บทที่ ๔

ปรากฏการณ์อื่นบนดวงอาทิตย์ที่มีความสัมพันธ์กับการลุกจ้าบนดวงอาทิตย์

ในระยะเวลาหลายศตวรรษที่ผ่านมา เรามีความรู้กว้างขวางและค่อนข้างจะลึกซึ้งเกี่ยวกับดวงอาทิตย์ อันเป็นผลสืบเนื่องมาจากความรู้ที่พัฒนามาจากสาขาพลาสมาฟิสิกส์ และแมกนีโตไฮโดรไดนามิกส์ ดวงอาทิตย์เป็นก้อนพลาสมาร้อนมหึมา ที่ผิวของดวงอาทิตย์จะมีลักษณะของสนามแม่เหล็กแสดงออกมาปรากฏให้เห็นได้ชัด ในบางอาณาบริเวณ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาณาบริเวณกัมมันต์บนดวงอาทิตย์ นักดาราศาสตร์ส่วนใหญ่เชื่อว่า สนามแม่เหล็กเป็นมูลเหตุอันสำคัญ ในการที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่ดวงอาทิตย์แสดงออกมาให้ปรากฏ (Howard, 1972) ดังเช่น สนามแม่เหล็กที่แรงในบริเวณจุดบนดวงอาทิตย์ เป็นต้น ประมาณ ๒๐ ปี กว่ามานี้เอง ที่สนามแม่เหล็กบนพื้นผิว นอกเหนือจากบริเวณจุดบนดวงอาทิตย์ได้ทำการสำรวจและวัดค่าที่พอจะเชื่อถือได้ ตามทฤษฎีใหม่ ๆ เกี่ยวกับปรากฏการณ์บนดวงอาทิตย์ นักดาราศาสตร์เชื่อว่า อาณาบริเวณกัมมันต์บนดวงอาทิตย์นั้น มีสาเหตุมาจากสนามแม่เหล็กจากภายใต้พื้นผิวโฟโตสเฟียร์โผล่ขึ้นมารบกวน มีอิทธิพลเหนือสสารในบรรยากาศ จุดบนดวงอาทิตย์ พลาจ ฟิลาเมนต์ การลุกจ้า และ ปรากฏการณ์อื่น ๆ ที่ปรากฏออกมาให้เห็นในอาณาบริเวณกัมมันต์ ดูเหมือนว่า เป็นปรากฏการณ์ทุติยภูมิ ซึ่งได้แสดงคุณสมบัติทางสนามแม่เหล็กบางอย่างออกมา สาเหตุอันแรกหรือปฐมภูมิอันเป็นมูลฐาน ก็คือ สนามแม่เหล็กภายใต้พื้นผิวของดวงอาทิตย์

เพื่อเป็นแนวทางที่จะเข้าใจถึงธรรมชาติและแหล่งกำเนิดของการลุกจ้า จะขอกล่าวถึงปรากฏการณ์บางอย่างที่มีความสัมพันธ์กับการลุกจ้าเพื่อเป็นพื้นฐานว่า สนามแม่เหล็กนั้นมีส่วนสำคัญและสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับการลุกจ้า

๔.๑ จุดบนดวงอาทิตย์

นักดาราศาสตร์ชาวจีนได้บันทึกเกี่ยวกับจุดบนดวงอาทิตย์ไว้เมื่อหลายศตวรรษมาแล้ว (Smith & Smith, 1963) กาลิเลโอเป็นคนแรกที่ได้ศึกษาวิจัยคุณสมบัติทางกายภาพของ

จุดบนดวงอาทิตย์ด้วยกล้องโทรทัศน์ที่เขาทำขึ้นมาเอง จากนั้นมา ความจริงเกี่ยวกับปรากฏการณ์อันนี้ก็ได้เผยแพร่ออกมามากมาย แม้ว่าขณะนี้เรายังไม่สามารถจะรู้ต้นตอที่แท้จริงว่ามันเกิดมาอย่างไร ในที่นี้จะขอกล่าวถึงพอเป็นสังเขปในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการลุกจ้า เพื่อเป็นแนวสังเกต

๔.๑.๑ ความหมายของจุดบนดวงอาทิตย์

จุดบนดวงอาทิตย์ เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบนตัวดวงชั้นโฟโตสเฟียร์ จากภาพถ่ายที่ดีในแสงสีขาว จุดบนดวงอาทิตย์ขนาดใหญ่จะปรากฏให้เห็นเป็น ๒ บริเวณ คือ บริเวณเงามืด (umbra) และบริเวณเงามัว (penumbra) โดยที่บริเวณเงามืดอยู่กลาง ล้อมรอบด้วยบริเวณเงามัว ขอบเขตของบริเวณเงามืด เงามัว และ ตัวดวง แบ่งอาณาเขตออกจากกันได้อย่างเด่นชัด ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณเหล่านั้นมีความสว่างแตกต่างกัน ความเข้มของแสงในบริเวณเงามืดมีค่าประมาณ ๕-๑๐% ของความสว่างบนตัวดวง และความเข้มของแสงในบริเวณเงามัวมีค่าประมาณ ๗๕% ของความสว่างบนตัวดวง แต่ถ้าเป็นจุดขนาดเล็กเราจะเห็นเฉพาะเงามืดเท่านั้น ภาพถ่ายที่ดีของจุดบนดวงอาทิตย์ ทำให้เราเห็นรายละเอียดได้อย่างชัดเจน พบว่ารูปร่างของจุดบนดวงอาทิตย์จะไม่กลม แต่จะมีรูปร่างไม่แน่นอน และมีโครงสร้างรายละเอียดภายในที่น่าสนใจ

๔.๑.๒ พัฒนาการของจุดและกลุ่มจุดบนดวงอาทิตย์

จุดบนดวงอาทิตย์พัฒนามาจากรูกลม ๆ เล็ก ๆ (pore) ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ ๑๕๐๐-๓๐๐๐ กม รูเหล่านี้มีรูปร่างและขนาดไม่แตกต่างจากบริเวณมืดระหว่างดอกดวง (granule) บนโฟโตสเฟียร์ แต่เราสามารถแยกพิจารณาว่าอันไหนเป็นรูเล็ก ๆ ที่กล่าวถึงได้ โดยสังเกตอายุของมัน เนื่องจากรูเล็ก ๆ มีอายุยืนกว่าบริเวณมืดระหว่างดอกดวง และถ้ามีสภาพทางการสังเกตการณ์ที่ดี จะเห็นว่ารูเล็ก ๆ นั้นล้อมรอบด้วยดอกดวง รูเหล่านี้โดยปกติจะเกิดเป็นกลุ่ม และหายไปในชั่วระยะเวลา ๒-๓ ชั่วโมง จนถึง ๑ วัน แต่ในกรณีที่กลุ่มของรูเหล่านั้นรวมกันมีพื้นที่ใหญ่ขึ้น ก็จะพัฒนาเป็นจุดหรือกลุ่มจุด อายุของจุดหรือกลุ่มจุดขึ้นกับพื้นที่ของมัน ถ้ากลุ่มจุดมีพื้นที่น้อย ก็จะมีอายุสั้นประมาณ ๒-๓ วัน แต่ถ้ามีพื้นที่มากจะ

มีอายุยืน กลุ่มจุดที่ใหญ่อาจจะมีอายุยืนถึง ๑๐๐-๑๕๐ วัน การเกิดจุดบนดวงอาทิตย์นี้จะสังเกตได้ดีในบริเวณกลางดวง และเมื่อมีสภาพทางการสังเกตการณ์ที่ดีเท่านั้น เมื่อจุดพัฒนาไปจนมีพื้นที่สูงสุดแล้วมันก็จะลดพื้นที่ลง แต่อัตราการลดพื้นที่มีค่าน้อยกว่าอัตราการเพิ่มพื้นที่ระยะแรกมาก ในช่วงที่จุดกำลังพัฒนามีพื้นที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้แหละ จะมีโอกาสที่จะเกิดการลุกจ้าได้ โดยเฉพาะกลุ่มจุดที่ใหญ่

บริเวณที่เกิดจุดบนดวงอาทิตย์นั้น เป็นบริเวณที่จำกัดเฉพาะ มีน้อยมากที่จุดบนดวงอาทิตย์จะเกิดในแถบเส้นรุ้งสูงกว่า $\pm 45^\circ$ และจุดบนดวงอาทิตย์ก็จะไม่ค่อยเกิดบนแถบเส้นศูนย์สูตรเลย บริเวณที่เกิดจุดบนดวงอาทิตย์เป็นโซนที่แคบในแต่ละซีกของดวงอาทิตย์ คือ เริ่มจาก $\pm 35^\circ$ ถึง $\pm 15^\circ$ เมื่อมีจำนวนจุดบนดวงอาทิตย์มากที่สุด และลดถึง $\pm 8^\circ$ เมื่อมีจำนวนจุดบนดวงอาทิตย์น้อยที่สุด ณ ขณะใด ๆ โซนของจุดบนดวงอาทิตย์อาจมีค่าความกว้างของโซนระหว่าง 15° - 20° ของเส้นรุ้งในแต่ละซีกของเส้นศูนย์สูตร

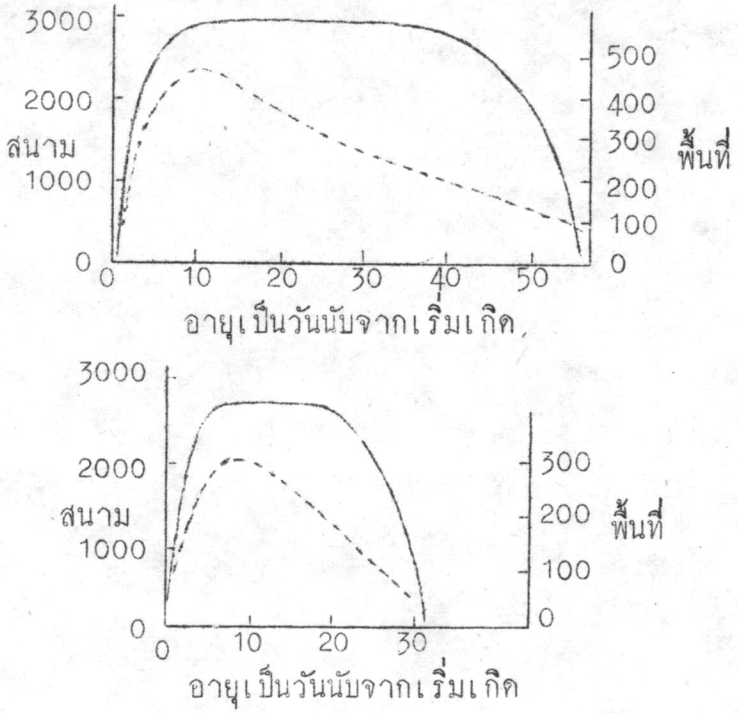
การเกิดจุดบนดวงอาทิตย์มีจำนวนมากน้อยเป็นวัฏจักร จำนวนจุดในแต่ละวัฏจักรมีความอิสระต่อกัน คาบของวัฏจักรเฉลี่ยมีค่า ๑๑.๑ ปี วัฏจักรใหม่จะเริ่มจากเมื่อมีจำนวนจุดบนดวงอาทิตย์เกิดขึ้นน้อยที่สุด โดยแท้จริงแล้ววัฏจักรใหม่และวัฏจักรเก่าจะซ้อนกันบ้าง จุดบนดวงอาทิตย์ของวัฏจักรก่อนจะมีจำนวนลดลง และเกิดแถบเส้นรุ้งต่ำ ๆ ประมาณ 8° จุดบนดวงอาทิตย์ของวัฏจักรใหม่จะมีจำนวนเพิ่มขึ้น และเกิดแถบเส้นรุ้งประมาณ 35° วัฏจักรเก่าและวัฏจักรใหม่จะอยู่รวมกันประมาณ ๒-๓ ปี ดังนั้นคาบของวัฏจักรจริง ๆ ประมาณ ๑๓ ปี

๔.๑.๓ สนามแม่เหล็กของจุดบนดวงอาทิตย์

ลักษณะที่สำคัญของจุดบนดวงอาทิตย์ ก็คือ สนามแม่เหล็กที่แรง สนามแม่เหล็กที่แรงของจุดบนดวงอาทิตย์เป็นสมบัติเฉพาะทางการสังเกตที่สำคัญ สนามแม่เหล็กนี้สามารถสังเกตและวัดค่าได้โดยอาศัยผลซีแมน**ของเส้นสเปกตรัม** กล่าวคือ ผลซีแมนในสนามแม่เหล็กตามยาวจะทำให้เส้นสเปกตรัมแยกออกเป็นเส้นสเปกตรัมองค์ประกอบ ๒ เส้น เนื่องจากการโปลาไรซ์ควงในทิศตรงข้าม (circular polarized in opposite direction) ปริมาณการขจัดจากเส้นเดิมเป็น $\Delta\lambda$ และปริมาณการขจัดนี้ขึ้นกับความเข้มของสนามแม่เหล็ก เป็นไปตามสูตรความสัมพันธ์

$$\Delta\lambda = C H \lambda^2$$

$\Delta\lambda$ เป็นปริมาณการขจัด C เป็นค่าคงที่ = 4.7×10^{-5}, H เป็นเกาส์, λ เป็น ซม บริเวณที่เป็นจุดบนดวงอาทิตย์จะมีค่าสนามแม่เหล็กมากกว่า ๑๑๐๐ เกาส์ จึงจะเกิดเป็นจุดได้ ทั้งนี้เพื่อความแรงของสนามพอเพียงที่จะกั้นการพา (Stenflo, 1968) จุดบนดวงอาทิตย์ขนาดใหญ่อาจจะมีค่าความเข้มสนามถึง ๔๐๐๐ เกาส์ ที่กึ่งกลางของจุด และลดลงน้อยกว่า ๕๐ เกาส์ ณ บริเวณขอบนอกสุดของเงามัว เมื่อจุดบนดวงอาทิตย์เริ่มเกิด สนามแม่เหล็กจะเพิ่มค่าขึ้นอย่างรวดเร็ว และจะเพิ่มขึ้นถึงค่าสูงสุดของสนามแม่เหล็กพร้อม ๆ กับที่พื้นที่ของจุดเพิ่มขึ้นสูงสุด การเพิ่มค่าสนามแม่เหล็กและพื้นที่ช่วงนี้อาจจะเป็นเวลาประมาณ ๒-๓ วัน พื้นที่เมื่อเพิ่มถึงค่าสูงสุดแล้วก็จะค่อย ๆ ลดลงอย่างช้า ๆ ในระหว่างที่พื้นที่ของจุดลดลง สนามแม่เหล็กยังคงมีค่าคงที่อยู่ จนกระทั่งถึงปลายชีวิตของจุดบนดวงอาทิตย์ สนามแม่เหล็กจะลดลงอย่างรวดเร็วด้วย อัตราเกือบจะเท่ากับระยะที่เพิ่มค่าสนามแม่เหล็กในระยะแรก ดังแสดงในรูป ๔.๑



รูป ๔.๑ แสดงพัฒนาการของสนามแม่เหล็กเป็นเกาส์ (เส้นทึบ) พื้นที่เป็น $๑๐^{-๖}$ ของตัวดวง (เส้นประ) และอายุเป็นวันนับจากเริ่มเกิด ของจุดบนดวงอาทิตย์

ก. กราฟของจุดที่มีสนามแม่เหล็ก ๕๕ วัน พื้นที่ ๖๐ วัน

ข. กราฟของจุดที่มีสนามแม่เหล็กและพื้นที่ ๓๐ วัน

จากการศึกษาวิจัยของนักดาราศาสตร์หลายท่าน ได้ให้ข้อเสนอแนะว่า การลุกจ้าบนดวงอาทิตย์จะเกิดขึ้นในระยะที่สนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว คือ ระยะที่ค่าสนามแม่เหล็กเกือบจะถึงค่าสูงสุด

๔.๑.๔ <u>สภาพขั้วของจุดบนดวงอาทิตย์</u>

จุดบนดวงอาทิตย์ไม่สามารถจะพิจารณาได้ว่าเกิดขึ้นอย่างโดดเดี่ยว แต่ต้องศึกษาว่ามันเป็นสมาชิกของกลุ่ม กลุ่มจุดบนดวงอาทิตย์สามารถจำแนกออกได้ตามสมบัติสภาพขั้วของสนามแม่เหล็ก การจำแนกกลุ่มจุดบนดวงอาทิตย์โดยถือสมบัติสภาพขั้วแม่เหล็กตามระบบของหอสังเกตการณ์ภูเขาวิลสัน (Mount Wilson Observatory) ซึ่งแบ่งกลุ่มจุดบนดวงอาทิตย์ออกเป็น ๓ ประเภท คือ

ก. กลุ่มจุดแบบสภาพขั้วเดียว หรือ แบบอัลฟา (unipolar group or α -type) คือ กลุ่มจุดที่มีสมาชิกของกลุ่มมีสภาพขั้วเหมือนกันหมด

ข. กลุ่มจุดแบบสภาพขั้วสอง หรือ แบบเบตา (bipolar group or β -type) คือ กลุ่มจุดบนดวงอาทิตย์ที่มีสมาชิกของกลุ่ม อย่างน้อยที่สุดมี ๒ จุด มีสภาพขั้วตรงกันข้าม หรือกลุ่มจุดที่มีจุดจำนวนมาก โดยที่สมาชิกทางตะวันตกของกลุ่ม(พวกนำ) มีสภาพขั้วตรงกันข้ามกับสภาพขั้วของสมาชิกทางตะวันออกของกลุ่ม(พวกตาม) กลุ่มจุดแบบนี้จะมีอยู่โดยทั่วไป

ค. กลุ่มจุดแบบสภาพขั้วซับซ้อน หรือหลายขั้ว หรือแบบแกมมา (Complex or multipolar group or γ -type) คือ กลุ่มจุดที่มีสภาพขั้วต่างกันอยู่รวมกันอย่างกระจัดกระจายไม่เป็นระเบียบ และไม่สามารถจะจัดเป็นแบบเบตาได้ แบบแกมมานี้มีเป็นจำนวนน้อย

เป็นที่น่าสังเกตว่า กลุ่มจุดแบบขั้วเดียวนั้นแท้จริงแล้ว ก็คือ กลุ่มจุดแบบสภาพขั้วสองโดยที่จุดที่เกิดก่อน(หรือหลัง) ได้สลายตัวไปก่อน และยังคงแสดงร่องรอยให้พอสังเกตได้ เฮล ได้พบสนามแม่เหล็กขนาด ๒๐๐ เกาส์ ในบริเวณที่คาดว่าเป็นตำแหน่งของจุดที่หายไปและเขาเรียกจุดนี้ว่า "จุดที่มองไม่เห็น"(invisible spot) ในวงการสำรวจดวงอาทิตย์ได้พยายามที่จะหาจุดบนดวงอาทิตย์ขั้วเดียวจริง ๆ (single unipolar) แต่ก็ยังไม่ประสบความ

สำเร็จ เขาพบเพียงแต่จุดที่แสดงสภาพขั้วรวมเป็นแบบขั้วใดขั้วหนึ่ง

สิ่งที่น่าสังเกตไว้ ก็คือ การเกิดการลุกจ้าบนดวงอาทิตย์เท่าที่ได้ศึกษาวิจัยมา พบว่า การลุกจ้าบนดวงอาทิตย์ส่วนใหญ่มักเกิดขึ้นในบริเวณกลุ่มจุดแบบที่ ๓ คือ กลุ่มจุดแบบซับซ้อนหรือหลายขั้ว ซึ่งเป็นการยืนยันว่า การลุกจ้าบนดวงอาทิตย์ น่าจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับความซับซ้อนของสนามแม่เหล็กไม่ทางใดก็ทางหนึ่ง

๔.๑.๕ <u>กฎเกี่ยวกับสภาพขั้วของจุดบนดวงอาทิตย์</u>

จุดบนดวงอาทิตย์เกือบทั้งหมดเกิดเป็นคู่ และจัดเป็นกลุ่มจุดแบบมีสภาพขั้วสองประมาณ ๘๐% บางครั้งโครงสร้างแบบสภาพขั้วสองอาจจะเกิดขึ้นภายใน ๑ จุดก็มี นักดาราศาสตร์ได้พยายามศึกษาหาระเบียบการเกิดสภาพขั้วของจุดบนดวงอาทิตย์ และรวบรวมเป็นกฎของสภาพขั้วไว้ดังนี้

๑. กลุ่มจุดประกอบด้วยสมาชิก ๒ พวก ซึ่งมีสภาพขั้วตรงกันข้าม

๒. ในซีกเดียวกันของดวงอาทิตย์ด้านที่มองเห็น จุดนำทั้งหมดซึ่งอยู่ทางตะวันตกของกลุ่ม จะมีขั้วเหมือนกัน จุดทั้งหมดในซีกเหนือจะมีสภาพขั้วตรงกันข้ามกับจุดในซีกใต้ที่สมมาตรกัน

๓. การกระจายสภาพขั้วของสมาชิก ๒ พวกในกลุ่มจุด จะเปลี่ยนเครื่องหมายไปในแต่ละวัฏจักรที่ตามมา

ตาราง ๒ แสดงวัฏจักร และ สภาพขั้ว ของจุดบนดวงอาทิตย์

วัฏจักรที่	ค.ศ.	สูงสุด	ต่ำสุด	ซีกเหนือ		ซีกใต้	
				นำ	ตาม	นำ	ตาม
1	1755-1766	1761	1766				
.	.	.	.				
.	.	.	.				
.	.	.	.				
17	1934-1944	1938	1944	N	S	S	N
18	1944-1954	1948	1954	S	N	N	S
19	1954-1964	1958	1964	N	S	S	N
20	1964-1974	1969	1974	S	N	N	S
21	1974-			N	S	S	N

นำ หมายถึง จุดบนดวงอาทิตย์ที่เกิดก่อน คือ จุดนำ

ตาม หมายถึง จุดบนดวงอาทิตย์ที่เกิดหลัง คือ จุดตาม

ตารางจากหนังสือ The Sun,p.332. Ed. by G.P. Kuiper, 1953. Solar Terrestrial Relation, p.62. Ed. by J. Ortner and M. Maseland, 1965. Solar Physics(1975) vol.42,p.121-130

๔.๒ พลาจ

๔.๒.๑ ความหมายของพลาจ

พลาจ เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในบรรยากาศระดับโครโมสเฟียร์ ปรากฏเป็นบริเวณสว่างเป็นหย่อม ๆ ในอาณาบริเวณกัมมันต์บนดวงอาทิตย์ พลาจนี้ต้องศึกษาในแสงสีเดียว โดยใช้เครื่องสเปกโตรเฮลิโอกราฟ หรือ เครื่องกรองแสงพิเศษ ศึกษาในแสงไฮโดรเจน-อัลฟา หรือ แสงจากไอออนแคลเซียม(CaII เส้น H หรือ K) พลาจอันเดียวกันเมื่อมองในแสงไอออนแคลเซียมเส้น K จะปรากฏว่ามีพื้นที่มากกว่าพลาจที่ปรากฏในแสงไฮโดรเจน-อัลฟา ทั้งนี้เนื่องจากว่าแสงไอออนแคลเซียมเส้น K เกิดในระดับที่ต่ำกว่าแสงไฮโดรเจนอัลฟา ในบริเวณกัมมันต์หนึ่ง ๆ พลาจและแฟคิวเล จะเป็นปรากฏการณ์ในตำแหน่งที่ตรงกัน ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้ เป็นปรากฏการณ์อันเดียวกัน เพียงแต่ว่าเกิดในระดับบรรยากาศบนดวงอาทิตย์ที่แตกต่างกันในทางความสูงเท่านั้น คือ แฟคิวเล เป็นปรากฏการณ์ในโฟโตสเฟียร์ และพลาจเป็นปรากฏการณ์ในโครโมสเฟียร์ จากการสังเกตพบว่า พลาจมีอายุยืนยาวกว่าแฟคิวเล บางครั้งนับเป็นสัปดาห์

๔.๒.๒ พัฒนาการของพลาจ

เมื่อมีสนามแม่เหล็กพัฒนาขึ้นในอาณาบริเวณกัมมันต์บนดวงอาทิตย์ สิ่งที่ปรากฏในอันดับต่อมา ก็คือ พลาจ เกิดขึ้นทันทีทันใดเป็นบริเวณสว่างเล็ก ๆ รูปร่างคอนข้างกลม หลังจากเกิดพลาจหลายชั่วโมงถึงวัน อาจจะเกิดจุดบนดวงอาทิตย์ขึ้นภายในบริเวณพลาจนั้น ความสว่างของพลาจอาจจะเพิ่มขึ้นพร้อม ๆ กับการเพิ่มพื้นที่ของบริเวณพลาจออกไป และจะถึงค่าสูงสุดในเวลาหลายวันต่อมา (๓-๕ วัน) ในเวลาช่วงนี้จะมีปรากฏการณ์ในเวลาช่วงสั้น ๆ ต่าง ๆ เกิดขึ้น อาจจะถึงค่าสูงสุดพร้อม ๆ กัน และหลังจากนั้นก็จะเริ่มลดความกัมมันต์ลง ส่วนความสว่างของพลาจยังคงมีค่าคงที่นับเป็นสัปดาห์ จากนั้นพลาจก็จะขยายบริเวณกว้างออกไปตามเส้นรุ้ง ความสว่างเริ่มลดลง พลาจจะแตกตัวออกเป็นบริเวณสว่างเป็นหย่อม ๆ แล้วก่อนพลาจต่าง ๆ ก็จะค่อย ๆ ลดความสว่างลงไปทีละน้อย ๆ จนกระทั่งกลมกลืนไปกับความสว่างของพื้นผิวตัวดวง ซึ่งเป็นแบบเดียวของการจางหายไปของพลาจ

ในชั่วชีวิตของมัน พลาจอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงในทางความสว่าง พื้นที่ และรูปร่าง พลาจส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในแถบ $\pm 40^{\circ}$ แต่มีข้อยกเว้นในบางกรณีพลาจอาจจะเกิดในแถบเส้นรุ้งสูงกว่านี้ พลาจพวกนี้จะมีขนาดเล็ก รูปร่างไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง อยู่เป็นหย่อม ๆ และมีอายุสั้น ต่างจากพลาจที่อยู่ในแถบที่เกิดจุดบนดวงอาทิตย์ รูปร่างการจัดวางตัวของพลาจ มีแนวโน้มว่าจะมีการวางตัวตามแนวหนึ่ง คือ วางตัวตามยาวเกือบจะขนานกับเส้นศูนย์สูตร โดยที่ปลายทางตะวันตกมีแนวโน้มชี้เข้าหาเส้นศูนย์สูตร ซึ่งค่อนข้างจะมีความสมมาตรกันในซีกทั้งสองของดวงอาทิตย์เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นศูนย์สูตร

๔.๒.๓ ความสัมพันธ์ของพลาจกับจุดบนดวงอาทิตย์

จากการศึกษาพลาจและจุดบนดวงอาทิตย์ โดยทั่วๆไปพบว่า เมื่อมีพลาจเกิดขึ้นก็จะเกิดจุดบนดวงอาทิตย์ขึ้นในตำแหน่งเดียวกันกับบริเวณพลาจ เป็นเสมือนว่าจุดบนดวงอาทิตย์ฝังตัวอยู่ในบริเวณพลาจ ในกรณีของกลุ่มจุดก็เช่นเดียวกัน กลุ่มจุดทั้งกลุ่มจะฝังตัวอยู่ในบริเวณพลาจ ๑ อันเท่านั้น หรืออาจจะกล่าวได้ว่า ทุกๆจุดหรือกลุ่มจุดบนดวงอาทิตย์จะฝังตัวอยู่ในก้อนพลาจ แต่ก็มีพบบ้างที่พลาจไม่มีจุดบนดวงอาทิตย์ฝังตัวอยู่ภายใน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พลาจที่เกิดนอกโซนของจุดบนดวงอาทิตย์ และพลาจที่มีอายุมากแล้ว การเกิดจุดบนดวงอาทิตย์มีจุดนำและจุดตาม การเกิดพลาจก็เช่นเดียวกัน มีพลาจนำและพลาจตาม พลาจนำจะเป็นตำแหน่งเดียวกันกับจุดนำ และพลาจตามก็เป็นตำแหน่งเดียวกันกับจุดตาม การเกิดพลาจเป็นปริมาณมากน้อยก็มีความสัมพันธ์กับวัฏจักรของจุดบนดวงอาทิตย์ กล่าวคือ เมื่อมีจุดจำนวนสูงสุด พลาจก็จะมีเป็นจำนวนมาก และเมื่อมีจุดน้อยที่สุด ก็จะมีพลาจจำนวนน้อย ความสัมพันธ์ระหว่างพลาจกับจุดบนดวงอาทิตย์นี้ เราพอจะสรุปเป็นหลักเพื่อเป็นแนวทางในการสังเกตว่า ในบริเวณพลาจที่สว่างเป็นเครื่องชี้บอกว่า ในบริเวณนั้นจุดเพิ่งจะหายไป หรือ อาจจะมีจุดใหม่เกิดขึ้นในไม่ช้า

๔.๒.๔ ความสัมพันธ์ของพลาจกับสนามแม่เหล็กและการลุกจ้าบนดวงอาทิตย์

จากการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับพัฒนาการของอาณาบริเวณกัมมันต์บนดวงอาทิตย์ พบว่าเมื่อมีสนามแม่เหล็กพัฒนาขึ้นแล้ว อีกไม่ช้าไม่นานก็จะมีพลาจเกิดขึ้นในอาณาบริเวณนั้น ผลงานอันนี้เป็นผลงานจากการใช้เครื่องแมกนีโตกราฟและผลงานจากเครื่องกรองแสงพิเศษ

โดยเฉพาะเครื่องกรองแสงไบรีฟริงเจนท์ ได้พบความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กบนโฟโต-สเฟียร์ กับโครงสร้างของโครโมสเฟียร์ ในแสงไฮโดรเจนอัลฟา แต่อย่างไรก็ดี เครื่องมือ ๒ ชนิดนี้มีกำลังการแยกแยะแตกต่างกัน เครื่องกรองแสงไบรีฟริงเจนท์มีกำลังการแยกแยะดีกว่ามาก เนื่องจากความแตกต่างในความสามารถของเครื่องมือนี้เอง ผลการเปรียบเทียบภาพถ่ายหาความสัมพันธ์ก็เชื่อว่าเป็นแต่เพียงแนวทางขั้นพื้นฐานใหญ่ ๆ เท่านั้น เพราะผลจากแมกนีโตแกรมยังไม่มีความละเอียดมากพอที่จะนำมาเปรียบเทียบกับโครงสร้างในแสงไฮโดรเจนอัลฟา

นับเป็นเวลาหลายปีที่เหล่านักดาราศาสตร์ได้พยายามใช้ฟิลเตอร์แกรมในแสงไฮโดรเจนอัลฟา เพื่อศึกษาการจัดวางตัวของสนามแม่เหล็ก และได้ประสบความสำเร็จพอสมควร แต่ถึงกระนั้นก็ตาม ยังมีความเห็นขัดแย้งกันบ้างในระหว่างกลุ่มต่าง ๆ ของนักดาราศาสตร์

ความสัมพันธ์ของพลาจกับสนามแม่เหล็ก วีเดอร์ และ ซิริน (Veeder and Zirin, 1970) ได้ให้หลักเกณฑ์ไว้ข้อหนึ่งว่า ในอาณาบริเวณกัมมันต์ ความสว่างของพลาจขึ้นกับสภาพขั้วแม่เหล็ก กล่าวคือ พลาจในบริเวณสภาพขั้วแม่เหล็กนำ จะมีความสว่างน้อยกว่าพลาจในบริเวณสภาพขั้วแม่เหล็กตาม ซึ่งภายหลัง ซิริน (1971) ได้แก้ไขใหม่ว่า พลาจในบริเวณสภาพขั้วแม่เหล็กนำ จะสว่างกว่า หรือ สว่างเท่ากันกับพลาจในบริเวณสภาพขั้วแม่เหล็กตาม และจากผลการศึกษาเกี่ยวกับความสว่างของพลาจเป็นจำนวนมากของ ฟราเซียร์(Frazier,1972) ได้พบว่า พลาจในบริเวณสภาพขั้วแม่เหล็กนำ อาจมีความสว่างมากกว่าพลาจในบริเวณสภาพขั้วแม่เหล็กตาม ซึ่งเป็นการยืนยันผลงานของซิริน ซิริน (1972) ยังได้เสนอแนะว่า ความสว่างของพลาจขึ้นอยู่กับความแรงของสนามแม่เหล็ก ฟราเซียร์ (1972) ได้ศึกษาตรวจสอบ พบว่าอาจไม่เป็นความจริง ฟราเซียร์ได้เสนอแนะว่า หลักเกณฑ์ที่พอจะตั้งได้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ของพลาจกับสนามแม่เหล็ก ก็คือ ณ ที่ใดที่มีพลาจในแสงไฮโดรเจนอัลฟา กลุ่มของสนามแม่เหล็ก (a clump of magnetic field) จะมีอยู่ด้วยในตำแหน่งเดียวกัน นอกจากนั้น ซิริน ยังให้ความเห็นไว้ว่า จากฟิลเตอร์แกรมในแสงไฮโดรเจนอัลฟา บริเวณใดที่มืด แสดงว่าสนามแม่เหล็กในบริเวณนั้นเป็นสนามแม่เหล็กตามแนวราบ และวราเบค (D.Vrabec,1971) ได้อ้างถึงผลงานของ โฮเวอร์ด และ ฮาร์วี (Howard and Harvey) ว่า พลาจสว่างจะเกิดขึ้นในบริเวณของสนามแม่เหล็กที่แรงและมีความเข้มมาก

ในส่วนที่พลาจเกี่ยวข้องกับการลุกจ้าบนดวงอาทิตย์ ก็คือ จากการศึกษาพลาจนี้เอง พบว่า จะมีการลุกจ้าเกิดขึ้นในบริเวณพลาจ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พลาจที่มีกลุ่มจุดบนดวงอาทิตย์ที่ซับซ้อนฝังอยู่

๔.๓ ฟิลาเมนต์ และ โพรมิเนนซ์

๔.๓.๑ ความหมายของฟิลาเมนต์ และโพรมิเนนซ์

เมื่อศึกษาวิจัยดวงอาทิตย์ในแสงสีเดียว เช่น แสงไฮโดรเจนอัลฟา เราจะพบโครงสร้างที่เด่นชัดเพิ่มขึ้น คือ ที่ขอบดวงเราจะเห็นโครงสร้างที่สว่าง ปรากฏสูงพุ่งออกมาจากขอบดวง เรียกว่า โพรมิเนนซ์ (prominence) บริเวณบนตัวดวงก็จะพบโครงสร้างซึ่งปรากฏเป็นเส้นสีดำใหญ่ให้เห็นชัดเจน เรียก ฟิลาเมนต์ (filament) จากการศึกษาวิจัยพบว่าโครงสร้างทั้งสองชนิดนี้เป็นปรากฏการณ์อันเดียวกัน เพียงแต่แสดงผลในทางแสงสว่างแตกต่างกัน คือ เมื่อปรากฏที่ขอบดวง จะปรากฏเป็นโครงสร้างที่คอนข้างสว่าง แต่เมื่อปรากฏบนตัวดวงจะปรากฏเป็นโครงสร้างสีดำ ปรากฏการณ์ชนิดนี้สามารถจำแนกออกตามพฤติกรรมของมันได้ เป็น ๒ พวก คือ พวกที่สงบ (quiescent) พวกนี้เกือบจะไม่มีการเปลี่ยน - แปลงหรือมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ ต้องใช้เวลานานในการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของมัน อีกพวกหนึ่ง คือ พวกกัมมันต์ (active) พวกนี้มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างจะรวดเร็ว พอจะสังเกตได้ไม่ยากนัก และพวกมี่ ๒ นี้แหละที่เราควรจะให้ความสนใจเป็นพิเศษ เพราะอาจจะมีปรากฏการณ์อื่นเกิดตามมาโดยเฉพาะการลุกจ้าบนดวงอาทิตย์ บริเวณที่มันปรากฏส่วนใหญ่ก็คือ โซนของจุดบนดวงอาทิตย์ คือ จะมีมากในแถบ $\pm 10^{\circ}$ - $\pm 40^{\circ}$ ปริมาณมากน้อยก็มีความสัมพันธ์กับวัฏจักรของจุดบนดวงอาทิตย์

ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะพวกที่ปรากฏบริเวณบนตัวดวง คือ ฟิลาเมนต์ และขอให้คิดว่า โพรมิเนนซ์ก็เช่นเกียวกัน เพียงแต่เกิดที่ขอบดวงเท่านั้น

๔.๓.๒ ความสัมพันธ์ของฟิลาเมนต์กับสนามแม่เหล็ก

จากการศึกษาวิจัยของเหล่านักดาราศาสตร์ พบว่า ฟิลาเมนต์ส่วนใหญ่จะเกิดใน

อาณาบริเวณกัมมันต์ และมีความสัมพันธ์กับสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในอาณาบริเวณกัมมันต์นั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณจุดหรือกลุ่มจุดบนดวงอาทิตย์ จากผลงานของ เอวิกนอน และคณะ (Avignon et al, 1964) มาร์ทรีส์ และคณะ (Martres et al, 1966) และสมิธ (Sara F. Smith, 1967) ซึ่งสมิธ (Sara F. Smith, 1968) ได้รวบรวมพอที่จะสรุปได้ว่า ฟิลาเมนต์ ทั้งที่เกิดขึ้นภายในและภายนอกอาณาบริเวณกัมมันต์บนดวงอาทิตย์จะสังเกตพบเสมอ ณ ขอบเขตระหว่างสภาพขั้วที่แตกต่างกันในสนามแม่เหล็ก ข้อสรุปนี้ได้จากการเปรียบเทียบภาพถ่ายในแสงไฮโดรเจนอัลฟา กับแมกนีโตแกรม ฟิลาเมนต์เกือบจะวางตัวตามแนวขอบเขตระหว่างสภาพขั้วที่ต่างกันของสนามแม่เหล็ก แนวขอบเขตระหว่างสภาพขั้วของสนามแม่เหล็กนี้ คือ เส้นที่องค์ประกอบตามยาวของสนามแม่เหล็กมีค่าเป็น 0 (line of zero longitudinal component) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เส้นสะเทิน (neutral line) เส้นสะเทินนี้จะปรากฏให้สังเกตได้ในอาณาบริเวณกัมมันต์ที่อยู่ใกล้กับบริเวณกลางดวงอาทิตย์ เราจะสังเกตพบว่า ฟิลาเมนต์วางตัวอยู่ในแนวเส้นสะเทินนี้ จากการศึกษาวิจัยพัฒนาการของฟิลาเมนต์ สมิธ (Sara F. Smith, 1968) สรุปว่า ฟิลาเมนต์จะเกิดตามแนวการวางตัวของไฟบริล ซึ่งชี้ให้เห็นว่า แนวเส้นแรงของสนามแม่เหล็กในฟิลาเมนต์มีทิศตามฟิลาเมนต์ เนื่องจากสังเกตพบว่ามีการเคลื่อนที่ของสสารภายในตามฟิลาเมนต์

ไอโอช์พา (Ioshpa, 1968) ได้ศึกษาการกระจายขององค์ประกอบตามยาวของสนามแม่เหล็กในโฟโตสเฟียร์และโครโมสเฟียร์ ผลงานของเขาเป็นการยืนยันข้อสรุปของ แบบคอค และ แบบคอค (Babcock & Babcock, 1955) ที่ว่า ฟิลาเมนต์มักจะวางตัวใกล้กับขอบเขตระหว่างสภาพขั้วที่แตกต่างกันของสนามแม่เหล็ก คือ ขอบวางตัวตามเส้นสะเทิน และพบว่ามีกรณีเป็นจำนวนมากที่ปลายของฟิลาเมนต์จะวางตัวข้ามเส้นสะเทิน คือ วางตัวตามแนวเส้นแรงของสนามแม่เหล็ก เราจะพบว่าบริเวณกลาง ๆ ส่วนใหญ่ของฟิลาเมนต์ชอบที่จะวางตัวตามแนวเส้นสะเทิน (คือ ตั้งฉากกับแนวเส้นแรงแม่เหล็ก) แต่บริเวณอื่น ๆ เช่น บริเวณใกล้จุดบนดวงอาทิตย์ ฟิลาเมนต์จะวางตัวตามแนวเส้นแรงแม่เหล็ก จากการเปรียบเทียบขนาดขององค์ประกอบตามยาวของสนาม ($H_{\parallel}$) และองค์ประกอบตามขวางของสนาม ($H_{\perp}$) แสดงให้เห็นว่า ในบริเวณที่มีฟิลาเมนต์ สนามแม่เหล็กของโฟโตสเฟียร์เกือบจะวางตัวตามแนวราบ คือ เกือบจะขนานกับผิวของดวงอาทิตย์ ($H_{\parallel}$ ใกล้ฟิลาเมนต์มีค่าไม่เกิน

หลายสิบเกาส์ แต่ค่าเฉลี่ยของ $H_\perp$ มีค่าประมาณ ๒๐๐-๓๐๐ เกาส์ Ioshpa,1968) ดังนั้น ในอาณาบริเวณสนามแม่เหล็กที่แรง คือ บริเวณจุดบนดวงอาทิตย์ ฟิลาเมนต์จะวางตัวตั้งฉากกับแนวเส้นแรงแม่เหล็กซึ่งเกือบจะตามแนวราบในโฟโตสเฟียร์ และที่ปลายของฟิลาเมนต์ก็จะขนานกับเส้นแรงแม่เหล็ก ในฟิลาเมนต์แบบซุ้มโค้ง(arch-shaped) เราจะเห็นว่าโครงสร้างที่ปกคลุมโดยฟิลาเมนต์นั้นจะเหมือนกับรูปร่างของฟิลาเมนต์ แต่พวกที่อยู่ใกล้หรือใต้องค์ประกอบตามขวางของสนามแม่เหล็ก จะเปลี่ยนไปเป็นตั้งฉากกับฟิลาเมนต์

ไอโอช์พา(Ioshpa, 1968) ได้เสนอว่ามีระบบสนาม ๒ สนามใกล้กับฟิลาเมนต์ สนามภายนอกเป็นรูปซุ้มโค้งซึ่งฟิลาเมนต์วางอยู่ และสนามภายในซึ่งจะวางตัวตามฟิลาเมนต์ สนามโค้งภายนอกจะคำจุนฟิลาเมนต์ตอตานกับแรงความโน้มถ่วง(Kippenhahn-Schluter 1957) การมีสนามเช่นนี้ อธิบายว่า ฟิลาเมนต์จะชอบวางตัวตามแนวสะเทิน ผลงานของไอโอช์พา เป็นการยืนยันสนามอันนี้ ในขณะเดียวกันก็มีสนามตามแนวของฟิลาเมนต์ การจัดวางตัว รูปร่างของฟิลาเมนต์ เป็นผลสืบเนื่องมาจากสนามภายในฟิลาเมนต์นี้เอง

ทั้ง ไอโอช์พา และ ซารา เอฟ.สมิธ มีความเห็นเหมือนกันว่า ฟิลาเมนต์จะจัดวางตัวตามแนวที่องค์ประกอบตามยาวของสนามแม่เหล็กมีค่าเป็น ๐ และอาจจะมีสนามภายในฟิลาเมนต์ซึ่งวางตัวตามฟิลาเมนต์ ตามแนวความคิดนี้ แอนเซอร์ และ แทนเบอร์ก - แฮนเสน(Anzer and Tanberg-Hanssen,1971) ได้เสนอแบบจำลองทางทฤษฎีของฟิลาเมนต์ว่า ประกอบด้วยสนามแม่เหล็กพยุงเอาไว้ และมีองค์ประกอบส่วนหนึ่งของสนามซึ่งตั้งฉากกับฟิลาเมนต์จะพันเสมือนเกลียวรอบฟิลาเมนต์ ดังนั้น สนามภายในฟิลาเมนต์ก็จะมีลักษณะเหมือนท่อฟลักซ์ที่บิด(twisted flux tube)ฝังตัวอยู่ในอาณาบริเวณกัมมันต์

๔.๓.๓ <u>ความสัมพันธ์ของฟิลาเมนต์กับการลุกจ้าบนดวงอาทิตย์</u>

คีเปนฮอยเออร์(Kiepenheuer,1965) ได้สรุปรวบรวมความสัมพันธ์ของฟิลาเมนต์กับการลุกจ้าบนดวงอาทิตย์ที่ปรากฏรูปร่างให้สังเกตได้ ดังแสดงในรูป ๔.๒ การลุกจ้าจะพัฒนาตามแนวของฟิลาเมนต์ที่มีอยู่ และมีบ่อยที่มีการลุกจ้าปรากฏเป็น ๒ แถบขนานไปกับฟิลาเมนต์ ดังรูป ๔.๒ก หรือการลุกจ้าเกิดขึ้นในตำแหน่งเดียวกันกับฟิลาเมนต์ ดังรูป ๔.๒ข บางส่วนของฟิลาเมนต์ที่อยู่ในบริเวณการลุกจ้า มีบ่อยครั้งที่ตัวฟิลาเมนต์หรือบางส่วนของฟิลาเมนต์ไม่

ก. ข. ค. ง.

รูป ๔.๒ แสดงแบบอย่างของการวางตัวของฟิลาเมนต์และการลุกจ้า

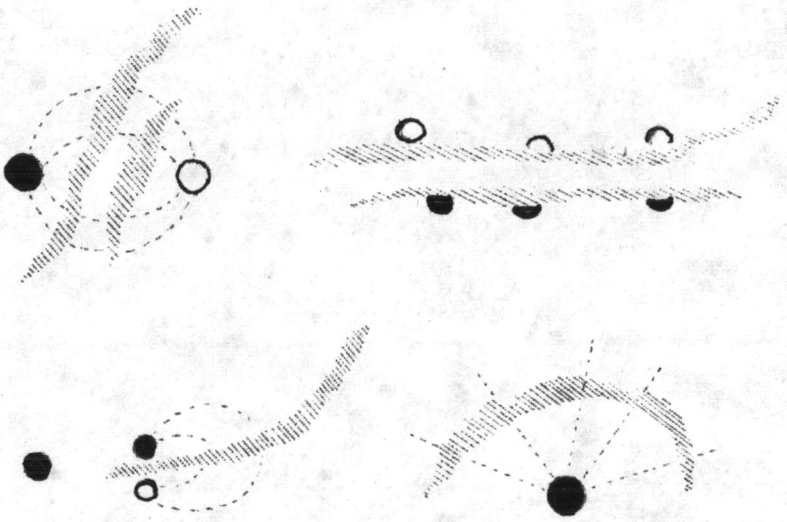
เปลี่ยนแปลงรูปร่าง หรือการลุกจ้าเกิดขึ้นในแนวของฟิลาเมนต์ที่ต่อยาวออกไป ดังรูป ๔.๒ค หรือการลุกจ้าเกิดขึ้นในบริเวณฟิลาเมนต์ที่หายไป ดังรูป ๔.๒ง แต่ก็มีอยู่บ่อยครั้ง ที่การลุกจ้าเกิดขึ้นโดยไม่มีฟิลาเมนต์อยู่ด้วย กรณีเช่นนี้ เมื่อศึกษาโครงสร้างของโครโมสเฟียร์ภายใต้การลุกจ้า จะพบว่า มีโครงสร้างเหมือนกันกับโครงสร้างของฟิลาเมนต์ที่ทอดยาวออกไป

เมื่อศึกษาโครงสร้างของสนามแม่เหล็ก พบว่าโครงสร้างของฟิลาเมนต์และการลุกจ้าบนดวงอาทิตย์มีโครงสร้างของสนามแม่เหล็กคล้ายคลึงกัน กล่าวคือทั้งฟิลาเมนต์และการลุกจ้าชอบเกิดในบริเวณที่สนามแม่เหล็กบนดวงอาทิตย์เป็นสนามตามแนวราบขนานกับผิว และจะเกิดในบริเวณเส้นสะเทินระหว่างสภาพขั้วแม่เหล็กที่ตรงกันข้าม โดยมีองค์ประกอบตามยาวของสนามแม่เหล็กมีค่าเป็น ๐ รูปร่างของฟิลาเมนต์และการลุกจ้าก็เกือบเหมือนกัน คือ เกือบจะตั้งฉากกับแนว**เส้นแรง**ของสนามแม่เหล็ก

จากผลงานการศึกษาวิจัยของ สวีท(Sweet, 1971) สรุปว่า การหายไปทันทีทันใดของฟิลาเมนต์ หรือการแสดงถึงความกัมมันต์ของโพรมิเนนซ์ที่ขอบ แสดงให้เห็นว่า ฟิลาเมนต์เป็นสาเหตุอันแรกในการปลดปล่อยพลังงานให้แก่อนุภาค และให้ความสว่างจ้าปรากฏในแสงไฮโดรเจนอัลฟาเป็นการลุกจ้าบนดวงอาทิตย์

ดังนั้น ในการติดตามฟิลาเมนต์ หรือ โพรมิเนนซ์ ในอาณาบริเวณกัมมันต์ และบริเวณจุดหรือกลุ่มจุดบนดวงอาทิตย์ จึงเป็นแนวทางที่จะทำให้เราสังเกตพบการลุกจ้าในบริเวณที่จำกัดแคบลงไป และเป็นการง่ายแก่การติดตามการลุกจ้า

คีเป็นฮอยเออร์(๑๙๖๕) ยังได้สรุปความสัมพันธ์ของจุดหรือกลุ่มจุดบนดวงอาทิตย์กับการลุกจ้า ดังแสดงในรูป ๔.๓ ซึ่งแสดงถึงการจัดวางตัวของจุดบนดวงอาทิตย์และการลุกจ้า และแสดงให้เห็นว่า การลุกจ้ามักจะเกิดตามเส้นสะเทินระหว่างจุดบนดวงอาทิตย์ที่มีสภาพขั้วตรงกันข้าม



รูป ๔.๓ แสดงแบบอย่างการจัดวางตัวของจุดบนดวงอาทิตย์และการลุกจ้า เส้นแรงแม่เหล็กแสดงด้วยเส้นไขปลา การลุกจ้าแสดงด้วยเส้นประยาว และสภาพขั้วของจุดบนดวงอาทิตย์ที่แตกต่างกันแสดงด้วยวงกลมและวงกลมทึบ

(จากหนังสือ The Solar Spectrum, p.241. 1965. C. de Jager(ed.))