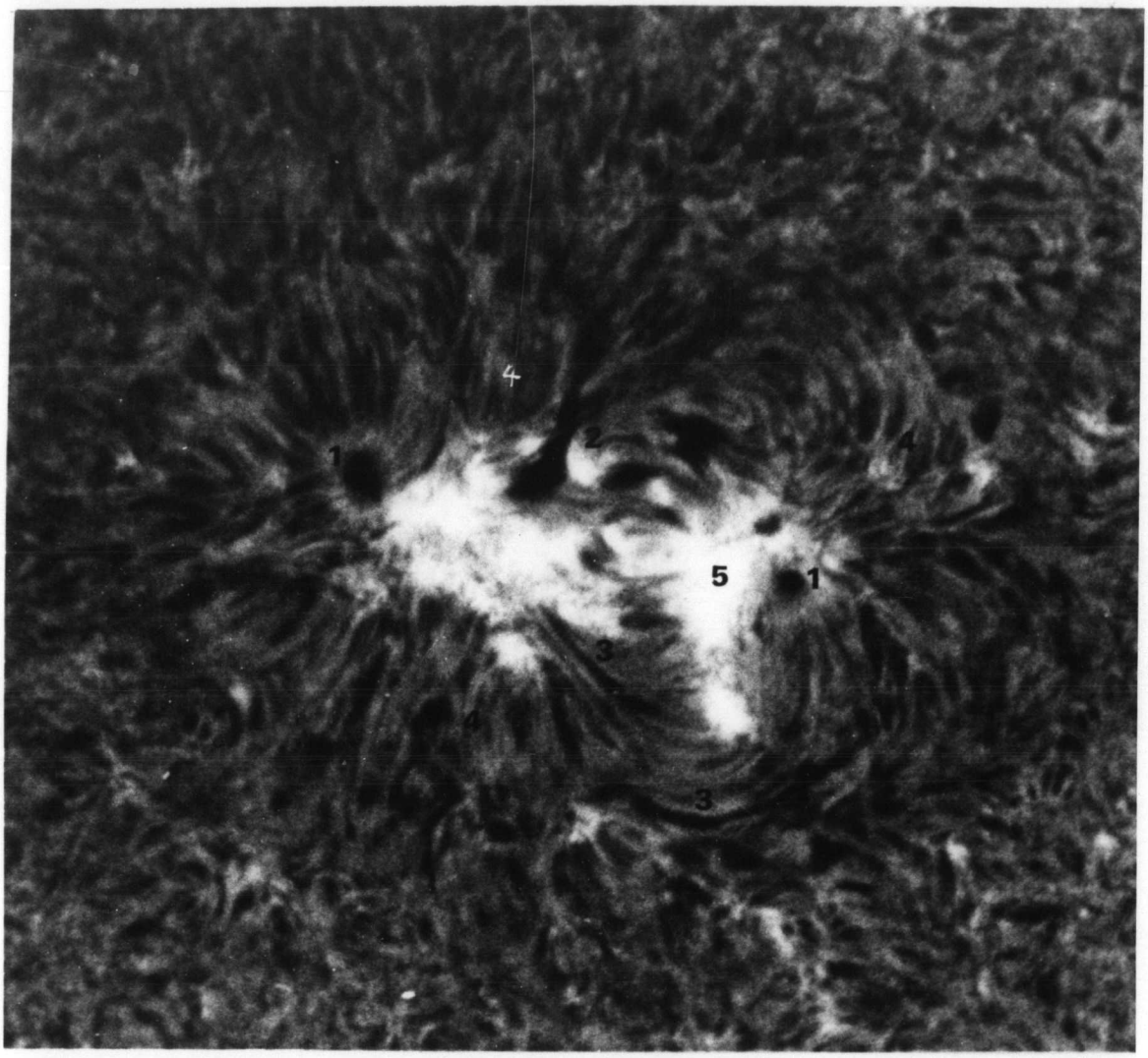
อาฌาบริเวณกัมมันต์บนดวงอาทิตย์อาจเกิดขึ้นได้หลายแห่งในขณะเดียวกัน โดยที่เวลาเริ่มเกิดของแต่ละแห่งไม่พร้อมกัน ระยะเวลาที่ปรากฏอยู่(อายุ)ก็ไม่เท่ากัน และกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นในอาฌาบริเวณแต่ละแห่งก็ไม่เหมือนกันทั้งหมดทีเดียว อาฌาบริเวณบางแห่งอาจมีปรากฏการณ์เกิดขึ้นเพียง 2 - 3 อย่าง แล้วสลายตัวไป อาฌาบริเวณบางแห่งอาจมีปรากฏการณ์ต่างๆหลายอย่างเกิดขึ้นเป็นขั้นตอนอย่างสมบูรณ์ ซึ่งมีระยะเวลาตั้งแต่เริ่มเกิดไปจนถึงสลายตัวหมดอย่างสมบูรณ์กินเวลานานมากเป็นหลายร้อยวัน

ตัวอย่างของลักษณะและส่วนประกอบของอาฌาบริเวณกัมมันต์ที่ปรากฏในแสงไฮโดรเจนอัลฟ่าแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 ซึ่งจะเห็น จุด ฟิลาเมนต์ เทร้ด ไฟบริล พลาจสว่างของไฮโดรเจน เป็นต้น

ในแสงสีขาว สิ่งที่เห็นชัดที่สุดในอาฌาบริเวณกัมมันต์คือ จุด (รูปที่ 3.2) ถ้าอาฌาบริเวณกัมมันต์อยู่ใกล้ขอบของดวงอาทิตย์ จะเห็น แฟคิวเล่ มีลักษณะเป็นเม็ดสว่างอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับจุด (รูปที่ 3.2 ก)

3.2 ลักษณะของส่วนประกอบต่างๆของอาฌาบริเวณกัมมันต์

เนื่องจากอาฌาบริเวณกัมมันต์บนดวงอาทิตย์ประกอบขึ้นด้วยปรากฏการณ์ต่างๆที่มีรูปลักษณ์(feature)แตกต่างกันดังกล่าวมาแล้ว จึงจะขออธิบายถึงลักษณะของปรากฏ



รูปที่ 3.1 แสดงอาณาบริเวณกัมมันต์บนดวงอาทิตย์ ถ่ายในแสงไฮโดรเจนอัลฟ่า เมื่อวันที่ 13 ธันวาคม พ.ศ. 2517 เวลากรุงเทพฯ 10.21 น. แสดง

1. จุด 2. ฟิลาเมนต์ 3. เหว้ด 4. ไฟบริล

5. พลาจสว่างของไฮโดรเจน

และแสดงโครงสร้างละเอียดส่วนรวมของโครโมสเฟียร์รอบกลุ่มจุด มีลักษณะเป็นเส้นคล้ายการวางตัวของผงตะไบเหล็กในบริเวณสนามแม่เหล็ก

ทิศเหนืออยู่ด้านบน ทิศตะวันตกอยู่ทางซ้ายมือ

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

การณ์แต่ละอย่าง ตามที่ได้ศึกษาและสังเกตมาเป็นอย่างๆไป

3.2.1 จุดบนดวงอาทิตย์(sunspot)

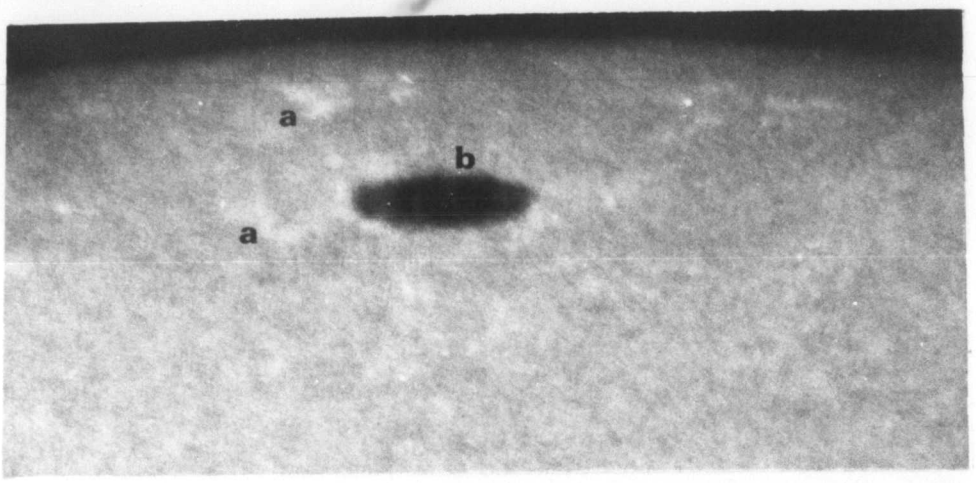
จุด. เป็นบริเวณที่ประกอบด้วยส่วนมืด(umbra)ซึ่งมองเห็นมีสีดำมืดสนิทเมื่อเทียบกับพื้นผิวทั่วไป บางจุดมีส่วนมัว(penumbra)ล้อมรอบส่วนมืด โดยมีเขตแบ่งระหว่างส่วนมืดกับส่วนมัวปรากฏเห็นคมชัด(ดูรูปที่ 3.2 ข) บางจุดมีแต่ส่วนมืดเท่านั้นไม่มีส่วนมัว บางทีมีส่วนมืดหลายๆอันรวมอยู่ในวงล้อมของส่วนมัวอันเดียวกัน จุดเป็นบริเวณที่เห็นเด่นชัดที่สุดบนดวงอาทิตย์เมื่อดูในแสงสีขาว ถ้าดูในแสงไฮโดรเจนอัลฟ่าจะเห็นได้ถ้าจุดนั้นมีขนาดโตพอสมควร ถ้าจุดมีขนาดเล็กมาก จะมองไม่เห็นในแสงไฮโดรเจนอัลฟ่า

การสังเกตดูจุดบนดวงอาทิตย์ จะเห็นความชัดเจนของรูปร่างและจำนวนมากน้อยของจุดได้ดีหรือไม่นั้น ขึ้นอยู่กับ สภาพสังเกตการณ์(seeing)ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 ถ้าสภาพสังเกตการณ์ดีเลิศ และเครื่องมือมีกำลังแยก(resolving power)สูง ก็จะเห็นจุดปรากฏเด่นชัด รวมทั้งจุดเล็กจุดน้อยในอาณาบริเวณกัมมันต์ อาจศึกษาโครงสร้างละเอียดของมันได้ด้วย แต่ถ้าสภาพสังเกตการณ์เลว จุดที่เห็นจะพร่ามัว พวกจุดที่มีขนาดเล็กจะมองไม่เห็นหรือถ่ายภาพไม่ติด

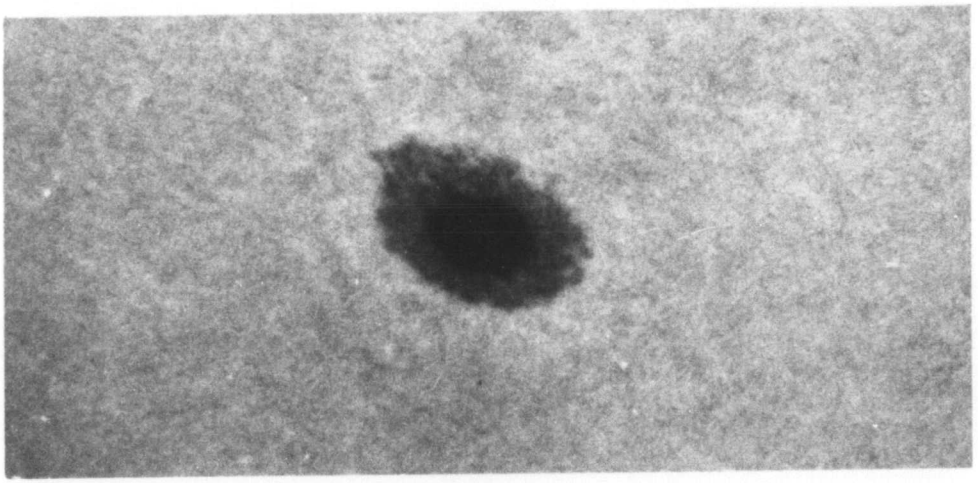
จุดบนดวงอาทิตย์อาจเห็นอยู่เป็นจุดเดี่ยวเดี่ยวๆ หรือมีสองจุดอยู่ใกล้กันเป็นคู่ หรืออยู่รวมกันเป็นกลุ่ม

3.2.1.1 การจำแนกประเภทของจุดบนดวงอาทิตย์

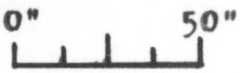
วาลด์ไมเออร์(Waldmeier ,1947)ได้ปรับปรุงการจำแนกประเภทของจุดบนดวงอาทิตย์ไว้ 9 ประเภทคล้ายกันจากการจำแนกประเภทแบบซูริค(Zurich classification)โดยจำแนกประเภทของจุดไว้ตั้งแต่ A ถึง J แสดงลักษณะของจุดที่เกิดขึ้นบนผิวดวงอาทิตย์เกือบทุกแบบที่สังเกตได้ตามลำดับพัฒนาการของมัน ซึ่งประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้



ก.



ข.



รูปที่ 3.2 แสดงอาณาบริเวณกัมมันต์ในแสงขาว จะเห็นจุดชัดเจน

ก. เมื่ออยู่ใกล้ขอบดวง เห็น แฟคิวเล่(a) เป็นหย่อมสว่างสีขาว อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับจุด(b)

ข. ขยายให้เห็นส่วนมัวของจุดมีโครงสร้างเป็นเส้นๆ สั้นบ้าง ยาวบ้าง วางตัวไปตามแนวรัศมีของจุดโดยประมาณ และอยู่ล้อมรอบส่วนมืดของจุด

ทิศตะวันออกอยู่ด้านบน ทิศเหนืออยู่ทางซ้ายมือ

A ประกอบด้วยจุดเดี่ยวเล็กๆ หรือกลุ่มของจุดที่มีขนาดเล็กมาก พวกนี้ส่วนใหญ่มีอายุสั้น ชุมนุมกันอยู่ในบริเวณขนาด 2 - 3 ตารางองศา ในกลุ่มไม่มีโครงสร้างที่เป็นระบบ จุดทั้งหลายพวกนี้ไม่มีส่วนม้ว(penumbra)

B เป็นกลุ่มจุดที่แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย(Bipolar group of spots) โดยกลุ่มย่อยทั้งสองแสดงอำนาจแม่เหล็กที่มีชนิดของขั้วต่างกัน กลุ่มจุดประเภทนี้ไม่มีส่วนม้ว เส้นแกนที่ลากผ่านกลุ่มจุดทั้งสองจะวางตัวในแนวทิศตะวันออก - ตะวันตกโดยประมาณ โดยมีจุดในกลุ่มชุมนุมกันอยู่ตรงปลายตะวันออกและปลายตะวันตกของแกน

C เป็นกลุ่มจุดที่แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย(Bipolar group of spots)มีชนิดของขั้วตรงข้ามกันเช่นเดียวกับ B แต่อย่างน้อยในกลุ่มจะมีจุดใหญ่จุดหนึ่งมีส่วนม้ว

D เป็นกลุ่มจุดที่แบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อย มีชนิดของขั้วตรงข้ามกันเช่นเดียวกับ B แต่จุดที่มีขนาดใหญ่สุดในกลุ่มย่อยทั้งสองมีส่วนม้ว

E เป็นกลุ่มจุดที่มีขนาดใหญ่ ประกอบด้วยกลุ่มย่อยสองกลุ่มมีชนิดของขั้วตรงข้ามกัน มีโครงสร้างที่ซับซ้อน จุดใหญ่ที่เป็นหลัก 2 จุดมีส่วนม้ว มีจุดเล็กๆจำนวนมากอยู่ระหว่างจุดใหญ่ที่เป็นหลักทั้งสอง ขนาดของกลุ่มจุดวัดตามลองกิจูดโตประมาณ 10° เป็นอย่างน้อย

F เป็นกลุ่มจุดขนาดใหญ่มาก เป็นแบบที่มีกลุ่มย่อยขนาดใหญ่ 2 กลุ่ม หรือเป็นแบบที่มีจุดรวมกันอย่างซับซ้อน ขนาดของจุดวัดตามลองกิจูดโตประมาณ 15° เป็นอย่างน้อย

G เป็นกลุ่มจุดใหญ่ที่มี 2 ขั้ว ไม่มีจุดขนาดเล็กอยู่ในบริเวณระหว่างจุดใหญ่ที่เป็นหลักทั้งสอง ขนาดวัดตามลองกิจูดโตประมาณ 10° เป็นอย่างน้อย

H เป็นจุดที่มีขั้วเดียว มีส่วนม้ว บางทีพบว่ามีโครงสร้างซับซ้อน มีเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า 2.5°

J เป็นจุดที่มีขั้วเดียว มีส่วนม้ว รูปร่างค่อนข้างกลม มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5° (คีเปนฮอยเออร์,1953)

กลุ่มจุดที่สังเกตเห็นส่วนมากมักจะประกอบด้วยกลุ่มจุดย่อย 2 กลุ่ม อยู่ห่างกันพอสมควรภายในอาณาบริเวณที่เห็นได้ว่าเป็นกลุ่มเดียวกัน จากการสังเกตพบว่ากลุ่มจุดเหล่านี้จะค่อยๆเคลื่อนจากขอบด้านตะวันออกของดวงอาทิตย์ไปยังขอบด้านตะวันตกในแนวที่

ขนานกับเส้นละติจูดของดวงอาทิตย์โดยประมาณ การที่เรามองเห็นจุดเคลื่อนที่ไปนี้เนื่องมาจากการหมุนรอบตัวเองของดวงอาทิตย์ จุด หรือ กลุ่มของจุด ที่เคลื่อนที่นำหน้าภายในกลุ่ม ซึ่งจะอยู่ทางทิศตะวันตกของกลุ่ม เรียกชื่อว่าเป็น จุดนำ หรือ กลุ่มจุดนำ(Leading spot หรือ preceding spot , Leading group หรือ preceding group) ส่วนจุด หรือ กลุ่มของจุดที่เคลื่อนที่ตามภายในกลุ่ม ซึ่งจะอยู่ทางทิศตะวันออกของกลุ่ม เรียกชื่อว่าเป็น จุดตาม หรือ กลุ่มจุดตาม(following spot หรือ following group)

3.2.1.2 โครงสร้างของจุด

เนื่องจากในระยะที่ทำการสังเกตเป็นช่วงที่อยู่ในระยะปลายของวัฏจักรของจุด เป็นระยะที่จุดเข้าสู่ช่วงที่มีจำนวนน้อยที่สุด(minimum) จำนวนของจุดที่ปรากฏในแต่ละวันมีน้อย บางวันปรากฏว่าไม่มีจุดเลย จุดขนาดใหญ่ที่พอจะขยายดูโครงสร้างภายในได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.2 ข. เป็นจุดเดี่ยวประเภท J ตามการแบ่งประเภทของซูริค จุดนี้มีขนาดประมาณ 52.09 ฟิลิบดา(มุมที่ตา)

ตามที่สังเกตด้วยตาหรือถ่ายภาพได้ ไม่เห็นโครงสร้างละเอียดใดๆในบริเวณส่วนมืด(umbra)ของจุด แต่มีผู้ที่ได้สังเกตพบปรากฏการณ์บางอย่างในส่วนมืดของจุด เช่น เซกกี(1875)และวาลด์ไมเออร์(1941)ได้สังเกตเห็นบริเวณที่มีสีน้ำตาลแดงไปจนถึงสีเทาในบริเวณส่วนมืดของจุดปรากฏอยู่เป็นเวลานานหลายวัน และ ธีสเสน(Thiessen ,1950)ได้พบว่ามีการปรากฏลักษณะเป็นเม็ดๆ(granulation)ในบริเวณส่วนมืดของจุดที่มีขนาดใหญ่เกิน 4 - 5 ฟิลิบดา (คีเปนฮอยเออร์, 1953)

การปรากฏลักษณะเป็นเม็ดๆในบริเวณส่วนมืดของจุดนั้น เบรย์ และ ลัฟเฮด (1964)ให้ความเห็นไว้ว่า กระบวนการพาความร้อนซึ่งเป็นต้นเหตุของการปรากฏลักษณะเป็นเม็ด (granulation)ในโฟโตสเฟียร์นั้นมันมีผลในอาณาบริเวณของจุดด้วย แม้ว่า จนกระทั่งถึงในปัจจุบันนี้จะยังคงเชื่อกันว่า สนามแม่เหล็กของจุดจะกดเอาการพาความร้อนในส่วนล่างเอาไว้ไม่ให้ผ่านขึ้นมาได้ในบริเวณของจุดตามความเห็นของเบียร์แมน(1941) อายุของเม็ดในส่วนมืดของจุดตามที่ เบรย์ และ ลัฟเฮด หาไว้ พบว่า ส่วนใหญ่มีอายุ

เกิน 15 นาที มีจำนวนน้อยที่มีอายุเกิน 45 นาที และ มีจำนวนน้อยมากที่มีอายุเกิน 2 ชั่วโมง เม็ดพวกนี้มีอายุนานกว่าเม็ดในโฟโตสเฟียร์ซึ่งมีอายุราว 10 นาที

เราสามารถมองเห็นจุดบนดวงอาทิตย์ได้ชัดเจนในแสงสีขาว ซึ่งเป็นแสงสว่างที่ส่งออกมาจากโฟโตสเฟียร์ แสดงว่าจุดมีตำแหน่งอยู่ในโฟโตสเฟียร์ จุดที่เติบโตมาอย่างสมบูรณ์จะมีส่วนมัว(penumbra)ล้อมรอบส่วนมืด ส่วนมัวนี้มีความสว่างมากกว่าส่วนมืด แต่ก็มืดกว่าโฟโตสเฟียร์และสามารถมองเห็นส่วนมัวได้ชัดเจนเทียบกับบริเวณรอบๆ ถ้าสภาพสังเกตการณ์ดีและเครื่องมือที่ใช้มีกำลังแยกสูง จะเห็นส่วนมัวของจุดมีโครงสร้างที่ประกอบขึ้นด้วยระบบของเส้นสว่างยาวและแคบทอดตัวอยู่บนภูมิหลังซึ่งมืดกว่า(ดูรูปที่ 3.2 ข.) แต่เส้นสว่างยาวและแคบนี้สว่างน้อยกว่าโฟโตสเฟียร์ที่อยู่รอบๆ ส่วนใหญ่ของส่วนมัวของจุดคือภูมิหลังซึ่งมองเห็นมืด ส่วนที่เป็นเส้นสว่าง แคบ และยาวนั้นมีน้อย หรือบางทีก็ไม่มี ถ้าเป็นจุดเดียวเดี่ยวๆ ลักษณะที่เห็นเป็นเส้นๆของส่วนมัวของจุดนั้น จะทอดตัวตามยาวไปในแนวรัศมีของจุดโดยประมาณ ถ้าเป็นกลุ่มจุดที่ซับซ้อนส่วนมัวของจุดประเภทนี้แสดงการวางตัวของรูปลักษณ์ที่เป็นเส้นๆของมันในลักษณะที่คล้ายกับวังวนรอบส่วนมืดของจุดหรืออาจวางตัวเปะปะไปในทิศทางต่างๆกัน

จุดที่พัฒนามาเป็นอย่างดี โดยเฉพาะจุดที่มีขนาดกลาง จะปรากฏวงแหวนสว่าง (bright ring)รอบส่วนมัวของจุด วงแหวนสว่างนี้สว่างกว่าโฟโตสเฟียร์

ปัญหาเกี่ยวกับรูปร่างของจุดบนดวงอาทิตย์นั้นได้มีการค้นคว้ามาแล้วเป็นเวลาเกือบ 2 ศตวรรษ โดย วิลสัน(Wilson) เชกกี และคนอื่นๆ จากการสังเกตของวิลสันพบว่า จุด แสดงปรากฏการณ์ที่เรียกว่าเป็น ผลของวิลสัน(Wilson effect) คือปรากฏว่าส่วนมืดของจุดเลื่อนไปอยู่ทางข้างหนึ่งของส่วนมัวในขณะที่จุดเคลื่อนไปสู่ขอบดวง ทำให้เห็นความกว้างปรากฏของส่วนมัวทางด้านไกลขอบจะปรากฏแคบกว่าความกว้างปรากฏของส่วนมัวทางด้านใกล้ขอบ นักดาราศาสตร์ตีความหมายของปรากฏการณ์นี้ว่า จุด มีรูปร่างเป็นแอ่งตื้นๆรูปถ้วยกระทะมุ่มลงไปในโฟโตสเฟียร์ (คีเปนฮอยเออร์,1953) คำอธิบายคือ การที่เรามองเห็นจุดปรากฏมุ่มลงไปตามผลของวิลสันนั้นเนื่องมาจากในบริเวณที่เราเห็นเป็นส่วนมืดนั้น ค่าของ optical depth (τ) ใดๆในพิสัย $0.1 \leq \tau \leq 1$ นั้นมีความลึกจริง(z)มากกว่าระดับของโฟโตสเฟียร์ที่มี optical depth ในพิสัยเดียวกัน

คือ $z_u(\tau) > z_{ph}(\tau)$ หมายความว่า เราสามารถมองลงไปในส่วนมืดของจุดได้ลึกกว่ามองลงไปในโฟโตสเฟียร์ที่อยู่รอบๆ(กอดเฮล และ ซวาลล,1972) ปรากฏการณ์เช่นนี้ เบรย์ และ ลัฟเฮด(1964)ได้เคยให้คำอธิบายไว้ว่าเนื่องมาจากเนื้อสารเหนือบริเวณส่วนมืดของจุดมีความโปร่งแสงกว่าเนื้อสารของโฟโตสเฟียร์

ถ้าจุดบนดวงอาทิตย์มีรูปร่างแบนติดกับผิวของดวงอาทิตย์ ขนาดของจุดที่เรามองเห็น และ ความสามารถที่เราจะมองเห็นจุดได้ชัดเจน ควรจะแปรไปตามค่าของ $\cos\theta$ เมื่อ θ เป็นมุมที่จุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ที่รองรับด้วยส่วนโค้งบนผิวดวงอาทิตย์วัดออกไปจากจุดบนผิวที่อยู่ตรงกับจุดศูนย์กลางของตัวดวงอาทิตย์ที่เรามองเห็น แต่ตามที่สังเกตได้พบว่าจุดที่มีขนาดเล็ก มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 - 4 พิลิบดา จะมองไม่เห็นเมื่อมันเลื่อนไปอยู่ในตำแหน่งที่ $\theta = 10^\circ - 15^\circ$ ที่มันเลือนหายไปเร็วมากเป็นผลมาจากการมองเข้าไปในตัวดวงอาทิตย์ซึ่งมีพื้นผิวโค้งลงห่างจากสายตาของเราออกไปเรื่อยๆจนถึงขอบดวง(foreshortening effect)และจุดจะต้องมีรูปร่างบุ๋มเข้าไปในโฟโตสเฟียร์ ไม่ใช่แบนติดอยู่ที่ผิว (คีเปนฮอยเออร์,1953)

ส่วนมัวของจุดทางด้านใกล้ขอบดวงจะปรากฏมองเห็นได้ชัดเจนไม่ปรากฏว่าเลือนหายไปอย่างรวดเร็วตามที่ควรจะเป็นดังกฎของโคซายน์(cosine law)ที่กล่าวมาแล้ว ชี้ให้เห็นว่าระดับที่แท้จริง $z_p(\tau)$ ในส่วนมัวของจุดนั้นมันเอียงขึ้นจากระดับ $z_p(\tau) \simeq z_u(\tau)$ ในตอนที่อยู่ใกล้ส่วนมืดไปยังระดับ $z_p(\tau) \simeq z_{ph}(\tau)$ ในตอนที่อยู่ใกล้กับโฟโตสเฟียร์ (กอดเฮล และ ซวาลล,1972)

ส่วนมัวของจุดทางด้านไกลขอบดวงจะมองเห็นมัวกว่าส่วนมัวของจุดทางด้านที่อยู่ใกล้ขอบดวง ซึ่งความแตกต่างนี้จะเห็นได้ชัดในบริเวณที่อยู่ใกล้ส่วนมืด อธิบายได้ว่า ในการมองดู หรือ ถ่ายภาพจุดนั้น การวางตัวของโครงสร้างละเอียดที่มีรูปลักษณ์เป็นเส้นๆ ของส่วนมัวของจุดที่อยู่ในแนวรัศมีของจุดนั้น ในบริเวณของส่วนมัวที่อยู่ทางด้านไกลจากขอบดวง รูปลักษณ์ที่เป็นเส้นๆเหล่านี้จะทอดตัวอยู่ในแนวของสายตาของเรายิ่งกว่าพวกที่อยู่ทางด้านใกล้ขอบดวง (กอดเฮล และ ซวาลล,1972)

3.2.1.3 สนามแม่เหล็กของจุดบนดวงอาทิตย์

ลักษณะเด่นที่สำคัญที่สุดของจุดบนดวงอาทิตย์คือการมีสนามแม่เหล็กที่แรงมาก แต่การใช้กล้องโทรทรรศน์ควบกับเครื่องกรองแสงทำการสำรวจดวงอาทิตย์นั้น ไม่สามารถวัดหาค่าของความเข้มของสนามแม่เหล็กของจุดได้(ถ้าจะวัดต้องใช้เครื่องมือชนิดอื่น) แต่จะให้สิ่งที่ชวนให้คิดว่า บริเวณของจุดน่าจะเป็นบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กแรงมาก คือเมื่อดูจากฟิลเตอร์แกรมของโครโมสเฟียร์ในแสงไฮโดรเจนอัลฟ่า ดูบริเวณที่อยู่ใกล้เคียงรอบๆจุด จะเห็นว่าในบริเวณดังกล่าว โครโมสเฟียร์มีโครงสร้างคล้ายกับผงตะไบเหล็กที่วางตัวอยู่ในบริเวณใกล้กับขั้วแม่เหล็ก ยิ่งจุดที่เป็นแบบมี 2 ขั้วด้วยแล้ว ยิ่งมองเห็นได้อย่างชัดเจนว่าโครงสร้างของโครโมสเฟียร์รอบจุดมีรูปร่างอย่างเดียวกับสนามแม่เหล็กในบริเวณสนามแม่เหล็ก 2 ขั้ว (ดูรูปที่ 3.1)

เฮล เป็นนักดาราศาสตร์คนแรกที่ตีความหมายจากโครงสร้างที่เป็นวังวนของโครโมสเฟียร์ในบริเวณรอบๆจุดว่าจุดมีสนามแม่เหล็ก และพิสูจน์ได้ว่าเป็นจริงโดยเขาได้ค้นพบ ผลของซีแมน(Zeeman effect)ในสเปคตรัมของจุดบนดวงอาทิตย์

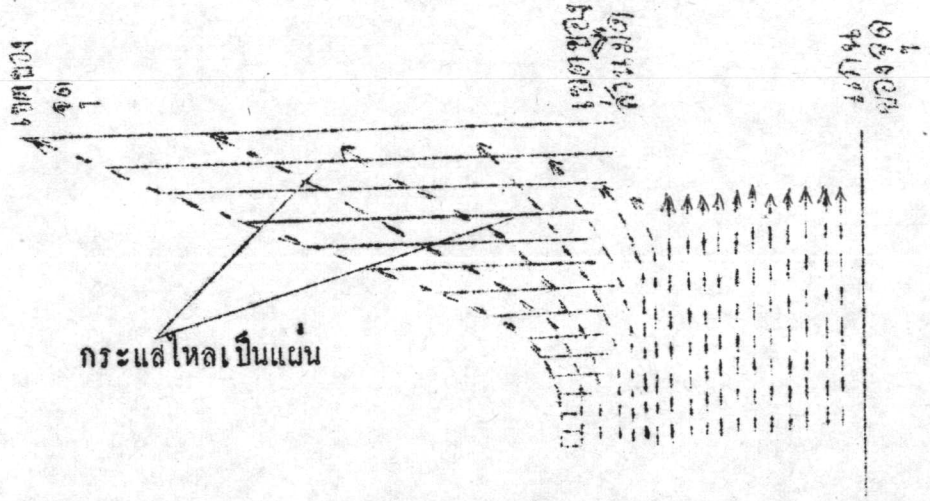
นักฟิสิกส์วิจัยดวงอาทิตย์หลายท่านได้ทำการวัดค่าของสนามแม่เหล็กของจุด พบว่าค่าของสนามจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มพื้นที่ของจุด(โดยประมาณ) และมีค่าอยู่ในพิสัยประมาณ 500 - 4,500 เกาส์ (เดอ จาเกอร์,1965)

เดอ จาเกอร์ (1961) ให้คำอธิบายเกี่ยวกับการปรากฏมีส่วนมืดของจุดบนดวงอาทิตย์ไว้โดยอ้างถึงคำอธิบายของเบียร์แมน(Biermann ,1941) และ คาวลิ่ง(Cowling ,1933,1957) ว่าเป็นผลเนื่องมาจากการปรากฏสนามแม่เหล็กที่มีขนาดแรงมากในบริเวณที่เป็นจุดนั่นเอง โดย จุด จะเป็นบริเวณที่เส้นแรงแม่เหล็กมาชุมนุมกันอยู่อย่างหนาแน่นมีขอบเขตจำกัดชัดเจน มีความเข้มของสนามแม่เหล็กเป็นหลายร้อยไปจนถึงหลายพันเกาส์ ส่วนบริเวณรอบๆจุดนั้นสนามแม่เหล็กมีกำลังอ่อนกว่ามาก มีขนาดประมาณเป็นจำนวนสิบเกาส์เท่านั้น การเคลื่อนที่พาความร้อน(Convection motion)ซึ่งเป็นกลไกสำคัญของการขนถ่ายพลังงานในบริเวณอันกว้างใหญ่ของดวงอาทิตย์ภายใต้โฟโตสเฟียร์ที่อยู่ในสภาพปรกตินั้น จะมีอัตราการขนถ่ายพลังงานลดลงในอาณาบริเวณของจุด เนื่องจาก

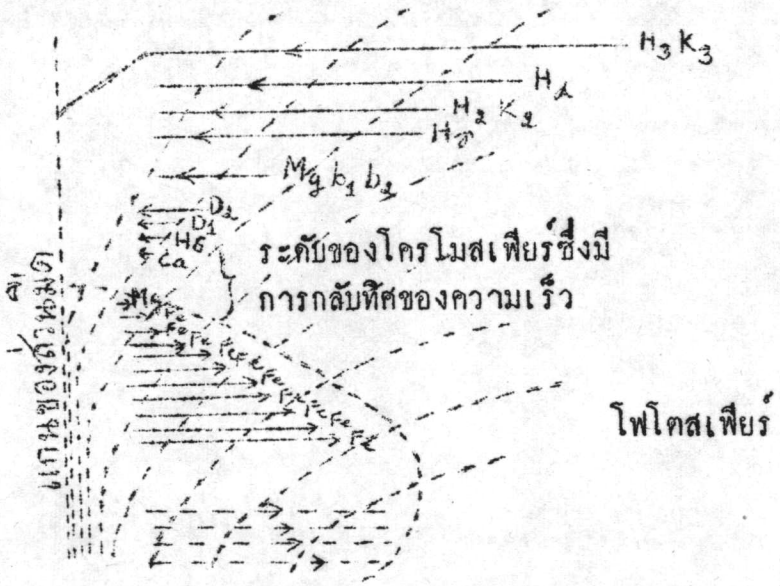
การเคลื่อนที่พาถูกขัดขวางโดยสนามแม่เหล็กของจุด ทั้งนี้เป็นเพราะสสารที่กำลังเคลื่อนที่นั้นอยู่ในสภาพที่เป็นพลาสม่า สนามแม่เหล็กของจุดจะบังคับการเคลื่อนที่ของพลาสม่าในบริเวณของจุด ทำให้พลาสม่าไม่สามารถเคลื่อนที่ไปในแนวทิศที่ตั้งฉากกับสนาม แต่จะถูกพาเคลื่อนที่ขึ้นไปในแนวทิศของสนาม เมื่อเป็นเช่นนี้ กาซซึ่งอยู่ในสภาพของพลาสม่านั้น ก็ไม่สามารถจะขยายตัวออกทางข้างๆได้ ทำให้ส่วนที่ถูกพาขึ้นไป มีความหนาแน่นกว่าบริเวณที่อยู่รอบๆอย่างรวดเร็ว จึงทำให้ส่วนนั้นกลับจมลงไปอีก นั่นคือ การเคลื่อนที่พาถูกขัดขวางเอาไว้โดยสนามแม่เหล็กของจุด ทำให้การขนถ่ายพลังงานน้อยลงณตำแหน่งของจุด ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของจุดต่ำกว่าอุณหภูมิของบริเวณที่อยู่รอบๆ ทำให้เราเห็นบริเวณของจุดมืดลง

ส่วนกาซที่ไม่ได้เคลื่อนที่ขึ้นตรงๆ แต่เคลื่อนไปตามแนวเส้นแรงแม่เหล็กที่เบนถางออกไปจากแนวตั้งฉากนั้นจะยังสามารถเคลื่อนที่ไปได้ การเคลื่อนที่นี้ได้ถูกสังเกตเห็นโดย เอฟเวอร์เชด(1909,1916) เรียกว่าเป็น ผลของเอฟเวอร์เชด(Evershed effect) เป็นการเคลื่อนที่ของกาซออกและเข้าทางด้านข้างตามแนวเส้นแรงแม่เหล็กที่ถางออกไป ผลของเอฟเวอร์เชดนี้สังเกตได้โดยวิธีของผลดอปเปลอร์(Doppler effect)ของเส้นสเปคตรัม พบว่า มันปรากฏมีอยู่ในบริเวณที่เห็นประกอบขึ้นเป็นเส้นๆเป็นริ้วๆของส่วนมัวของจุด และมีขอบเขตการเคลื่อนที่อยู่ภายในบริเวณที่เห็นเป็นริ้วเส้นนี้เท่านั้น ไม่เกิดนอกบริเวณของโครงสร้างนี้ ซึ่งพิจารณาได้ว่า ริ้วเส้นของส่วนมัวที่เรามองเห็น เป็นบริเวณที่มีการเคลื่อนที่พาเกิดขึ้น กาซเคลื่อนที่อยู่ในแนวที่ทำมุมประมาณ 10° - 15° กับระนาบระดับ คือ กาซจะเคลื่อนที่จากส่วนล่างของส่วนมืดของจุดไปยังผิวบนของโฟโตสเฟียร์ และเคลื่อนจากผิวบนของโฟโตสเฟียร์ไปยังส่วนล่างของส่วนมืดของจุด (เดอ จาเกอร์,1965)

การเคลื่อนที่ของกาซตามแนวเส้นแรงของสนามแม่เหล็กนั้นเป็นการเคลื่อนที่ไปในลักษณะเป็นแผ่น(Laminar motion) อธิบายไว้โดย เดอ จาเกอร์(1961,1965) ส่วน กอลเซล และ ซวาลล(1972)อธิบายไว้ว่า มีกระแสไฟฟ้าไหลในลักษณะเป็นแผ่นๆ (Current sheet)รอบส่วนมืดของจุด (ดูไดอะแกรมในรูปที่ 3.3) และผลการค้นคว้าของเซ้นต์ จอห์น(1913)ซึ่งอ้างไว้โดย คีเปนฮอยเออร์(1953)เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของ



รูปที่ 3.3 ไดอะแกรมแสดงสนามแม่เหล็กของจุด มีกระแสไหลในลักษณะเป็นแผ่นๆในบริเวณรอบๆสนามแม่เหล็กของส่วนมืดแสดงด้วยเส้นตรงยาว ส่วนเส้นแรงของสนามแม่เหล็กแสดงด้วยเส้นประ (ดอดเฮล และ ซวาลล,1972)



รูปที่ 3.4 แสดงภาคตัดตามแนวดิ่งให้เห็นการเคลื่อนที่ของก๊าซในบริเวณจุดของดวงอาทิตย์ เส้นที่มีหัวลูกศรเป็นเวคเตอร์ของความเร็ว เส้นประนั้นใช้แทนเส้นแรงแม่เหล็กของสนาม ซึ่งเป็นที่คาดกันว่าจะอยู่ในลักษณะแบบนี้ รูปนี้เป็นผลการค้นคว้าของเซ้นต์ จอห์น(1913) (อ้างโดย คีเปนฮอยเออร์,1953)

กาซในบริเวณส่วนมัวของจุดแสดงอยู่ในรูปที่ 3.4

ถ้า H เป็นค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่งใดๆของดวงอาทิตย์

H_1 เป็นค่าต่ำสุดของสนามแม่เหล็กที่จะสามารถขัดขวางการเคลื่อนที่พา จากการอนุมานว่าจุดมีลักษณะบุมลงไปในโฟโตสเฟียร์เป็นแอ่งตื้นๆนั้น แสดงว่าสนามแม่เหล็กอาจทะลุทะลวงลงไปในเขตพาความร้อน(Convection Zone) แต่ในระดับความลึกที่แน่นอนค่าหนึ่งที่อยู่ใต้บริเวณของจุด เมื่อ $H < H_1$ การเคลื่อนที่พาไม่ถูกขัดขวาง ดังนั้นในบริเวณใต้จุดที่ระดับความลึกนั้นจะมีอุณหภูมิเท่ากันกับบริเวณที่อยู่รอบๆ ส่วนพลังงานที่ถูกขัดขวางไม่ให้ผ่านขึ้นข้างบนนั้น ส่วนใหญ่จะสะท้อนลงเบื้องล่างและถูกดูดกลืน ทำให้เกิดมีแหล่งกำเนิดความร้อนประจำที่อยู่ในเขตพาความร้อนที่มีค่า $H = H_1$ ใต้บริเวณของจุด พลังงานที่แผ่ออกมาจากบริเวณนี้เป็นส่วนที่ทำให้ส่วนมืดของจุดยังมีความสว่างเหลืออยู่ ส่วนพลังงานที่แผ่ออกมาทางข้างๆ เป็นส่วนที่ทำให้เกิด วงแหวนสว่าง (bright ring)อยู่รอบส่วนมัว ซึ่งปรากฏเห็นสว่างมากกว่าโฟโตสเฟียร์ (เดอจาเกอร์,1961)

การจำแนกประเภทของคุณสมบัติทางแม่เหล็กของกลุ่มจุดที่จัดทำโดยหอดูดาวเม้าท์วิลสัน(The Mount Wilson Classification)แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

α มีขั้วแม่เหล็กชนิดเดียว(unipolar)

β มีขั้วแม่เหล็ก 2 ขั้ว มีชนิดของขั้วตรงข้ามกัน(Bipolar)

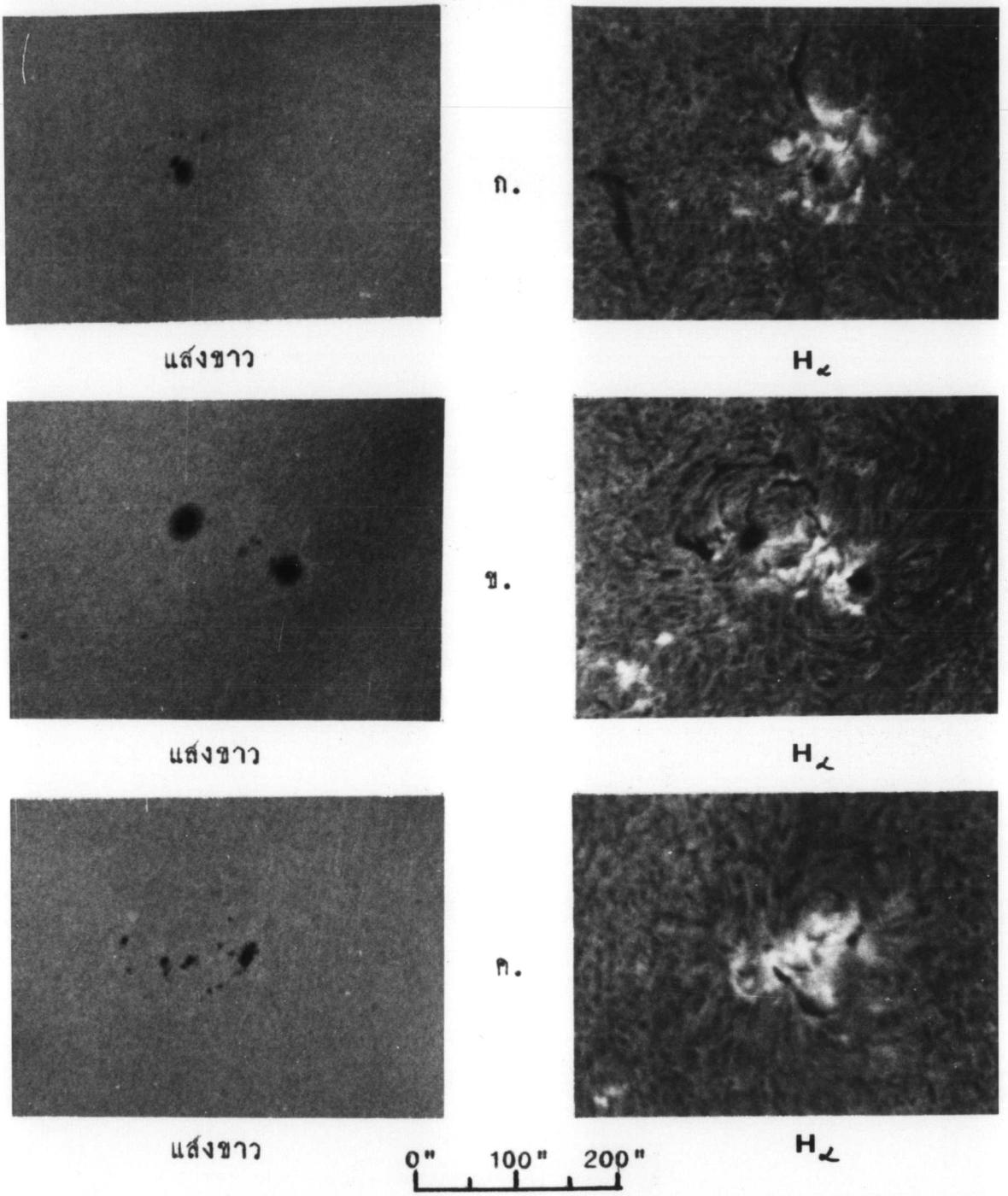
γ มีขั้วแม่เหล็กหลายๆขั้วชนิดของขั้วต่างกันอยู่ปนกัน(multipolar)

รวมทั้งดูจากเกณฑ์ของการกระจัดกระจายของคัลเซี่ยมพลาจและไฮโดรเจนพลาจประกอบ

กลุ่มจุดที่มีขั้วชนิดเดียว(Unipolar group) จะเป็นจุดเดียวเดี่ยวๆ หรือเป็นกลุ่มจุดที่มีขั้วแม่เหล็กชนิดเดียวกัน แบ่งออกเป็น

α เป็นกลุ่มจุดนำ หรือ กลุ่มจุดตาม ที่มีคัลเซี่ยมพลาจกระจายกันอยู่อย่างสมมาตรในกลุ่ม

αp เป็นกลุ่มจุดที่ถูกล้อมรอบด้วยคัลเซี่ยมพลาจที่มีรูปยาวรีออกไป โดยกลุ่มจุดนั้นอยู่ในส่วนนำของพลาจ



รูปที่ 3.5 แสดงกลุ่มจุดที่มีขั้วแม่เหล็กแบบต่างๆ ถ่ายในแสงขาว และ แสง H_α

ก. ขั้วชนิดเดียว (α)

ข. ขั้ว 2 ชนิดตรงข้ามกัน (β)

ค. ขั้ว 2 ชนิด ($\beta\gamma$)

αf เป็นกลุ่มจุดที่ถูกล้อมรอบด้วยคัลเซี่ยมพลาจที่มีรูปยาวรีออกไป โดยกลุ่มจุดนั้นอยู่ในส่วนตามของคัลเซี่ยมพลาจ

<u>กลุ่มจุดที่มี 2 ขั้ว(Bipolar group)</u> รูปร่างที่ธรรมดาที่สุดประกอบด้วยจุด 2 จุดมีขั้วแม่เหล็กชนิดตรงข้ามกัน แตกลุ่มจุดที่มี 2 ขั้ว อาจเป็นกลุ่มที่มีจุดรวมกันอยู่เป็นจำนวนมาก โดยมีพวกหนึ่งรวมกันอยู่เป็นส่วนนำ มีขั้วแม่เหล็กชนิดเดียวกัน และอีกพวกหนึ่งรวมกันอยู่เป็นส่วนตาม มีขั้วแม่เหล็กชนิดเดียวกัน แต่เป็นชนิดตรงข้ามกับพวกที่อยู่เป็นส่วนนำ

กลุ่มจุดที่มี 2 ขั้วอาจแบ่งออกเป็น

β จำนวนของจุดในส่วนนำและส่วนตามอาจมีเพียงจุดเดียวหรือมีหลายจุดก็ได้ โดยทั้งสองส่วนมีพื้นที่ประมาณเท่ากัน

βp เป็นกลุ่มจุดที่มีจุดในส่วนนำเป็นส่วนประกอบที่เป็นหลักของกลุ่ม

βf เป็นกลุ่มจุดที่มีจุดในส่วนตามเป็นส่วนประกอบที่เป็นหลักของกลุ่ม

$\beta\gamma$ เป็นกลุ่มจุดที่แสดงลักษณะว่ามี 2 ขั้ว แต่ไม่มีเครื่องหมายที่เป็นเส้นแบ่งเขตออกเป็นขั้วเหนือ ขั้วใต้ อยู่ระหว่างขั้วที่มีชนิดของขั้วตรงข้ามกัน

<u>กลุ่มจุดซับซ้อน(Complex group)</u>

γ เป็นกลุ่มจุดที่ประกอบด้วยจุดจำนวนมากที่มีขั้วต่างกันรวมอยู่ด้วยกัน โดยจุดเหล่านั้นกระจายกันอยู่ไม่สม่ำเสมอภายในกลุ่ม ทำให้จัดเข้าเป็นกลุ่มจุดชนิด 2 ขั้วไม่ได้

ในรูปที่ 3.5 แสดงกลุ่มจุดแบบ α, β, $\beta\gamma$ ตามที่สังเกตได้

3.2.2 แฟคิวเล(facula)

ภายในอาฆาบริเวณกัมมันต์ แฟคิวเลเป็นอาฆาบริเวณสว่างที่มองเห็นในแสงสีขาวในบริเวณใกล้เคียงรอบๆจุด นั่นคือ แฟคิวเลเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในโฟโตสเฟียร์ นักดาราศาสตร์บางท่านเรียกแฟคิวเลว่า แฟคิวเลของโฟโตสเฟียร์(photospheric facula)

ในช่วงอายุของแฟคิวเล่นั้นมันอาจเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบต่างๆ เช่น ความสว่าง พื้นที่ และ รูปร่างของมัน แฟคิวเลมีรูปร่างที่ไม่จำกัดแน่นอน แต่ว่ามีโครงสร้างภายใน คือ มันมีโครงสร้างที่ปรากฏเป็นเม็ดๆ(granule)คล้ายกับลักษณะเป็นเม็ดๆของโฟโตสเฟียร์(photospheric granule) แต่เม็ดของแฟคิวเลสว่างกว่า และบริเวณภูมิหลังซึ่งแฟคิวเลทับอยู่ก็สว่างกว่าโฟโตสเฟียร์ด้วย ตามปรกติเมื่อเราสังเกตดูโฟโตสเฟียร์จะเห็นลักษณะปรากฏที่ขอบดวงมืดคล้ำกว่าบริเวณกลางดวง แต่แฟคิวเลที่เห็นปรากฏบนโฟโตสเฟียร์ไม่ปรากฏลักษณะเช่นนี้ กลับปรากฏว่า เราจะมองเห็นแฟคิวเลได้ง่ายถ้ามันมีตำแหน่งอยู่ใกล้ขอบดวง และโดยปรกติเราจะมองไม่เห็นแฟคิวเลในบริเวณตรงกลางของดวง(แต่ถ้าลักษณะอากาศดีมากอาจจะมองเห็นแฟคิวเลในบริเวณกลางดวงได้เหมือนกัน จะเห็นเป็นรอยสว่างเป็นหย่อมๆเมื่อสะท้อนภาพของดวงอาทิตย์ในแสงสีขาวให้ทาบลงไปบนจอ) การเปลี่ยนแปลงความสว่างเช่นที่กล่าวมานี้ ตีความหมายได้ว่าแฟคิวเล มีโครงสร้างที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันในตัวมัน ไม่เหมือนกับโครงสร้างของโฟโตสเฟียร์ปรกติ การที่เราเห็นแฟคิวเลสว่างมากเมื่อมันมีตำแหน่งอยู่ใกล้ขอบ ตีความหมายได้ว่า แฟคิวเลจะต้องมีอุณหภูมิสูงในระดับข้างบน และการที่เรามองไม่เห็นแฟคิวเลในบริเวณใกล้ศูนย์กลางของตัวดวง เป็นเพราะแฟคิวเลที่อยู่ในบริเวณที่ลึกลงไปมีอุณหภูมิต่ำเมื่อเรามองตรงเข้าไปในบริเวณกลางดวง อุณหภูมิที่สูงในระดับข้างบนถูกหักกลบหดแทนโดยอุณหภูมิที่ต่ำกว่าในระดับข้างล่างที่ลึกลงไปในโฟโตสเฟียร์ ทำให้เราเห็นการเปรียบเทียบความสว่างของแฟคิวเลและของโฟโตสเฟียร์ที่อยู่รอบๆมีค่าเป็นศูนย์ ถ้าพิจารณาถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะเห็นได้ว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแฟคิวเลจะต้องมีค่าสูงกว่าของโฟโตสเฟียร์(temperature gradient ของแฟคิวเลชันกว่าของโฟโตสเฟียร์)

แฟคิวเลที่เกิดอยู่ในบริเวณที่ไม่มีจุดก็มีเหมือนกัน จะมองเห็นเป็นจุดสว่างเป็นหย่อมๆในแสงสีขาว อาจเกิดในระหว่างละติจูดประมาณ 47° เหนือ ถึง 47° ใต้ของดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นขอบเขตที่จุดจะเกิดในบริเวณนี้เป็นส่วนใหญ่ หรืออาจเกิดในบริเวณใกล้กับขั้วของดวงอาทิตย์ในละติจูดประมาณ 70° และสูงกว่านั้น แต่พวกที่อยู่ใกล้ขั้วจะมอง

เห็นได้ยากกว่า จะเห็นมีลักษณะเป็นจุดสว่างกลมๆมีขนาดเล็กกว่า และมีอายุสั้นกว่าแฟคิวเลที่ปรากฏในอาณาบริเวณที่เรียกได้ว่าเป็นขอบเขตที่จุดจะเกิดขึ้นได้(sunspot zone)

โดยมากมักจะปรากฏว่าเมื่อแฟคิวเลปรากฏขึ้นณบริเวณพื้นผิวของดวงอาทิตย์ และแฟคิวเลนั้นเพิ่มพื้นที่มากขึ้นเป็นกลุ่มค่อนข้างใหญ่กระชับแน่นมีความสว่างมาก คาดได้ว่าจะต้องมีจุดปรากฏขึ้นในบริเวณของแฟคิวเลนั้นในไม่ช้า และแฟคิวเลนั้นจะยังปรากฏอยู่อีกนานหลังจากที่จุดได้สลายตัวไปแล้ว

ในรูปที่ 3.2 ก. แสดงแฟคิวเลในอาณาบริเวณกัมมันต์ จะเห็นเป็นจุดสว่างอยู่เป็นหย่อมๆ ในบริเวณใกล้เคียงกับจุดบนดวงอาทิตย์

3.2.3 พลาจ(plage)

พลาจเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในชั้นโครโมสเฟียร์ของดวงอาทิตย์ จะสังเกตเห็นได้เฉพาะในแสงสีเดียวของเส้นสเปคตรัมที่เกิดจากการถูกกระตุ้น(excite)อย่างรุนแรง เช่นเส้นสเปคตรัม H_α ซึ่งมีขนาดความยาวคลื่น 6562.8 อังสตรอม หรือ แสงของเส้นสเปคตรัมจากอิออนคัลเซี่ยม(Ca II)ที่เรียกว่า เส้น H และ K ซึ่งมีขนาดความยาวคลื่น 3968.5 และ 3933.7 อังสตรอม ถ้าดูในแสงของเส้นสเปคตรัมที่กล่าวมานี้ พลาจที่เห็น ก็เป็นกลุ่มของไฮโดรเจน หรือ กลุ่มของไอของคัลเซี่ยมที่กำลังลุกสว่าง ก่อนนี้ เฮล เคยเรียกพลาจว่าเป็น ฟลอคคูลีสว่าง(bright flocculi) พลาจมีความสำคัญเกี่ยวข้องกับแฟคิวเล คือ มักจะพบว่า พลาจ และ แฟคิวเลนั้นมักจะปรากฏในบริเวณเดียวกัน ในอาณาบริเวณกัมมันต์เดียวกัน มีรูปร่างลักษณะคล้ายคลึงกันมาก แต่พลาจและแฟคิวเลมีความแตกต่างกันตรงที่ เราจะสังเกตพลาจได้เฉพาะในแสงสีเดียว และสามารถมองเห็นได้ทั่วตัวดวง คือ เห็นได้ชัดทั้งในบริเวณใกล้ขอบดวงและบริเวณกลางดวง ส่วนแฟคิวเลนั้นเห็นได้ชัดในแสงขาวเฉพาะใกล้ขอบดวง และแฟคิวเลจะคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างกว่าพลาจในอาณาบริเวณเดียวกัน เป็นที่น่าสงสัยว่า พลาจและแฟคิวเล น่าจะเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดต่อเนื่องสัมพันธ์กัน ไม่ใช่แยกออกจากกันอย่างแท้จริง คล้ายๆกับว่ามันเป็นปรากฏการณ์อย่างเดียวกัน แต่ปรากฏที่ความสูงแตกต่างกันในบรรยากาศของดวงอา

ทิตย์ คือ แฟคิวเล่ เป็นปรากฏการณ์ในโฟโตสเฟียร์ ส่วนพลาจเป็นปรากฏการณ์ในโครโมสเฟียร์ นักดาราศาสตร์บางท่านเรียกพลาจว่าเป็น แฟคิวเลของโครโมสเฟียร์(chromospheric facula) พลาจและแฟคิวเลเป็นส่วนประกอบที่อยู่ได้นานมากในอาณาบริเวณกัมมันต์ โดยมันจะมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ พบว่า พลาจ ปรากฏอยู่นานกว่าแฟคิวเล่ โดยมันจะยังคงปรากฏอยู่นานในขณะที่ดวงอาทิตย์หมุนรอบตัวเองไปได้หลายรอบ

บริเวณที่เป็นพลาจนั้น เมื่อดูในแสง H_α (หรือ $H_\alpha \pm 0.25$ Å)จะเห็นเป็นบริเวณสว่าง (ดูหมายเลข 5 ในรูปที่ 3.1) มักจะเห็นบ่อยๆว่า มันก่อรูปเป็นเส้นๆอยู่ใกล้จุดเดี่ยวเดี่ยวๆ และอยู่ใกล้กลุ่มจุด ถ้าอยู่ใกล้กลุ่มจุด รูปลักษณ์ที่เห็นเป็นเส้นๆอยู่ของพลาจนั้นมักจะวางตัวอยู่ระหว่างจุดใหญ่ที่เป็นหลักภายในกลุ่ม(ดูรูปที่ 4.10 และ 5.2) จุด หรือ กลุ่มจุด จะวางตัวอยู่ในบริเวณของพลาจเสมอ โดยจะเห็นพลาจสว่างอยู่ใกล้จุด บางทีพลาจจะกลุมจุดที่มีขนาดเล็กไว้หมดทำให้ไม่เห็นจุดเล็กนั้นในแสงไฮโดรเจนอัลฟา (ดูรูปที่ 4.9 เทียบกับรูปที่ 4.10 และ รูปที่ 5.1 เทียบกับรูปที่ 5.2) แสดงว่าในระดับสูงขึ้นไปเหนือจุดนั้น ไฮโดรเจนอยู่ในสภาพที่เปล่งแสงสว่าง ถ้าดูจากแสงในส่วนที่อยู่ห่างออกมาจากกลางเส้นที่ความยาวคลื่น $H_\alpha \pm 0.5$ Å หรือห่างออกมามากกว่านั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับความยาวคลื่นที่ห่างจากใจกลางเส้น H_α ไปทางที่อยู่ทางเดียวกันกับสเปคตรัมสีแดง(red wing)จะปรากฏว่า ในบริเวณที่เห็นพลาจสว่างในแสง H_α นั้น เมื่อดูในแสง $H_\alpha \pm 0.5$ Å บริเวณนั้นจะปรากฏมืดเมื่อเทียบกับภูมิหลัง(ดูรูปที่ 2.6 ก., ง., ช.) จะเห็นบริเวณนั้นปรากฏเป็นเส้นยาวๆเรียงกันอยู่แสดงลักษณะของสนามแม่เหล็ก รูปลักษณ์ที่เห็นเป็นเส้นเล็กๆละเอียดของพลาจของไฮโดรเจนมีลักษณะยาวกว่าและบางกว่า มอตเติ้ล(mottle) ซึ่งเป็นลวดลายโครงสร้างละเอียดของโครโมสเฟียร์ปรกติที่มีอยู่ทั่วๆไปนอกอาณาบริเวณกัมมันต์

การที่เราเห็นพลาจสว่างนั้นแสดงว่าบริเวณของพลาจร้อนกว่าอาณาบริเวณปรกติบนดวงอาทิตย์ พลาจจะชุมนุมกันอยู่เป็นแห่งๆ ทำให้เรามองเห็นตัวดวงอาทิตย์สว่างเป็นแห่งๆในแสงไฮโดรเจนอัลฟา

พื้นที่ของพลาจที่สังเกตในแสง H_α และในแสงของเส้นสเปคตรัม H และ K จากอิออนกัลเซี่ยม มีพื้นที่ไม่เท่ากัน พลาจมีพื้นที่ใหญ่ที่สุดในแสงจากกลางเส้นสเปคตรัม K ส่วนพลาจที่สังเกตในแสง H_α มีพื้นที่น้อยกว่าภายในอาณาบริเวณกัมมันต์เดียวกัน

จากฟิลเตอร์แกรมในแสง H_α พลาจเป็นปรากฏการณ์ที่เห็นได้ชัดเจนก่อนสิ่งอื่นในการเริ่มปรากฏขึ้นของอาณาบริเวณกัมมันต์ และเป็นสิ่งที่ปรากฏอยู่นานที่สุด อาจเกิดขึ้นโดยไม่มีจุดอยู่รวมด้วย โดยทั่วๆไป มันจะเกิดขึ้นในทันทีทันใดพร้อมๆกับแฟคิวเลก่อนที่จุดจะปรากฏขึ้น

พลาจที่เริ่มเกิดมีรูปร่างค่อนข้างกลม เมื่อเวลาล่วงไปรูปร่างของพลาจชักจะยาวออกไปในแนวทิศตะวันออก - ตะวันตก ถ้าขีดเส้นแกนไปตามยาวระหว่างพลาจที่ยาวออกไปนั้น จะเห็นเส้นแกนนั้นเอียงลงทำมุมเล็กน้อยกับเส้นศูนย์สูตรของดวงอาทิตย์ โดยจะเอียงลงทางตะวันตกของกลุ่ม พลาจที่เอียงลงทางตะวันออกของกลุ่มหรือขนานกับศูนย์สูตรก็มี แต่มีน้อย

3.2.4 ไฟบริล(fibril)

จากการค้นคว้าของนักฟิสิกส์ดาราศาสตร์ เป็นที่ทราบกันอย่างแน่นอนว่า ในบริเวณที่พลาจและแฟคิวเลปรากฏอยู่นั้น มีสนามแม่เหล็กปรากฏอยู่ด้วย แต่เป็นสนามที่มีกำลังออนกว่าสนามของจุด ค่าของสนามแม่เหล็กของพลาจและแฟคิวเลมีค่าประมาณ 10 - 50 เกาส์ (เดอ จาเกอร์, 1961,1965)

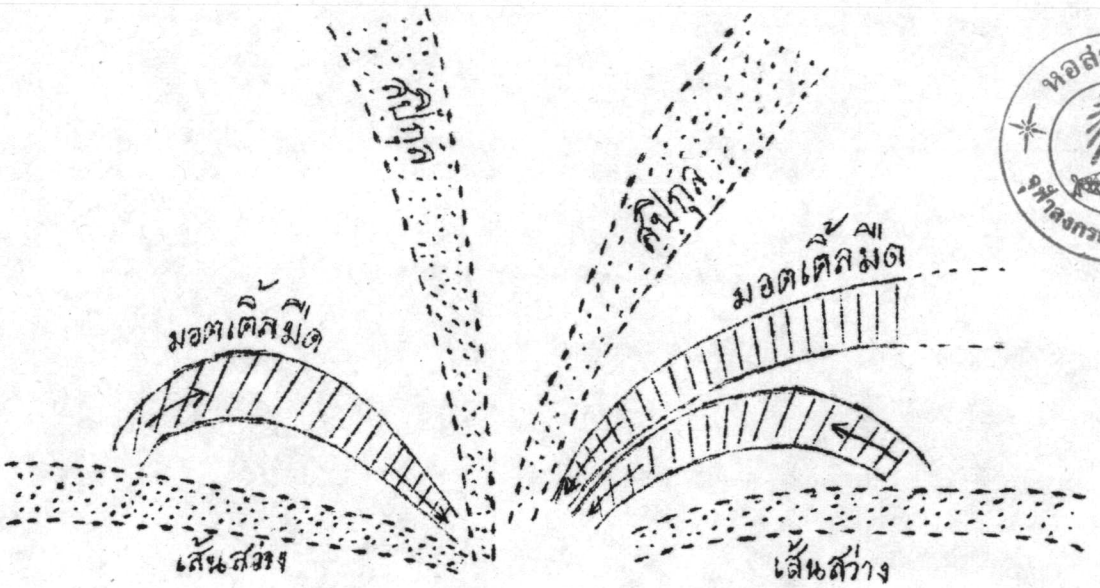
ในฟิลเตอร์แกรมที่ถ่ายในแสงไฮโดรเจนอัลฟ่า จะเห็นพลาจของไฮโดรเจนปรากฏสว่างเป็นแห่งๆบนตัวดวงอาทิตย์ จากภาพของกลุ่มก้อนของพลาจที่สว่างเป็นหย่อมๆนี้ เราไม่สามารถตีความหมายของการมีสนามแม่เหล็กได้เลย นอกจากจะใช้เครื่องมือที่สามารถวัดค่าของสนามแม่เหล็กได้ วัดค่าของสนามแม่เหล็กในบริเวณนั้นๆของดวงอาทิตย์ แต่นอกจากกลุ่มก้อนที่ปรากฏสว่างของพลาจนั้น ในฟิลเตอร์แกรมของแสงไฮโดรเจนอัลฟ่าที่ได้จากเครื่องมือที่มีกำลังแยกสูงจนเห็นโครงสร้างละเอียด จะพบว่า บริเวณรอบๆพลาจที่เห็นสว่างเป็นหย่อมๆ มีโครงสร้างเป็นเส้นเล็กๆละเอียดเป็นฝอยๆ มีปลายข้างหนึ่ง

ของเส้นต่ออยู่กับบริเวณที่เป็นพลาจสว่าง เส้นเล็กๆละเอียดเหล่านี้วางตัวอยู่รอบๆพลาจสว่างในรูปที่คล้ายกับผงตะไบเหล็กวางตัวอยู่รอบขั้วแม่เหล็ก เช่นเดียวกับโครงสร้างของโครโมสเฟียร์รอบๆจุดนั่นเอง แต่มีขนาดเล็กกว่ามาก รูปร่างที่ปรากฏเช่นนี้มีอยู่เป็นหย่อมๆในอาณาบริเวณกัมมันต์(ดูรูปที่ 3.1) รูปลักษณ์ที่เป็นเส้นฝอยละเอียดนี้ เรียกว่าไฟบริล(fibril) ลักษณะการวางตัวของไฟบริลรอบๆก้อนพลาจ เป็นเครื่องชี้อย่างชัดเจนว่า พลาจแสดงอำนาจของสนามแม่เหล็กออกมาและมีความเข้มของสนามออนกว่าสนามแม่เหล็กของจุดมาก โดยดูจากขอบเขตการเรียงตัวของไฟบริลรอบพลาจกินพื้นที่เล็กมากเมื่อเทียบกับสนามของจุด จากปรากฏการณ์แบบนี้ ทำให้เราสามารถใช้ฟิลเตอร์แกรมในแสงไฮโดรเจนอัลฟ่า ตีความหมายเกี่ยวกับรูปร่างของสนามแม่เหล็กของอาณาบริเวณกัมมันต์ได้จากโครงสร้างที่เรามองเห็นเป็นเส้นๆในบริเวณเหล่านั้นจากลายเส้นที่เห็นทาบลงไปบนตัวดวง อนุมานได้ว่า สนามแม่เหล็กตามแนวราบกับผิวดวงอาทิตย์เป็นสิ่งที่ทำให้เกิดลวดลายที่เรามองเห็นในฟิลเตอร์แกรมของแสงไฮโดรเจนอัลฟ่า แต่การใช้ฟิลเตอร์แกรมในแสงไฮโดรเจนอัลฟ่าตีความหมายเกี่ยวกับสนามแม่เหล็กนั้น เราจะไม่สามารถทราบถึงชนิดของขั้วแม่เหล็กและทิศทางที่แท้จริงของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากจุดหรือก้อนพลาจ ดังนั้นวิธีการที่จะใช้ฟิลเตอร์แกรมเพียงอย่างเดียวในการวิจัยเพื่อหาคำอธิบายเกี่ยวกับกลไกที่ก่อให้เกิดโครงสร้างต่างๆบนผิวโครโมสเฟียร์ของดวงอาทิตย์นั้นย่อมเป็นไปไม่ได้ อาจใช้ได้ในปัญหาเกี่ยวกับรูปร่างลักษณะและความสัมพันธ์ระหว่างรูปลักษณ์ต่างๆที่ปรากฏในฟิลเตอร์แกรม

ไฟบริลที่ปรากฏเป็นส่วนประกอบทั่วไปในอาณาบริเวณกัมมันต์มีความเป็นมาอย่างไรนั้น ยังเป็นปัญหาที่จะต้องค้นคว้าต่อไป อย่างไรก็ตาม ถ้าพิจารณาอาณาบริเวณที่ติดต่อกันระหว่างบริเวณโครโมสเฟียร์สงบกับบริเวณกัมมันต์ในฟิลเตอร์แกรมในแสงไฮโดรเจนอัลฟ่าจะเห็นมีการเปลี่ยนแปลงทีละเล็กละน้อยของโครงสร้างในบริเวณสงบไปจนได้รูปลักษณ์ที่เป็นเส้นๆของไฟบริลในบริเวณกัมมันต์ เพื่อเป็นการเชื่อมโยงกัน จะขอกล่าวถึงโครงสร้างละเอียดของโครโมสเฟียร์สงบสักเล็กน้อย นักฟิสิกส์วิจัยดวงอาทิตย์จำนวนมากได้ทำงานอย่างหนักเพื่อค้นหาคำอธิบายอันจะเป็นที่เชื่อถือได้ เกี่ยวกับโครงสร้างที่แท้จริงของโครโมส

เฟียร์สงบ ซึ่งจนกระทั่งบัดนี้ โครงสร้างของโครโมสเฟียร์ก็ยังคงเป็นปัญหาที่โต้แย้งกันอยู่ ส่วนประกอบอันหนึ่งของโครงสร้างของโครโมสเฟียร์ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันก็คือ สปิกุล (spicule) สปิกุลนี้ เชื่อกันว่า คือกาซร้อนในสภาพพลาสม่า พุ่งขึ้นจากระดับต่ำของโครโมสเฟียร์ไปสู่ระดับสูง มีลักษณะเมื่อดูที่ขอบดวงในแสงไฮโดรเจนอัลฟ่า หรือ $H_{\alpha} \pm 0.5$Å เป็นลำคล้ายกับเหล็กแหลม หรือบางขณะดูคล้ายกับใบหญ้าที่ตั้งตรง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 800 กม พุ่งขึ้นสูงเฉลี่ย 8,000 กม และ มีบางลำอาจพุ่งขึ้นสูงถึง 20,000 กม อายุเฉลี่ยประมาณ 5 นาที (ระวี ภาวิไล, 1973) ส่วนตัวดวงโครโมสเฟียร์ในแสงไฮโดรเจนอัลฟ่า มีลักษณะโครงสร้างเป็นลวดลายละเอียดประกอบด้วยส่วนมืดและสว่าง ลวดลายละเอียดนี้เรียกกันสั้นๆว่า มอตเติ้ล(mottle) การค้นคว้าเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของสปิกุลที่เห็นบนขอบดวงกับมอตเติ้ลที่เห็นบนตัวดวงทำให้นักฟิสิกส์วิจัยดวงอาทิตย์ตีปัญหากันไปหลายอย่าง บางท่านเชื่อว่าสปิกุลที่ขอบดวงจะปรากฏบนตัวดวงในลักษณะของมอตเติ้ลมืด(มาคริส 1957, เดอ จาเกอร์ 1957, คีเปนฮอยเออร์ 1957, ฯลฯ อ้างโดย อเล็กซานดราคีส และ มาคริส 1971) บางท่านยืนยันว่า สปิกุลจะปรากฏบนตัวดวงในลักษณะที่เป็นทั้งมอตเติ้ลมืด และ มอตเติ้ลสว่าง (อ้างโดย ระวี ภาวิไล,1973) ซึ่งปัญหาว่า ความเห็นอย่างใดถูกต้องนั้นยังคงเป็นงานที่นักฟิสิกส์วิจัยดวงอาทิตย์จะต้องทำการค้นคว้าต่อไป นอกจากมอตเติ้ลมืด และ มอตเติ้ลสว่างที่กล่าวมาแล้วอาจจะยังมีโครงสร้างลักษณะอื่นเป็นส่วนประกอบของโครโมสเฟียร์ด้วย โครงสร้างทั้งหลายเหล่านี้รวมกันอยู่เป็นกระจุกเรียงรายกันไปทั่วบริเวณโครโมสเฟียร์สงบ ทำให้เห็นเป็นลวดลายแบบตาข่ายในแสงไฮโดรเจนอัลฟ่า แบบจำลองของกระจุกมอตเติ้ลในโครโมสเฟียร์ของดวงอาทิตย์ ซึ่งเสนอโดย ศาสตราจารย์ ดร. ระวี ภาวิไล แห่งจุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย นับว่าเป็นแบบจำลองที่มีหลักฐานน่าเชื่อถือ โดยมีนักฟิสิกส์วิจัยดวงอาทิตย์หลายท่านได้นำไปอ้างอิงพร้อมกับหาหลักฐานมาสนับสนุนยืนยัน แบบจำลองนี้แสดงไว้ว่ากระจุกมอตเติ้ลเป็นศูนย์รวมของโครงสร้างอย่างน้อยสามชนิด คือ สปิกุล ซึ่งพุ่งขึ้นสู่ระดับสูงในแนวตั้ง มอตเติ้ลมืด ซึ่งทอดตัวอยู่ในระดับต่ำกว่าสปิกุล และ เส้นสว่าง ซึ่งวางตัวทอดไปตามระนาบในโครโมสเฟียร์ โดยโคนของสปิกุลและเส้นสว่างตรงที่รวมกันเป็น

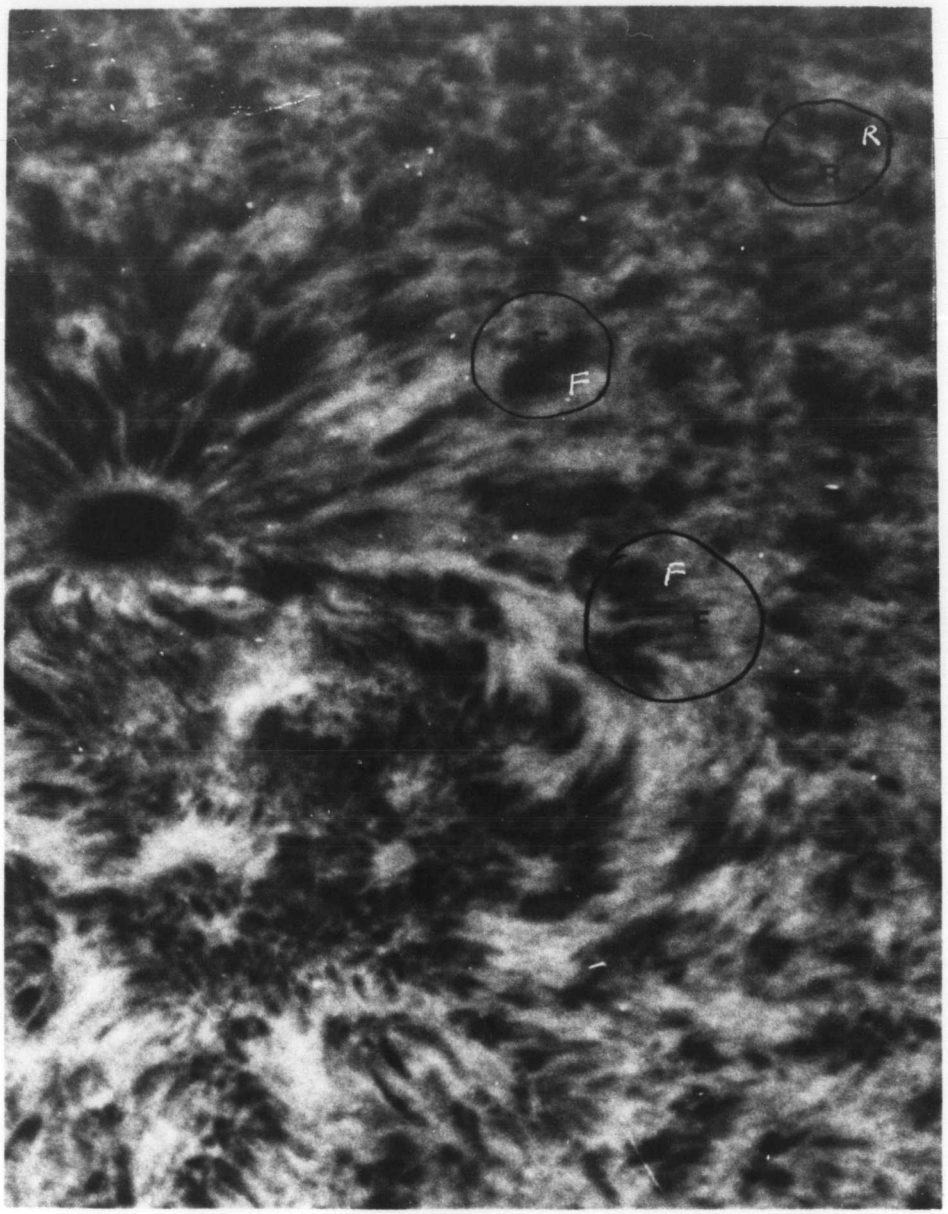
กระจุกนั้น จะปรากฏเป็นมอตเติ้ลสว่าง (ระวี ภาวิไล,1973) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.6



หอสมุดกลาง
จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.6 แสดงแบบจำลองของกระจุกมอตเติ้ลในโครโมสเฟียร์ของดวงอาทิตย์ ตามแนวความคิดของศาสตราจารย์ ดร. ระวี ภาวิไล (ระวี ภาวิไล,1973)

ในแสงไฮโดรอัลฟ่า โครงสร้างของกระจุกมอตเติ้ลแต่ละกระจุกเมื่อมองในตัวดวงมีลักษณะคล้ายช่อดอกไม้ (เบคเกอร์เรียกว่า rosette ,1964) คือมีลักษณะเป็นเส้นแฉกออกมาจากพื้นที่เล็กๆที่เป็นศูนย์กลาง ถ้าดูในบริเวณใกล้ขอบดวงจะมีลักษณะเป็นพุ่ม(bush) คล้ายกอหญ้า แต่ละดอก หรือ พุ่ม ที่เห็นนี้ เชื่อกันว่าเป็นสปิกุลที่วางตัวอยู่ในแนวดิ่งภายในกระจุกมอตเติ้ล เมื่อมีสนามแม่เหล็กปรากฏขึ้นในบริเวณใกล้เคียง ซึ่งเป็นเครื่องหมายของการปรากฏอาฆาบริเวณกัมมันต์ สปิกุล ซึ่งเดิมวางตัวในแนวดิ่งจะเอนไปด้วยกันอย่างสม่ำเสมอในทิศทางหนึ่ง (ดูบริเวณ R เทียบกับบริเวณ F ในรูปที่ 3.7) คาดว่าการเอนไปของสปิกุลนี้ มีสาเหตุมาจากส่วนประกอบตามแนวราบของสนามแม่เหล็กในอาฆาบริเวณกัมมันต์ที่อยู่ใกล้เคียง มีขนาดแรงพอที่จะมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของก๊าซ โดยพลาสม่าจะถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปตามเส้นแรงแม่เหล็กของสนามที่ปรากฏขึ้นใกล้ๆ พลาสม่าพวกที่เคลื่อนที่ตามเส้นแรงที่วางตัวในระดับต่ำจะก่อให้เกิดโครงสร้าง



รูปที่ 3.7 แสดงอาณาบริเวณติดต่อกันของบริเวณสงบและบริเวณกัมมันต์ จะเห็นการเปลี่ยนแปลงทีละเล็กละน้อย จากโครงสร้างที่เป็น ดอก(rosette) หรือ พุ่ม (bush) ตามอักษร R ในบริเวณสงบ ไปเป็น เส้นไฟบริล ตามอักษร F ในบริเวณกัมมันต์ ถ่ายในแสง $H_{\alpha} - 0.5$ Å ที่บริเวณใกล้ขอบดวง เมื่อวันที่ 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2517 เวลากรุงเทพฯ 09:55:33 น.

ทิศเหนืออยู่ทางขวา ทิศตะวันตกอยู่ด้านบน

ในแนวระดับซึ่งทำให้เรามองเห็นเป็นเส้นเล็กๆเป็นฝอยละเอียด ที่เรียกกันว่า ไฟบริล นั่นเอง (โฟกัล,1971)

ถ้าสังเกตการวางตัวของแนวเส้นไฟบริลในอาณาบริเวณกัมมันต์จะเห็นว่า มันเอนไปหรือทอดตัวไปในทิศทางต่างๆกันเกือบทุกทิศทางจากจุด(sunspot)หนึ่งหรือจากก้อนพลาจหนึ่งไปยังจุด หรือ ก้อนพลาจอีกอันหนึ่งที่อยู่ใกล้เคียง คล้ายกับว่ามันทอดตัวไปตามแนวเส้นแรงแม่เหล็กของสนามจากขั้วแม่เหล็กหนึ่งไปยังขั้วแม่เหล็กชนิดตรงกันข้าม และพบว่าแนวเส้นไฟบริลที่ทอดไปจากก้อนพลาจหนึ่งเบนหนีออกไปจากก้อนพลาจบางก้อนที่อยู่ใกล้เคียง แสดงความหมายว่าพลาจสองก้อนนี้จะต้องมีชนิดของขั้วแม่เหล็กเป็นอย่างเดียวกัน แต่เนื่องจากเส้นไฟบริลนี้สั้น ดังนั้นเวลามันทอดตัวจากก้อนพลาจหนึ่งไปใกล้บริเวณก้อนพลาจที่มีขั้วแม่เหล็กชนิดเดียวกันเราจะเห็นเส้นไฟบริลเลือนหายไปทันที และไฟบริลที่ทอดตัวจากก้อนพลาจหนึ่งไปยังทิศทางที่มีก้อนพลาจที่มีขั้วแม่เหล็กชนิดตรงข้ามก็มีลักษณะที่แสดงว่า ความยาวของมันไม่ได้สิ้นสุดลงที่ก้อนพลาจที่สอง นั่นคือ ไฟบริลแสดงรูปลักษณ์(ในสภาพดูดกลืนแสง)ที่มีปลายข้างหนึ่งเชื่อมโยงกับก้อนพลาจ ส่วนอีกปลายหนึ่งเป็นปลายเปิด ซึ่งเป็นรูปลักษณ์แบบเดียวกับสปิกุล แต่สปิกุลวางตัวอยู่ในแนวดิ่ง ส่วนไฟบริล วางตัวอยู่ในแนวราบ

3.2.5 เทร้ด(Thread)

เทร้ด เป็นรูปลักษณ์ที่มองเห็นปรากฏอยู่ในอาณาบริเวณกัมมันต์ มีลักษณะคล้ายคลึงกับไฟบริล แต่เส้นหนากว่า ยาวกว่า และปลายทั้งสองของเทร้ดสิ้นสุดลงที่เม็ดพลาจที่มีขั้วแม่เหล็กต่างชนิดกัน(ดูหมายเลข 3 ในรูปที่ 3.1)

เทร้ดเป็นรูปลักษณ์ที่เห็นได้ชัดในแสงไฮโดรเจนอัลฟ่า อยู่ในสภาพดูดกลืนแสง นักฟิสิกส์วิจัยดวงอาทิตย์บางท่านรวมเทร้ดกับไฟบริลเป็นปรากฏการณ์อย่างเดียวกัน คาดกันว่าธรรมชาติทางฟิสิกส์ของเทร้ดมีลักษณะใกล้เคียงกับของไฟบริล และ สปิกุล ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว แม้ว่าจะยังไม่มีการพิสูจน์ให้เห็นจริงว่า เทร้ด และ ไฟบริล วางตัวไปตามแนวเส้นแรงของสนามแม่เหล็กจริงหรือไม่ (ฟราเซียร์,1972) แต่ในขณะนี้ นัก

ฟิสิกส์วิจัยดวงอาทิตย์ก็ยังคงอาศัยสมมุติฐานที่ว่า เหร์ด กับ ไฟบริล วางตัวไปตามแนวเส้นแรงของสนามแม่เหล็ก

3.2.6 ฟิลาเมนต์(filament) และ โพรมิเนนซ์(prominence)

ฟิลาเมนต์เป็นรูปลักษณ์ที่มองเห็นมืดบนตัวดวงอาทิตย์ในแสงไฮโดรเจนอัลฟ่า มีลักษณะเป็นเส้นยาวกว่า ขนาดใหญ่กว่า เหร์ด หลายเท่า (ดูหมายเลข 2 ในรูปที่ 3.1) ส่วนโพรมิเนนซ์นั้นคือปรากฏการณ์ชนิดเดียวกันกับฟิลาเมนต์นั่นเอง แต่เป็นลักษณะที่เห็นเมื่ออยู่ที่ขอบดวง นั่นคือ ปรากฏการณ์อย่างเดียวกันบนดวงอาทิตย์ อาจปรากฏให้เห็นลักษณะรูปร่างที่แตกต่างกัน ทำให้ผู้สังเกตเกิดความยุ่งยากที่จะตัดสินว่าอะไรเป็นอะไร นักฟิสิกส์วิจัยดวงอาทิตย์ต้องใช้เวลาหลายปีกว่าจะรู้ว่า โพรมิเนนซ์ที่สังเกตเห็นที่ขอบดวงคือปรากฏการณ์อย่างเดียวกันกับฟิลาเมนต์ที่สังเกตเห็นบนตัวดวง (คีเปนฮอยเออร์, 1953)

เรื่องราวเกี่ยวกับฟิลาเมนต์ และ โพรมิเนนซ์ มีอยู่ในบทที่ 5

3.3 พัฒนาการของอาณาบริเวณกัมมันต์ ตามที่กล่าวไว้โดย คีเปนฮอยเออร์ และ เดอ จาเกอร์

พัฒนาการของอาณาบริเวณกัมมันต์ดังที่จะกล่าวต่อไปนี้ รวบรวมไว้โดย เดอ จาเกอร์ โดยถือเอานิพนธ์ของ คีเปนฮอยเออร์(1952, 1953) และสังเกตการณ์ของ เดอ จาเกอร์ เองเป็นหลัก เป็นตัวอย่างของพัฒนาการของอาณาบริเวณกัมมันต์ที่ถือว่าเป็นไปอย่างสมบูรณ์ที่สุด แม้ว่า การเรียงตามลำดับของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงๆมักจะแตกต่างออกไปจากนี้อย่างมากมาย เพราะอาณาบริเวณกัมมันต์แต่ละแห่งมักจะมีความแตกต่างกันโดยมีลักษณะและการพัฒนาของตัวมันเอง

พัฒนาการแบ่งได้เป็น 4 ระยะ ดังนี้

ระยะแรก ระยะก่อนเกิดจุด จากสภาพปรกติในบริเวณสงบของดวงอาทิตย์ มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโครโมสเฟียร์เกิดขึ้นเห็นได้ในแสงไฮโดรเจนอัลฟ่า

คือ ลวดลายที่เห็นด้านข้างกลมนั้นยาวออกเรียงตัวในลักษณะผงตะไบเหล็กที่เรียงรายอยู่ในอาณาบริเวณที่มีอำนาจสนามแม่เหล็กสองขั้ว ต่อมามีพลาจสว่างปรากฏขึ้นโดยอยู่รวมในบริเวณสนามแม่เหล็กสองขั้วนั้น พร้อมๆกันก็มีรอยด่างของแฟคิวเลปรากฏรวมกันในบริเวณนั้นด้วย ซึ่งจะสังเกตเห็นแฟคิวเลได้ในแสงขาวเมื่อบริเวณนั้นอยู่ใกล้ขอบดวง เหนือบริเวณนี้ขึ้นไปก็มีการก่อตัวของอาณาบริเวณกัมมันต์ขึ้นในโคโรน่า ระยะนี้กินเวลาประมาณหนึ่งวัน หรือ หลายวัน

<u>ระยะที่สอง</u> ระยะที่เกิดจุด เป็นระยะที่สำคัญที่สุด บริเวณของ พลาจ แฟคิวเล และ สนามแม่เหล็ก เพิ่มขนาดขึ้น จุด(sunspot)เริ่มปรากฏขึ้นและพัฒนาไปเรื่อยๆ มีปรากฏการณ์ต่างๆเกิดขึ้น เป็นต้นว่า โพรมิเนนซ์ที่เกิดขึ้นในบริเวณใกล้เคียงกับจุด แฟลร์ เสิร์จ(surge) เกิดการลบแน่นเป็นระยะขึ้นในโคโรน่า ฯลฯ ในระยะนี้จะมีรังสีต่างๆออกมาจากอาณาบริเวณกัมมันต์แรงกว่าปรกติ เช่น รังสีเอกซ์ รังสีคอสมิก มีคลื่นวิทยุพุ่งออกมาแรงมาก ระยะนี้กินเวลาประมาณหนึ่งสัปดาห์ถึงหลายสัปดาห์

<u>ระยะที่สาม</u> ระยะมีขั้วแม่เหล็กสองขั้วเหลืออยู่หลังจุด ระยะนี้ จุด แฟลร์ และปรากฏการณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องได้หายไปแล้ว ยังเหลือแต่บริเวณสว่างของพลาจและแฟคิวเลที่แสดงอำนาจแม่เหล็กสองขั้วโดยมีพื้นที่เพิ่มขึ้นแต่ความสว่างค่อยๆลดลง แล้วค่อยๆจางหายไปทีละเล็กละน้อย มีไดวเอสเซ้นต์ฟิลาเมนต์(quiescent filament) เกิดขึ้น ระยะนี้กินเวลาประมาณหนึ่งเดือนไปจนถึงหลายๆเดือน

<u>ระยะสุดท้าย</u> ระยะนี้ ลักษณะต่างๆที่เป็นเครื่องหมายของอาณาบริเวณกัมมันต์หายไปเกือบหมด สิ่งที่ยังคงปรากฏอยู่และเห็นได้ชัด คือ ไดวเอสเซ้นต์ฟิลาเมนต์ซึ่งมีความยาวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ส่วนสนามแม่เหล็กนั้นลดความเข้มลงมากจนปรากฏเป็นอาณาบริเวณที่มีขั้วแม่เหล็กเพียงขั้วเดียว การปรากฏสนามแม่เหล็กขั้วเดียวนั้นนับเป็นกรณีที่หาได้ยากมากในพัฒนาการของอาณาบริเวณกัมมันต์ ในระยะนี้ไม่มีปรากฏการณ์ที่ให้แสงสว่างเพิ่มขึ้นในอาณาบริเวณกัมมันต์ ระยะนี้กินเวลาหลายเดือนกว่าอาณาบริเวณกัมมันต์นั้นจะสลายกลมกลืนไปกับบริเวณปรกติบนตัวดวง

3.4 สรุป

บทที่ 3 นี้ เป็นสังเกตการณ์คร่าวๆเกี่ยวกับอาณาบริเวณกัมมันต์ เพียงเพื่อให้ทราบถึงรูปร่าง ลักษณะ และ ส่วนประกอบ เพื่อจะได้เชื่อมโยงกับ บทที่ 4,5 ซึ่งเป็นสังเกตการณ์เกี่ยวกับพัฒนาการของอาณาบริเวณกัมมันต์