บทที่ ๑

บทนำ

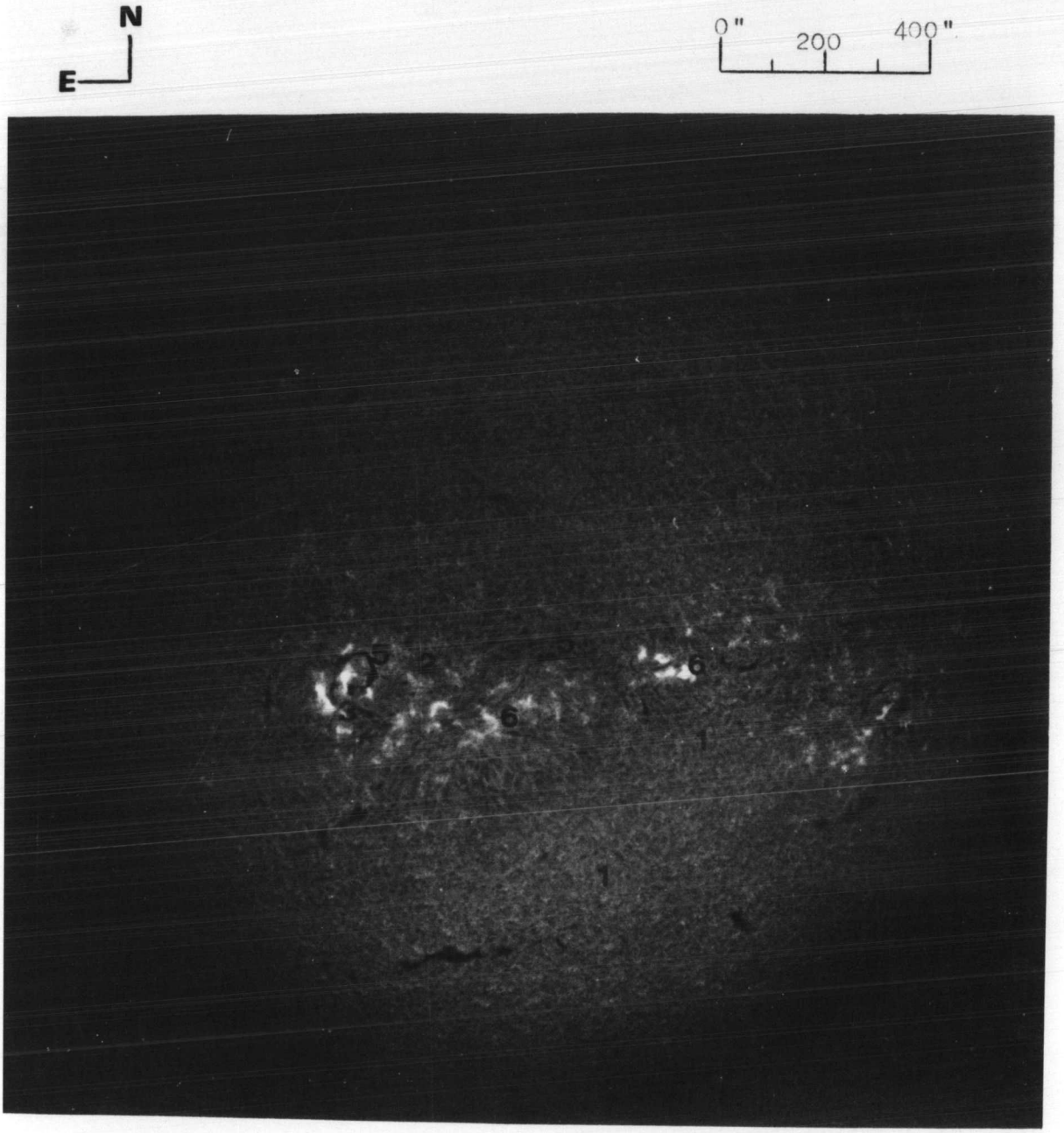
๑.๑ ความเป็นมาของเรื่องราวเกี่ยวกับการลุกจ้าบนดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นก้อนพลาสมาร้อนมหึมา เป็นดาวฤกษ์ที่อยู่ใกล้โลกที่สุด เป็นดาวฤกษ์ดวงเดียวที่เรามองเห็นเป็นดวงกลมด้วยตาเปล่าหรืออุปกรณ์อื่นใดทางดาราศาสตร์ ดาวฤกษ์ดวงอื่น ๆ นั้นอยู่ไกลออกไปมากมาย จนเราเห็นเป็นจุดเท่านั้น ไม่ว่าจะใช้อุปกรณ์ทางดาราศาสตร์อื่นใดก็ตาม ดวงอาทิตย์เป็นเสมือนตัวแทนของดาวฤกษ์ หรือ ตัวอย่างของดาวฤกษ์ทั้งหลายทั้งมวล ที่เราจะศึกษาเพื่อให้รู้ถึงความจริงต่าง ๆ การที่เรามองเห็นดวงอาทิตย์เป็นดวงกลมด้วยตาและอุปกรณ์ทางดาราศาสตร์อื่นใด ทำให้เราสามารถสำรวจรายละเอียดบนพื้นผิวและในบรรยากาศ เพื่อค้นหาความจริงที่มีอยู่ในธรรมชาติ เพื่อที่จะเป็นแนวทางเข้าใจถึงวิวัฒนาการของดาวฤกษ์อื่น ๆ นับเป็นล้าน ๆ ดวงในกาแลกซี่และเอกภพ ดวงอาทิตย์เป็นศูนย์กลางของระบบสุริยะ เป็นแหล่งพลังงานรูปต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดวิวัฒนาการของชีวิตบนโลกเรา การเปลี่ยนแปลงและปรากฏการณ์ที่พิเศษบางอย่างที่เกิดขึ้นบนดวงอาทิตย์ อาจมีอิทธิพลต่อสถานะภาพและวิวัฒนาการของชีวิตบนโลกได้ นอกจากนั้น จากตัวอย่างในอดีตเป็นเครื่องชี้บอกให้เรารู้ว่า ปฏิกิริยาบางอย่างที่เกิดขึ้นบนดวงอาทิตย์ เราสามารถทำให้เกิดขึ้นบนโลก และอาจนำมาใช้เป็นประโยชน์แก่มนุษยชาติได้ เช่น ปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์ เป็นต้น ธาตุต่าง ๆ ที่ตรวจพบในดวงอาทิตย์ก็มีบนโลกเช่นกัน เช่น ประวัติการค้นพบธาตุฮีเลียม เราได้พบเส้นสเปกตรัมในดวงอาทิตย์ก่อน ต่อมาจึงได้พบว่ามีธาตุฮีเลียมบนโลกเรา และปัจจุบันวงการวิทยาศาสตร์ได้ใช้ประโยชน์จากธาตุนี้มากมาย ดังนั้น การศึกษาการเปลี่ยนแปลงและปรากฏการณ์ต่าง ๆ บนดวงอาทิตย์ ก็จะเป็นประโยชน์ ทั้งในแง่การค้นพบความจริงในธรรมชาติ และอาจจะเกิดประโยชน์โดยตรงแก่มนุษยชาติบนโลกเราด้วย

การศึกษาดวงอาทิตย์ในปัจจุบัน แบ่งออกเป็น ๓ กลุ่มใหญ่ ๆ คือ (๑) ศึกษาโครงสร้างภายในของดวงอาทิตย์ (๒) ศึกษาโครงสร้างของบรรยากาศของดวงอาทิตย์ และ (๓) ศึกษาธรรมชาติและแหล่งกำเนิดของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบนดวงอาทิตย์ชั่วระยะเวลาอันสั้น เช่น การลุกจ้า อาณาบริเวณกัมมันต์ เป็นต้น รวมทั้งการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างดวงอาทิตย์และโลก

ในแง่มุมต่าง ๆ เมื่อมีปรากฏการณ์เหล่านั้นเกิดขึ้น อย่างไรก็ดี ขอได้โปรดเข้าใจว่า ปรากฏการณ์ทั้งหลายที่เกิดขึ้นบนดวงอาทิตย์นั้น ต้องใช้ความรู้ในส่วนเหล่านั้นทั้งหมดมาอธิบายจึงจะแก้ปัญหาได้ ทั้งนี้เนื่องจากว่า ปัญหาต่าง ๆ มีความเกี่ยวพันซึ่งกันและกัน ดังนั้น การแบ่งกลุ่มศึกษาจึงเป็นแต่เพียงเพื่อความสะดวกเท่านั้น

การศึกษาวิจัยสภาพทางกายภาพของดวงอาทิตย์ อาจแบ่งออกได้เป็น ๒ ลักษณะ คือ การศึกษาวิจัยดวงอาทิตย์ที่อยู่ในสภาพสงบ (quiet sun) และการศึกษาวิจัยดวงอาทิตย์ที่อยู่ในสภาพปั่นป่วน หรือ กัมมันต์ (disturbed or active sun) ดวงอาทิตย์ที่อยู่ในสภาพสงบ โดยทั่วไปหมายถึงดวงอาทิตย์ในช่วงระยะเวลาที่มีจุดบนดวงอาทิตย์น้อยที่สุด รวมทั้งเวลาระยะปลายของวัฏจักรของจุดบนดวงอาทิตย์ในรอบก่อน และระยะเริ่มต้นของวัฏจักรของจุดบนดวง – อาทิตย์ในรอบใหม่ถัดไป และยังมีความหมายรวมไปถึงอาณาบริเวณบนพื้นผิวดวงอาทิตย์อื่นใด ซึ่งไม่รวมอาณาบริเวณกัมมันต์ (active region) ในสภาวะเช่นนี้ ค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบทางกายภาพต่าง ๆ เช่น ความดัน อุณหภูมิ ความเร็ว สนามแม่เหล็ก อัตราการผลิต และส่งพลังงานออกสู่พื้นผิว ภาวะสมดุลย์ต่าง ๆ เป็นต้น สามารถใช้อธิบายสถานะของบรรยากาศของดวงอาทิตย์ได้อย่างพอเพียง ดวงอาทิตย์ในสภาวะเช่นนี้ ลักษณะพื้นผิวจะมีลวดลายต่าง ๆ ค่อนข้างเรียบสม่ำเสมอ แม้แต่ในโซนของจุดบนดวงอาทิตย์ก็ยังมีส่วนที่อยู่ในสภาวะสงบ ปริมาณพลังงานและรังสีต่าง ๆ ที่ดวงอาทิตย์ส่งออกไปค่อนข้างสม่ำเสมอทั่วบริเวณสงบ ดวงอาทิตย์ที่อยู่ในสภาพปั่นป่วนหรือกัมมันต์ โดยทั่วไปหมายถึงดวงอาทิตย์ในช่วงระยะเวลาที่มีจุดบนดวงอาทิตย์มากที่สุด และระยะเวลาข้างเคียง คือ ก่อนและหลังระยะเวลาที่มีจุดบนดวงอาทิตย์มากที่สุดและโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในอาณาบริเวณกัมมันต์บนดวงอาทิตย์ซึ่งมีสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มมาก พบว่าในสภาวะเช่นนี้ ค่าขององค์ประกอบทางกายภาพต่าง ๆ มีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยมากมาย มีอาณาบริเวณกัมมันต์เกิดขึ้น มีพลาจ (plage) แฟคิวเล (faculae) อาจจะมีบริเวณที่มีพลังงาน คลื่นวิทยุ รังสีต่าง ๆ เช่น รังสีเอกซ์ รังสีคอสมิค เป็นต้น ส่งออกมามากมาย มีสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มมากเกิดขึ้นเป็นหย่อม ๆ อาจจะมีจุดบนดวงอาทิตย์เกิดขึ้น หายไปแล้วเกิดขึ้นใหม่ อาจจะมีการรวมตัวของคอโรนาให้เห็นเป็นเส้น (coronal condensation) อาจจะมีการลุกจ้า (solar flares) อาจจะมีปรากฏการณ์ผาดโผนต่าง ๆ เช่น เสอร์จ (surge) โพรมิเนนซ์กัมมันต์ (active prominence) เป็นต้น ปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดเหล่านั้นเรียกว่ากัมมันตภาพของดวงอาทิตย์ (solar



รูป 1.1 ภาพถ่ายดวงอาทิตย์ในแสงจากกลางเส้นไฮโดรเจนอัลฟา วันที่ 22 ธันวาคม พ.ศ. 2517 เวลา 10.18.50 น. แสดง อาณาบริเวณสงบ(1) อาณาบริเวณกัมมันต์(2) การลุกจ้า(3) จุดบนดวงอาทิตย์(4) ฟิลาเมนต์(5) และพลาจ(6) (จากกล้องโทรทัศน์สำหรับการวิจัยดวงอาทิตย์ ชนิดหักเหแสง บนดาดฟ้าตึกฟิสิกส์ 1 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย)

activity) ปรากฏการณ์หลายอย่างอาจจะปรากฏให้เห็นได้ในขณะเดียวกัน แต่การเกิดก่อนหลังอาจไม่พร้อมกัน ปรากฏการณ์เหล่านั้น บางอย่างอาจเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว รุนแรง น่าสนใจยิ่งและเกิดขึ้นชั่วระยะเวลาอันสั้น แต่ก็มีปรากฏการณ์บางอย่างมีช่วงชีวิตยาวนานพอสมควร บริเวณบนดวงอาทิตย์ที่มักจะอยู่ในสภาวะกัมมันต์ คือ บริเวณในโซนที่เกิดจุดบนดวงอาทิตย์ คือ $\pm 35^{\circ}$ ในโซนนี้จะเกิดสนามแม่เหล็กเป็นหย่อม ๆ แล้วก็มีปรากฏการณ์อื่นเกิดขึ้น เนื่องจากสนามแม่เหล็กเหล่านั้น หรืออาจจะพูดว่าความกัมมันต์ของดวงอาทิตย์ เนื่องมาจากสนามแม่เหล็กที่มีค่ามากผิดแปลกไปจากค่าเฉลี่ยในสภาวะปกติ (norm) ของดวงอาทิตย์ นี่คือ ความแตกต่างของดวงอาทิตย์ที่อยู่ในสภาพสงบ และดวงอาทิตย์ที่อยู่ในสภาพกัมมันต์

อนึ่ง ขอได้โปรดเข้าใจว่า ดวงอาทิตย์ในขณะหนึ่ง ๆ นั้น มีทั้งส่วนที่อยู่ในสภาพสงบ และส่วนที่อยู่ในสภาพกัมมันต์ ส่วนที่กัมมันต์ส่วนใหญ่จะอยู่ในโซนของจุดบนดวงอาทิตย์ และส่วนสงบมักจะอยู่นอกโซนของจุดบนดวงอาทิตย์เป็นส่วนใหญ่ ส่วนกัมมันตภาพของดวงอาทิตย์ ในระยะที่มีจุดบนดวงอาทิตย์น้อยที่สุด จะมีกัมมันตภาพของดวงอาทิตย์น้อย และมีขนาดเล็กหรือปานกลาง ไม่มีความรุนแรงมากนัก ในช่วงระยะที่ดวงอาทิตย์มีจุดบนดวงอาทิตย์มากที่สุด จะมีกัมมันตภาพของดวงอาทิตย์มาก มีขนาดใหญ่และรุนแรงมากกว่า และอาจจะมีผลกระทบกระเทือนกับบรรยากาศของโลกเรามากกว่า

๑.๒ ประวัติการศึกษาวิจัยคุณสมบัติทางกายภาพของดวงอาทิตย์

การศึกษาวิจัยดวงอาทิตย์ เป็นงานที่เกี่ยวข้องกับความรู้ทางทฤษฎีของวิชาฟิสิกส์สาขาอื่นด้วย เป็นผลงานที่มาจากหลายกลุ่ม หลายพวก เพื่อนำมายืนยันการค้นพบว่า สิ่งเหล่านั้นเป็นสิ่งใหม่ ผลงานบางอันเป็นผลงานที่ต้องใช้เวลาในการศึกษาวิจัยเป็นระยะเวลายาวนานพอสมควร ความจริงบางอย่างมีผู้ค้นพบแล้ว แต่ในช่วงเวลานั้น ความรู้ต่าง ๆ ทางทฤษฎียังไม่พัฒนามากพอ คนส่วนใหญ่จึงยังไม่เข้าใจและไม่ยอมรับ จนกระทั่งมาถึงยุคสมัยที่ความรู้ของวิชาฟิสิกส์สาขาต่าง ๆ เจริญขึ้นมาทัน ความจริงเรื่องนั้นได้ถูกรื้อฟื้นขึ้นมาพิจารณาศึกษาใหม่ และประกาศการค้นพบอีก ความจริงบางอย่าง เป็นผลงานการค้นพบของการทำงานที่รับช่วงต่อกันไปจึงจะประสบความสำเร็จ เพื่อชี้ให้เห็นถึงภาพพจน์และความอุตสาหะวิริยะของเหล่านักวิทยาศาสตร์ยุคแรกเริ่ม ที่เขาเหล่านั้นพยายามช่วยกัน นำเอาความรู้ความจริงของดวงอาทิตย์ออกมาประกาศให้ชาวโลกได้รู้ จนกระทั่งถึงความเจริญก้าวหน้าของวิชาการเกี่ยวกับดวงอาทิตย์ในปัจจุบัน ว่ามีความเป็นมาเป็นระยะ ๆ ของความ

เจริญก้าวหน้าอย่างไร ปัจจุบันเราพอจะพูดได้ว่า เรามีความรู้เกี่ยวกับดวงอาทิตย์ และวิวัฒนาการของดาวฤกษ์มากพอสมควร

เกี่ยวกับประวัติการศึกษาวิจัยดวงอาทิตย์นี้ จะแยกกล่าวสาระสำคัญของความเจริญก้าวหน้าในแต่ละยุค ว่ามีจุดเด่นอะไรบ้าง จะแสดงผลงานเรียงตามลำดับปีที่มีผลงานสำคัญ ๆ เท่าที่สามารถค้นหามาได้ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งผลงานเกี่ยวกับการศึกษาวิจัยเรื่องการลุกจ้าบนดวงอาทิตย์ อันเป็นสาระสำคัญของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

๑.๒.๑ <u>การศึกษาวิจัยดวงอาทิตย์ด้วยตาเปล่าในแสงสีขาว</u>

การศึกษาวิจัยดวงอาทิตย์ในระยะแรกเริ่ม ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพของดวงอาทิตย์ โดยการมองดูด้วยตาเปล่าในแสงสีขาว อาจจะมีเครื่องมืออุปกรณ์อย่างง่าย ๆ ประกอบด้วย ปรากฏการณ์อันแรกที่มนุษย์ได้พบเห็นบนดวงอาทิตย์ ก็คือ จุดบนดวงอาทิตย์ (sunspots) จุดบนดวงอาทิตย์ขนาดใหญ่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และจุดบนดวงอาทิตย์ขนาดใหญ่อาจจะกลับมาปรากฏให้เห็นได้อีกในช่วงระยะเวลานานพอสมควร ทั้งนี้เนื่องจากว่าดวงอาทิตย์มีการหมุนรอบตัวเอง เท่าที่ได้บันทึกมา นักดาราศาสตร์ชาวจีนได้บันทึกการพบเห็นจุดบนดวงอาทิตย์ เมื่อหลายศตวรรษมาแล้ว (Smith & Smith, 1963) กาลิเลโอ(Galileo) เป็นคนแรกที่ได้ศึกษาวิจัยคุณสมบัติทางกายภาพของดวงอาทิตย์ ในปี ค.ศ. ๑๖๑๑ ด้วยกล้องโทรทัศน์ที่เขาทำขึ้นเอง นับได้ว่าเป็นยุคแรกเริ่มที่ได้ใช้เครื่องมืออุปกรณ์ทางดาราศาสตร์มาช่วยในการศึกษาหาความจริงในธรรมชาติ สิ่งที่กาลิเลโอได้พบเห็น ก็คือ จุดบนดวงอาทิตย์ จุดเหล่านี้มีการเคลื่อนที่ไปทางตะวันตกอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าดวงอาทิตย์มีการหมุนรอบตัวเอง นับจากนั้นมา การศึกษาวิจัยดวงอาทิตย์ก็ได้ดำเนินเรื่อยมา ความเจริญก้าวหน้าในระยะแรก มีความเจริญก้าวหน้ามาเป็นช่วง ๆ ไม่ค่อยจะติดต่อกัน เมื่อมีการพัฒนาทางเครื่องมืออุปกรณ์ใหม่ขึ้นมาครั้งหนึ่ง ก็มีการตื่นตัวศึกษาวิจัยดวงอาทิตย์กันช่วงหนึ่ง เมื่อมีกฎเกณฑ์ทางทฤษฎีใหม่ ๆ ของวิชาฟิสิกส์เกิดขึ้นก็นำไปใช้อธิบายแก้ปัญหากันช่วงหนึ่ง เหล่านี้เป็นต้น การศึกษาวิจัยดวงอาทิตย์ด้วยตาเปล่าในแสงสีขาวนั้น นับว่าเป็นช่วงที่มีระยะเวลายาวนานที่สุด คือ ใช้อยู่เป็นระยะเวลานานประมาณ ๒ ศตวรรษครึ่ง เมื่อมีวิธีการใหม่ที่ดีกว่า ในการศึกษาวิจัยเข้ามาแทนที่ ความสำคัญของการศึกษาวิจัยโดยวิธีนี้จึงค่อยลดความสำคัญลงไป ในยุคนี้มีเหตุการณ์อันยิ่งใหญ่ ก็คือ เมื่อฟรอนโฮเฟอร์ (Fraunhofer)

ได้นำเอาเครื่องสเปกโตรสโคปมาใช้ศึกษาวิจัยดวงอาทิตย์ ในปี ค.ศ. ๑๘๑๔ เขาได้พบเส้นสเปก-ตรัมมืดถึง ๕๗๔ เส้น ซึ่งภายหลังเรียกเส้นสเปกตรัมมืดนี้ว่า เส้นสเปกตรัมฟรอนโฮเฟอร์ หรือเส้นฟรอนโฮเฟอร์ เพื่อเป็นเกียรติแก่ผู้ค้นพบ ในปี ค.ศ. ๑๘๔๓ ชวาเบ (Schwabe) ได้พบวัฏจักรของจุดบนดวงอาทิตย์ (sunspot cycle) ว่ามีคาบประมาณ ๑๐ ปี ในปี ค.ศ. ๑๘๕๑ ซาไบน์ (Sabine) พบการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กโลก ว่ามีความสัมพันธ์กับวัฏจักรของจุดบนดวงอาทิตย์ ในปี ค.ศ. ๑๘๕๔ คาร์ริงตัน และฮอดจสัน (Carrington & Hodgson) พบการลุกจ้าบนดวงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นใกล้กับจุดบนดวงอาทิตย์ขนาดใหญ่

ยุคนี้ในระยะต้นและส่วนใหญ่ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับจุดบนดวงอาทิตย์ และได้พบความจริงว่า จุดบนดวงอาทิตย์มีการเกิดขึ้น หายไป แล้วเกิดขึ้นใหม่ เปลี่ยนแปลงตามเส้นรุ้งต่าง ๆ ของดวงอาทิตย์ มีจำนวนมากน้อยเป็นวัฏจักร มีค่าเฉลี่ย ๑๑.๑ ปี

ปรากฏการณ์ธรรมชาติที่น่าสนใจอีกอย่างหนึ่ง ก็คือ สุริยุปราคา ก่อน ค.ศ. ๑๘๓๖ นักดาราศาสตร์ให้ความสนใจน้อย จึงใช้ประโยชน์ของปรากฏการณ์นี้น้อย เขาสนใจเพียงแต่การพยายามวัดเวลาที่แน่นอนของการสัมผัสต่าง ๆ ของเงา ส่วนบรรยากาศของดวงอาทิตย์ และโพรมิเนนซ์ สนใจเพียงแต่ในแง่ความงามทางศิลปเท่านั้น ทั้งนี้เพราะคิดว่าสิ่งเหล่านั้นเกิดขึ้นบนดวงจันทร์ หรือ บรรยากาศของโลก ในปี ค.ศ. ๑๘๕๑ มีผู้นำเอาเทคนิคการถ่ายรูปมาใช้ในการศึกษาวิจัยสุริยุปราคาเป็นครั้งแรก เมื่อเกิดสุริยุปราคาในปี ค.ศ. ๑๘๖๐ ได้ภาพถ่ายที่ดีของโพรมิเนนซ์ และในปีนี้เองที่ เดอ ลา รู (De la Rue) และ เซกกี (Secchi) พบว่าโพรมิเนนซ์มีแหล่งกำเนิดมาจากดวงอาทิตย์ ก่อนหน้านี้ คือ ในปี ค.ศ. ๑๘๕๙ เคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff) ได้พบแหล่งกำเนิดของเส้นฟรอนโฮเฟอร์ การศึกษาบรรยากาศของดวงอาทิตย์ได้เริ่มต้นอย่างจริงจัง เป็นผลให้ แจนเสน (Janssen) พบธาตุฮีเลียม และพบว่าสามารถมองเห็นโพรมิเนนซ์ได้ตลอดวัน โดยใช้เครื่องสเปกโตรสโคป

๑.๒.๒ <u>การศึกษาวิจัยดวงอาทิตย์ในแสงสีเดียว</u>

การศึกษาวิจัยดวงอาทิตย์ในแสงสีเดียว เริ่มต้นในปี ค.ศ. ๑๘๖๘ เมื่อ แจนเสน และลอคเยอร์ (Janssen & Lockyer) ซึ่งทำงานอิสระต่อกัน ได้ใช้เครื่องสเปกโตรสโคป โดยการให้แสงผ่านช่องสลิทที่ค่อนข้างกว้าง (wide slit) เข้ามาในเครื่อง พบว่าสามารถมอง

เห็นโพรมิเนนซ์ได้ ตั้งแต่นั้นมา การศึกษาวิจัยดวงอาทิตย์ในแสงสีเดียวก็มีบทบาทมากขึ้น เทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการศึกษาวิจัยดวงอาทิตย์มาก และใช้มาจนกระทั่งถึงปัจจุบันนี้

ในยุคนี้ ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับบรรยากาศของดวงอาทิตย์ โดยศึกษาจากสุริยุปราคา และใช้เครื่องสเปกโตรสโคป ในระยะนี้ สุริยุปราคาเต็มดวงเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญยิ่งต่อการศึกษาวิจัยดวงอาทิตย์ ทั้งนี้เนื่องจากว่า เมื่อตัวดวงอาทิตย์ถูกดวงจันทร์บังมิด เราจึงจะมีโอกาสเห็นบรรยากาศชั้นสูงของดวงอาทิตย์ได้ สุริยุปราคาในปี ค.ศ. ๑๘๗๐ ยัง (Young) ได้สังเกตเห็นสเปกตรัมวาบ (Flash spectrum) และประกาศว่า ดวงอาทิตย์มีบรรยากาศชั้นโครโมสเฟียร์ (Chromosphere) สุริยุปราคาในปี ค.ศ. ๑๘๗๑ แจนเสน ได้พบเส้นสเปกตรัมของ คอโรนา ทำให้เราทราบว่าดวงอาทิตย์มีบรรยากาศระดับสูงชั้น คอโรนา (Corona) ในปี ค.ศ. ๑๘๗๒ ยัง ได้ศึกษาการลุกจ้าบนดวงอาทิตย์ ในแสงไฮโดรเจนอัลฟา ซึ่งมีขนาดความยาวคลื่น ๖๕๖๒.๘ อังสตรอม โดยใช้เครื่องสเปกโตรสโคป เทคนิคต่าง ๆ ได้พัฒนาขึ้นเรื่อย ๆ ในปี ค.ศ. ๑๘๗๗ เซกกี ได้ดัดแปลงการใช้เครื่องสเปกโตรสโคป ประกอบกับการวาดภาพของโครโมสเฟียร์และโพรมิเนนซ์ ทำให้ได้โครงสร้างของโครโมสเฟียร์ที่ละเอียดพอสมควร

๑.๒.๓ <u>การศึกษาวิจัยดวงอาทิตย์ในยุคใหม่</u>

การศึกษาวิจัยดวงอาทิตย์ในยุคใหม่ ถือว่าเริ่มต้น เมื่อได้นำเอาเทคนิคการถ่ายรูปในแสงสีเดียวมาใช้ในการศึกษาวิจัยดวงอาทิตย์ ซึ่งเริ่มต้นในปี ค.ศ. ๑๘๙๑ เมื่อ เฮล และ เดสแลนเดอส์ (Hale & Deslandres) สามารถสร้างเครื่องสเปกโตรเฮลิโอกราฟ (Spectroheliograph) และนำมาใช้ถ่ายรูปของโพรมิเนนซ์ในแสงแคลเซียม (Ca II คือ H และ K) ยุคนี้ การศึกษาวิจัยดวงอาทิตย์ได้ใช้เครื่องมืออุปกรณ์พิเศษเฉพาะ เพื่อให้ได้ผลที่ละเอียดถูกต้อง มีการถ่ายรูปในแสงสีเดียวเพื่อจะได้หลักฐานอ้างอิงที่แน่นอน ได้มีการพัฒนาทางเครื่องมืออุปกรณ์และเทคนิคใหม่ ๆ เพิ่มขึ้น เพื่อความสะดวกในการศึกษาวิจัย และผลงานที่มีประสิทธิภาพ ประกอบกับความเจริญก้าวหน้าของความรู้ทางทฤษฎีควอนตัม (Quantum Theory) ประมาณปี ค.ศ. ๑๙๒๐ ที่ให้ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ ดูด และ ปล่อย พลังงานของอะตอม ทำให้นักดาราศาสตร์ทำความเข้าใจกับปัญหาต่าง ๆ ที่คั่งค้างอยู่ได้มาก และเป็นแรงผลักดันให้นักดาราศาสตร์ทำการศึกษาวิจัยต่อไปอย่างไม่หยุดยั้ง ในปี ค.ศ. ๑๙๐๘ เฮล สามารถถ่ายรูปของดวงอาทิตย์ในแสงไฮโดรเจนอัลฟา

โดยใช้ฟิล์มที่ไวต่อแสงสีแดง ด้วยเครื่องสเปกโตรเฮลิโอกราฟ ทำให้เขาได้พบโครงสร้างที่เป็นวังวน (vortex)ของฟิลาเมนต์ (filament) ในบริเวณจุดบนดวงอาทิตย์ จากประสบการณ์ที่ผ่านมา เฮล ได้สร้างหอคอยสำหรับติดตั้งเครื่องมืออุปกรณ์ ในการศึกษาวิจัยดวงอาทิตย์ เพื่อให้ได้สภาพทางการสังเกตการณ์ (seeing) ที่ดี ซึ่งภายหลัง ได้เป็นแนวทางในการสร้างหอสังเกตการณ์ศึกษาวิจัยดวงอาทิตย์ทั่วโลก ตั้งแต่ปี ค.ศ. ๑๙๓๐ เป็นต้นไป ความเจริญก้าวหน้าทั้งทางเครื่องมืออุปกรณ์และความรู้ทางทฤษฎี ได้นำมาพิจารณาในการแก้ปัญหาร่วมกัน มีผลทำให้เพิ่มพูนความรู้เกี่ยวกับดวงอาทิตย์อย่างมากมาย ในปี ค.ศ. ๑๙๓๐ ลิโอท (Lyot) ได้สร้างเครื่อง คอโรนากราฟ (Coronagraph) ซึ่งเป็นเครื่องมืออุปกรณ์ที่สำคัญยิ่งในการศึกษาบรรยากาศชั้น คอโรนา ในเวลาปกติ เพราะก่อนหน้านี้จะเห็นบรรยากาศชั้นนี้ได้ เฉพาะในขณะที่มีสุริยุปราคาเต็มดวงเท่านั้น เมกแมธ (McMath) ได้นำเอาเทคนิคทางภาพยนต์ หรือที่เรียกว่า เทคนิคการถ่ายรูปเว้นช่วงเวลา (time-lapse photography technique) เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของโพรมิเนนซ์และการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วบนตัวดวงอาทิตย์ ซึ่งทำให้เขาได้พบปรากฏการณ์ที่เรียกว่า เสอร์จ นอกจากนั้น ยังเป็นพื้นฐานในการวัดเวลาของปรากฏการณ์ที่แน่นอนอีกโสดหนึ่งด้วย

๑.๒.๔ <u>ประวัติการศึกษาวิจัยดวงอาทิตย์และการลุกจ้าเรียงตาม ค.ศ.</u>

ค.ศ. ๑๖๑๑ กาลิเลโอ ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพของดวงอาทิตย์ในแสงสีขาวด้วยกล้องโทรทัศน์ พบจุดบนดวงอาทิตย์ พบการหมุนรอบตัวเองของดวงอาทิตย์ ว่ามีคาบการหมุนประมาณ ๑ เดือนจันทรคติ โดยสังเกตการเคลื่อนที่ของจุด

–ไชเนอร์ (Scheiner) ได้ศึกษาการหมุนรอบตัวเองของดวงอาทิตย์ ได้พิมพ์เผยแพร่ผลการศึกษาคาบการหมุนของดวงอาทิตย์ บอกถึงความเอียงของขั้วของดวงอาทิตย์กับระนาบอีคลิปติก นอกจากนั้น เขาได้ให้ข้อเสนอแนะก่อนปี ค.ศ. ๑๖๓๐ ว่า จุดบนดวงอาทิตย์ในแต่ละซีกของเส้นศูนย์สูตร มีคาบการหมุนมากกว่าคาบการหมุนของจุดแถบเส้นศูนย์สูตร

วงการวิทยาศาสตร์ถือว่า กาลิเลโอ เป็นผู้บุกเบิกการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของดวงอาทิตย์ โดยการสังเกตศึกษาด้วยตาเปล่าและอุปกรณ์อย่างง่าย ๆ การศึกษาดวงอาทิตย์ด้วยตาเปล่านี้ ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาเกี่ยวกับจุดบนดวงอาทิตย์ การศึกษาดวงอาทิตย์โดยวิธีนี้ใช้อยู่ประมาณ ๒๕๐ ปี

ค.ศ. ๑๘๑๔ ฟรอนโฮเฟอร์ ได้นำเอาเครื่องสเปกโตรสโคปมาใช้ในการศึกษาวิจัยดวงอาทิตย์ ได้เผยแพร่ผลงานการศึกษาสเปกตรัมของดวงอาทิตย์อย่างละเอียด พบว่าในสเปกตรัมของดวงอาทิตย์ มีเส้นสเปกตรัมมืดถึง ๕๗๔ เส้น แต่ผลงานของเขาในระยะแรก ๆ ไม่มีใครมองเห็นความสำคัญ

๑๘๔๓ ชวาเบ ประกาศว่า น่าจะมีวัฏจักรของจุดบนดวงอาทิตย์ มีคาบประมาณ ๑๐ ปี เป็นผลงานที่เขาใช้เวลาศึกษาจาก ปี ค.ศ. ๑๘๒๕ – ๑๘๔๓ ในช่วงเวลานี้เขาได้พบว่า ดวงอาทิตย์มีจำนวนจุดมากที่สุด ๒ ครั้ง และน้อยที่สุด ๒ ครั้ง

๑๘๕๑ ลามองต์ (Lamont) พบการเปลี่ยนแปลงเป็นคาบของสนามแม่เหล็กโลก

–ซาไบน์ (Sabine) พบว่า การเปลี่ยนแปลงเป็นคาบของสนามแม่เหล็ก–โลกมีความสัมพันธ์กับวัฏจักรของจุดบนดวงอาทิตย์ นี่เป็นการพบความสัมพันธ์ระหว่างดวงอาทิตย์กับโลก

๑๘๕๒ วูลฟ์ (Wolf) ได้ศึกษาหาค่าของคาบของจุดบนดวงอาทิตย์ต่อ พบว่าค่าที่ถูกต้องแน่นอน มีค่า ๑๑.๑ ปี

๑๘๕๔ เคอร์ชอฟฟ์ ได้ทดลองให้รู้ถึงแหล่งกำเนิดของเส้นสเปกตรัมฟรอนโฮเฟอร์ และเส้นสเปกตรัมสว่างที่สังเกตพบในสเปกตรัมวาบ ระยะนี้เองที่วงการวิทยาศาสตร์ได้รู้คุณค่าของเส้นสเปกตรัมฟรอนโฮเฟอร์ ที่ค้นพบโดยฟรอนโฮเฟอร์ในปี ค.ศ. ๑๘๑๔ และเอาไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาวิจัยในระยะต่อไป

–คาร์ริงตัน และ ฮอดจสัน ทำงานอิสระต่อกัน ได้สังเกตพบการลุกจ้าบนดวงอาทิตย์ด้วยตาเปล่าในแสงสีขาว เกิดขึ้นใกล้กับจุดบนดวงอาทิตย์ที่เขากำลังศึกษาอยู่ พบว่ามีการรบกวนในสนามแม่เหล็กโลกหลังจากเกิดการลุกจ้าหลายชั่วโมง และมีแสงออโรราเกิดขึ้นในบริเวณเส้นรุ้งต่ำ ๆ ทั้งแถบซีกโลกเหนือและใต้

๑๘๖๓ คาร์ริงตัน ได้พิมพ์เผยแพร่ผลงานการศึกษาจุดบนดวงอาทิตย์ จาก ปี ค.ศ. ๑๘๕๓ – ๑๘๖๑ เขาได้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของคาบการหมุนรอบตัวเองตามเส้นรุ้งต่าง ๆ ค่าเหล่านั้นที่ได้ใกล้เคียงกับค่าที่ยอมรับกันในปัจจุบันนี้ หลังจากนั้นไม่นาน

สเปือเรอร์ (Spörer) ได้ตั้งกฎการเปลี่ยนแปลงของจุดบนดวงอาทิตย์ตามเส้นรุ้ง ว่า มีคาบ ๑๑ ปี ภายหลังความจริงนี้ได้แสดงออกมาให้เห็นในรูปของ ไดอะแกรม-ผีเสื้อ ที่มีชื่อเสียงของมอนเดอร์ (Maunder,E.S.; 1904a)

ค.ศ. ๑๘๖๘ แจนเสน และ ลอคเยอร์ ทำงานอิสระต่อกัน พบว่าสามารถมองเห็นโพรมิเนนซ์ได้ตลอดวัน แม้ว่าไม่มีสุริยุปราคา โดยมองผ่านเครื่องสเปกโตรสโคปที่ให้แสงผ่านช่องสลิทที่ค่อนข้างกว้างเข้ามาในเครื่อง และเมื่อสังเกตสุริยุปราคาในปีนี้เช่นกัน เขาได้พบธาตุฮีเลียมซึ่งเป็นธาตุใหม่

ผลงานการค้นพบของแจนเสนและลอคเยอร์นี้ ถือว่าเป็นยุคแรกเริ่มการ - ศึกษาวิจัยดวงอาทิตย์ในแสงสีเดียว (monochromatic light)

๑๘๖๙ ยัง และ ฮาร์คเนสส์ (Young and Harkness) ได้สังเกตสุริยุปราคาที่อเมริกาเหนือ ได้พบเส้นคอโรนาสว่างสีเขียว (green coronal emission line) ณ ความยาวคลื่น ๕๓๐๓ อังสตรอม เป็นเส้นคอโรเนียมเส้นแรกที่มีชื่อเสียง และยังไม่รู้ว่าเนื่องมาจากอะไรในช่วงเวลามากกว่า ๗๐ ปี - เอดเลน(Edlén) ได้อธิบายในปี ค.ศ. ๑๙๔๒

๑๘๗๐ ยัง ได้สังเกตสุริยุปราคา ได้สังเกตพบเส้นสเปกตรัมวาบด้วยตาเปล่าเป็นครั้งแรก และประกาศว่า ดวงอาทิตย์มีบรรยากาศชั้น โครโมสเฟียร์

๑๘๗๑ แจนเสน ได้สังเกตสุริยุปราคา เขาได้พบเส้นสเปกตรัมฟรอนโฮเฟอร์ในสเปกตรัมของคอโรนา จากผลอันนี้ ทำให้เชื่อว่าดวงอาทิตย์มีบรรยากาศชั้น คอโรนา

-ลอคเยอร์สามารถวัดความสูงของแกสของดวงอาทิตย์ โดยสังเกตความยาวของอาร์คสว่างที่ได้จากเครื่องสเปกโตรสโคปที่เปิดให้แสงเข้าเต็มที่ พบว่า เส้นคอโร-นาสีเขียวอยู่สูงถึง ๕๐๐,๐๐๐ กม

๑๘๗๒ ยัง ศึกษาเส้นสเปกตรัมของดวงอาทิตย์ พบว่า มีบ่อยครั้งที่เส้นสเปกตรัมบางเส้น โดยเฉพาะเส้นไฮโดรเจนอัลฟา ปรากฏสว่างชั่วขณะ ปรากฏการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นในบริเวณจุดบนดวงอาทิตย์ เขาสรุปว่า ปรากฏการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นในบรรยากาศระดับสูงของดวงอาทิตย์ นี่คือ การศึกษาการลุกจ้าในแสงไฮโดรเจนอัลฟาเป็นครั้งแรก

ค.ศ. ๑๘๗๓ ฮาสติงส์ (Hastings) ได้ศึกษาโดยการมองดูด้วยตาเปล่า พบว่า สเปกตรัมที่ขอบดวงจะแตกต่างจากสเปกตรัมที่กลางดวง และในปัจจุบันทราบว่าเส้นสเปกตรัมที่ขอบดวงเส้นจะกว้างออก

๑๘๗๗ เซกกี ได้นำเอาเครื่องสเปกโตรสโคปที่ใช้แสงสีเดียวมาใช้ศึกษาดวงอาทิตย์ด้วยการมองดู เพื่อศึกษารูปร่างของโครโมสเฟียร์และโพรมิเนนซ์ เขาได้วาดภาพลักษณะต่าง ๆ และได้อธิบายลักษณะต่าง ๆ ของโครโมสเฟียร์หลายอย่าง เช่น โครงสร้างคล้ายแหลนหลาว (jet) ในโครโมสเฟียร์ รวมทั้งการวางตัวของแหลนหลาวตามแนวรัศมีใกล้ขั้ว และแสดงการเอียงใกล้เส้นศูนย์สูตร

ผลงานของเซกกี เป็นผลงานที่ดีเด่น เป็นแนวทางของการสำรวจดวงอาทิตย์ ด้วยการมองดูด้วยตาและการวาดภาพของสิ่งที่มองเห็นไว้เป็นหลักฐาน และก็ยังคงใช้อยู่ในปัจจุบันนี้ แต่การยอมรับน้อยลง อย่างไรก็ดี ก็พอจะเป็นแนวทางช่วยบันทึกความทรงจำ

๑๘๗๘ ได้พบความสัมพันธ์ระหว่างคอโรนากับวัฏจักรของจุดบนดวงอาทิตย์ ปีนี้เป็นปีที่มีจุดบนดวงอาทิตย์น้อยที่สุด เมื่อมีสุริยุปราคาเกิดขึ้น พบว่า คอโรนาแถบเส้นศูนย์สูตรขยายยาวออกไป การเรียงตัวของสายธารคอโรนา (coronal streamer) เหมือนกับเส้นแรงแม่เหล็ก และสังเกตพบว่า เส้นสเปกตรัมของไฮโดรเจนและเส้นสเปกตรัมของคอโรนาจางลงอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อมีจุดบนดวงอาทิตย์มากที่สุด

๑๘๙๑ เฮล สามารถถ่ายรูปของโพรมิเนนซ์ในแสงของไอออนแคลเซียม เส้น H และ K ณ หอสังเกตการณ์เคนวูด (Kenwood Observatory) โดยใช้เครื่องสเปกโตร-เฮลิโอกราฟได้เป็นครั้งแรก หลักการของเครื่องมือชนิดนี้ แจนเสนได้เสนอแนะมาก่อน เครื่องมือที่คล้ายกับที่ เฮล ประดิษฐ์ขึ้นนี้ เดสแลนเดอส์ ก็ได้สร้างขึ้นมาด้วยต่างทำงานอิสระต่อกัน

ปีนี้ถือว่าเป็นการเริ่มยุคใหม่ของการสำรวจศึกษาดวงอาทิตย์ ด้วยเครื่อง-มือพิเศษเฉพาะ เพื่อที่จะได้ข้อมูลที่ละเอียดถูกต้อง มีการถ่ายรูปไว้เป็นหลักฐานอ้างอิงที่แน่นอน

ค.ศ. ๑๘๙๗ โรว์แลนด์ (Rowland) ได้ทำแผนที่สเปกตรัมของดวงอาทิตย์ให้สมบูรณ์ขึ้น จากความยาวคลื่น ๒๙๓๕ – ๗๓๓๑ อังสตรอม โดยใช้เกรติงเว้า (concave grating) พร้อมกับมีตารางความยาวคลื่นและความเข้มประกอบ ผลงานอันนี้เป็นรากฐานสำคัญในการศึกษาทางฟิสิกส์ดาราศาสตร์ และการศึกษาวิจัยดวงอาทิตย์

๑๙๐๔ มอนเดอร์ (E.S.Maunder) ได้อธิบายการเปลี่ยนแปลงตามเส้นรุ้งของจุดบนดวงอาทิตย์ในรูปของไดอะแกรมผีเสื้อ (butterfly diagram) เขายังพบว่าในช่วงเวลา ๒๘ ปี มีพายุแม่เหล็กเกิดขึ้นอย่างรุนแรง ๑๙ ครั้ง สัมพันธ์กับการปรากฏของกลุ่มจุดขนาดใหญ่บนเส้นเมอริเดียนกลางดวง

๑๙๐๖ เฮล ได้เห็นความสำคัญของการทดลองในห้องทดลองว่า เป็นแนวทางที่จะไขไปสู่ความจริงของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ การทดลองครั้งแรกเพื่อทดสอบแนวความคิดของ เฮล ได้ทำขึ้น คือ การค้นหาความสัมพันธ์ของความเข้มของเส้นสเปกตรัมกับอุณหภูมิ เฮล อาดามส์ และเกล (Hale, Adams and Gale) ได้ทดลองให้เห็นว่า เส้นสเปกตรัมจำนวนมากซึ่งสว่างในบริเวณจุดบนดวงอาทิตย์จะสว่างในห้องทดลอง เมื่อลดอุณหภูมิของแกส และเส้นสเปกตรัมที่จางในบริเวณจุดบนดวงอาทิตย์ก็จางในห้องทดลอง เมื่อลดอุณหภูมิของแกสลง

เฮล และอาดามส์ ได้รูปที่มีการแยกสูง (high-dispersion) ของสเปกตรัมของจุดบนดวงอาทิตย์จากกล้องโทรทัศน์สโนว์ที่ตั้งบนพื้นราบ (horizontal Snow telescope) ซึ่ง เฮล ได้ติดตั้งที่ภูเขาวิลสันในปี ค.ศ. ๑๙๐๔ เขาพบว่าในบริเวณจุดบนดวงอาทิตย์ เส้นโลหะบางเส้นมีความเข้มมากขึ้น และมีหลายเส้นจางลงหรือหายไป และยังพบว่าเส้นสเปกตรัมมีความกว้างมากขึ้น เขาตั้งสมมติฐานว่า บริเวณจุดบนดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิต่ำกว่าบริเวณโดยรอบ

เฮล และอาดามส์ ชี้ให้เห็นถึงความคล้ายคลึงระหว่างสเปกตรัมของจุดบนดวงอาทิตย์ กับสเปกตรัมของดาวฤกษ์ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าดวงอาทิตย์ ซึ่งแสดงว่าจุดบนดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิต่ำกว่าพื้นผิวดวงอาทิตย์

ค.ศ. ๑๙๐๗ก เฮล ได้สร้างกล้องโทรทัศน์บนหอคอย (Tower telescope) ที่ภูเขาวิลสัน เพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนปั่นป่วนจากบรรยากาศผิวพื้น ทำให้สภาพทางการสังเกต-การณ์ดีขึ้น และเป็นแบบอย่างแก่หอดูดาวอื่น ๆ ทั่วโลก

เฮล และ อาดามส์ ได้พบแถบสเปกตรัมของโมเลกุลของไทตาเนียมออก-ไซด์ ในสเปกตรัมของจุดบนดวงอาทิตย์ โฟว์เลอร์ (Fowler) พบแถบสเปกตรัมของแมกนีเซียมไฮไดรด์ และในปี ค.ศ. ๑๙๐๘ โอล์มสเตด (Olmsted) พบแถบสเปกตรัมของแคลเซียมไฮไดรด์ การพบแถบสเปกตรัมของโมเลกุล เป็นการยืนยันว่าจุดบนดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิต่ำ หลังจากนี้เกือบ ๒ ปี เฮล ได้สรุปว่า การศึกษาแบบสหสัมพันธ์ของ ดวงอาทิตย์ ดวงดาว และปรากฏการณ์ในห้องทดลอง ไปพร้อม ๆ กัน ทำให้เราได้วิธีการที่ถูกต้องที่จะเข้าใจถึงปัญหาวิวัฒนาการของดาวฤกษ์

๑๙๐๗ข เฮล และ อาดามส์ ได้ศึกษารูปถ่ายของสเปกตรัมที่ขอบดวง เขาได้พิจารณาตามแนวการศึกษาด้วยตาเปล่าที่อาสติงส์ (๑๘๗๓) ได้ศึกษามาแล้ว เขาสรุปว่า

๑. เส้นสเปกตรัมที่มีความเข้มในบริเวณจุด จะมีความเข้มใกล้ขอบ
๒. เส้นสเปกตรัมที่มีความจางในบริเวณจุด จะมีความจางใกล้ขอบ
๓. เส้นที่ปีกของสเปกตรัม (line wings) จะลดลงเมื่อใกล้ขอบ
๔. เส้นสเปกตรัมใกล้ขอบส่วนใหญ่จะกว้างออก
๕. เส้นสเปกตรัมของโลหะจะเลื่อนไปทางแดง เมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งเส้นสเปกตรัมบริเวณกลางดวง

๑๙๐๘ เฮล ได้ถ่ายรูปตัวดวงอาทิตย์รูปแรกจากเครื่องสเปกโตรเฮลิโอกราฟ โดยใช้แสงไฮโดรเจนอัลฟา เพลทที่ใช้มีความไวต่อแสงสีแดง ด้วยเพลทนี้ทำให้เขาได้ค้นพบโครงสร้างที่เป็นวังวนของฟิลาเมนต์ ในบริเวณรอบ ๆ จุดบนดวงอาทิตย์ รูปร่างของวังวนที่ปรากฏทำให้ เฮล ได้คิดว่า ต้องมีการหมุนวนของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า ซึ่งก่อให้เกิดมีสนามแม่เหล็ก จากแนวความคิดนี้ เฮล ได้พบองค์ประกอบที่แยกออกเป็นสองเส้นใกล้ ๆ กันในสเปกตรัมของจุดบนดวงอาทิตย์ ซึ่งมีโปลาไรซ์ควงในทิศทางตรงกันข้าม (circularly polarized in opposite direction)

หอสมุดกลาง
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ในช่วงเวลาใกล้เคียงกันนั้น เฮล ได้ตรวจพบปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ผลซีแมน (Zeeman effect) ในสเปกตรัมของจุดบนดวงอาทิตย์ และได้สรุปว่า มีสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มมากในจุดบนดวงอาทิตย์

ค.ศ. ๑๙๐๙ เฮล และ อาดามส์ ประสบความสำเร็จในการถ่ายรูปของสเปกตรัมวาบในเวลาปกติ ด้วยกล้องโทรทัศน์ที่ติดตั้งบนหอคอย และเครื่องสเปกโตรกราฟ

–เอเวอร์เชด (Evershed) ได้พยายามวัดการเคลื่อนที่ของวังวนจากปริมาณการขจัดดอปเปลอร์ (Doppler displacement) ของเส้นสเปกตรัมของเหล็ก ในจุดบนดวงอาทิตย์ใกล้ขอบ ไม่พบการเคลื่อนที่ของวังวนรอบแกนที่ตั้งฉากกับผิว แต่ได้พบการไหลออกของแกสตามแนวรัศมีของจุดบนดวงอาทิตย์ คือ ไหลออกจากบริเวณมืดไปสู่บริเวณสว่าง ด้วยอัตราเร็วประมาณ ๒ กม /วินาที

๑๙๑๑ สตรือเมอร์ (Störmer) ได้สังเกตรูปร่างของคอโรนาเมื่อมีจุดน้อยที่สุด และคาดคิดว่าดวงอาทิตย์ต้องเป็นแม่เหล็ก

๑๙๑๒ เดสแลนเดอส์ ได้ชี้ให้เห็นรูปร่างและการเคลื่อนที่ของโพรมิเนนซ์ ดูเหมือนว่าตกอยู่ภายใต้อิทธิพลของสนามแม่เหล็กบนดวงอาทิตย์ จากข้อเสนอแนะนี้ทำให้ เฮล ได้ความคิดที่จะวัดค่าสนามแม่เหล็กโดยสังเกตการศึกษาผลซีแมน

๑๙๑๓ เฮล ได้พบปริมาณการขจัดซีแมน (Zeeman displacement) ซึ่งเป็นไปตามแนวความคิดที่ว่า ดวงอาทิตย์เป็นทรงกลมแม่เหล็ก (magnetic sphere) และคาดคะเนว่า ความเข้มตามแนวดิ่งที่ขั้วมีค่าประมาณ ๕๐ เกาส์

–มิทเชลล์ (Mitchell) ยืนยันเกี่ยวกับความเข้มของเส้นสเปกตรัมที่เด่นของโครโมสเฟียร์ และอ้างถึงคำอธิบายของลอคเยอร์เกี่ยวกับเรื่องนี้ เขาสรุปว่า เมื่อเอาหลักเกณฑ์นี้ไปใช้กับบรรยากาศชั้นโครโมสเฟียร์ พบว่า ระดับสูงร้อนกว่าระดับต่ำ ซึ่งไม่น่าจะเป็นไปได้

๑๙๑๔ เฮล ได้สรุปความจริง ซึ่งในปัจจุบันเป็นกฎเกี่ยวกับขั้วแม่เหล็กบริเวณจุดบนดวงอาทิตย์ เขาสรุปว่า

๑. กลุ่มจุดที่มี ๒ ขั้ว เป็นจำนวนมาก มีคุณสมบัติเฉพาะ คือ มีขั้วแม่เหล็กตรงกันข้าม

๒. ก่อน และ หลัง ที่มีปริมาณจุดน้อยที่สุด จุดที่เกิดก่อน หรือ หลัง ของกลุ่มจุดที่มี ๒ ขั้ว พบว่า มีขั้วตรงกันข้ามในซีกเหนือและใต้ของดวงอาทิตย์

๓. ในแต่ละซีกของดวงอาทิตย์ จุดที่เกิดขึ้นที่เส้นรุ้งสูง ๆ ของวัฏจักรใหม่ จะมีขั้วตรงกันข้ามกับจุดในบริเวณเส้นรุ้งต่ำ ๆ ของวัฏจักรเก่า

ค.ศ. ๑๙๑๗ เอลเลอร์แมน (Ellerman) ได้พบการลุกจ้าที่มีอายุสั้นมาก ซึ่งเกิดในระดับต่ำ ทำให้เส้นสเปกตรัมกว้างออกมากถึง ๓๐ อังสตรอม เขาให้ชื่อว่า เอลเลอร์แมน – บอมบ์ (Ellerman bomb) ภายหลังทราบว่า คือ มุสตาชส์ (moustaches) หรือ จุดสว่าง (bright points)

๑๙๒๐ ซาฮา (Saha) ได้แสดงผลงานทางทฤษฎี คือ สมการภาวะสมดุลย์ของการแตกตัวเป็นไอออน แสดงให้เห็นว่า เส้นที่เด่นในสเปกตรัมของโครโมสเฟียร์นั้น นอกจากจะเนื่องจากอุณหภูมิสูงแล้ว ยังเนื่องจากความกดดันต่ำด้วย

๑๙๒๔ เฮล ได้พบการเปลี่ยนขั้วแม่เหล็กของจุดบนดวงอาทิตย์ และยืนยันคาบ ๒๒ ปี ของการเปลี่ยนขั้วแม่เหล็กของจุดบนดวงอาทิตย์ 005858

๑๙๒๙ รัสเซลล์ (Russell) ได้ค้นหาธาตุต่าง ๆ ที่มีบนดวงอาทิตย์เป็นจำนวนมาก โดยวิเคราะห์จากสเปกตรัมฟรอนโฮเฟอร์และตารางความเข้มของโรว์แลนด์

๑๙๓๐ ลีโอท (Lyot) ได้สร้างเครื่องคอโรนากราฟ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญยิ่งในการศึกษาคอโรนาในเวลาปกติ

–เมกแมธ ได้นำเอาเทคนิคทางภาพยนต์ หรือที่เรียกว่า เทคนิคการถ่ายรูปเว้นช่วงเวลา มาใช้ศึกษาการเคลื่อนที่ของโพรมิเนนซ์ และปรากฏการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วบนตัวดวง การศึกษาระยะแรก ๆ ของเขาและคณะ ทำให้พบโพรมิ–เนนซ์แบบเสอร์จ และสังเกตพบการเคลื่อนที่ลงของสสารในโพรมิเนนซ์ วิธีการนี้ยังเป็นพื้นฐานในการวัดเวลาที่แน่นอนของปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น

ค.ศ. ๑๙๓๓ ลีโอท และ โอห์มาน (Öhman, 1936) ได้สร้างเครื่องกรองแสงแบบไบรีฟริงเจนท์ ซึ่งเป็นเครื่องกรองแสงสีแเดียว และใช้สำหรับศึกษาการลุกจ้า

–เมกแมธ ได้ใช้เทคนิคการถ่ายภาพยนต์กับเครื่องสเปกโตรเฮลิโอกราฟ และติดตามการลุกจ้าโดยอัตโนมัติ

๑๙๓๘ วาล์คเมียร์ (Waldmeier) เป็นคนแรกที่ได้พบว่ามีการลุกจ้าเกิดซ้ำที่เดิม และ เอลลิสัน และ คณะ (Ellison et al, 1960)ได้ให้ความหมายและคำจำกัดความของการลุกจ้าที่เกิดซ้ำเดิม

–เฮล และ นิโคลสัน (Nicholson) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางแม่เหล็กของจุดบนดวงอาทิตย์ และได้แบ่งกลุ่มจุดตามคุณสมบัติทางแม่เหล็กออกเป็น ๓ พวก คือ α (unipolar) β (bipolar) และ γ (multipolar)

๑๙๓๙ ริชาร์ดสัน และ มินโคว์สกี (Richardson & Minkowski) ได้ถ่ายสเปกตรัมของการลุกจ้า พบว่า เส้นสเปกตรัมบางเส้นจะแตกต่างกันมากระหว่างการลุกจ้าต่าง ๆ และแม้แต่จากส่วนที่ต่างกันของการลุกจ้าอันเดียวกัน

๑๙๔๐ แบบคอค (Babcock,H.D.)ได้วัดค่าสนามแม่เหล็กของดวงอาทิตย์ ว่ามีค่าระหว่าง ๐ – ๖๐ เกาส์ และสรุปว่า สนามแม่เหล็กโดยทั่วไปของดวงอาทิตย์อาจจะมีค่าแปรเปลี่ยนได้

๑๙๔๑ วาล์คเมียร์ ได้พบความไม่สมมาตรในรูปเส้น (line profile) ของเส้นไฮโดรเจนอัลฟา คือ ทางปีกแดงมีความสว่างมากกว่าปีกน้ำเงิน คนที่ศึกษาเรื่องนี้ต่อ ก็คือ เอลลิสัน (๑๙๔๙, ๑๙๕๒) และ เชสท์กา (Švestka, 1951) ซึ่งศึกษาการลุกจ้าที่เกิดบริเวณกลางดวง

๑๙๔๒ เริ่มยุควิทยุดาราศาสตร์ของดวงอาทิตย์ (Solar Radio Astronomy) แต่เป็นรูปเป็นร่างขึ้นอย่างจริงจังภายหลังสงครามโลกครั้งที่ ๒ (๑๙๔๕ – ๑๙๔๖)

–เอดเลน (Edlén) ได้อธิบายปัญหาลี้ลับทางฟิสิกส์ดาราศาสตร์ เกี่ยวกับเส้นคอโรนาสีเขียว ณ ความยาวคลื่น ๕๓๐๓ อังสตรอม ซึ่ง ยัง และ ฮาร์คเนส ได้ค้นพบ

ในปี ค.ศ. ๑๘๖๙ แต่อธิบายไม่ได้ เอดเลน อธิบายว่า เส้นสเปกตรัมพวกนี้เกิดจากการกระโดดจากระดับเสถียรเมตาของอะตอมที่มีการแตกตัวอย่างสูง (Metastable levels of very highly ionized) ของเหล็ก นิเกิล แคลเซียม และอาร์กอน และจากผลงานของเอดเลนนี้ ทำให้ทราบว่าอุณหภูมิของคอโรนา ประมาณ ๑,๐๐๐,๐๐๐ เคลวิน

ค.ศ. ๑๙๔๔ เมกนิช (McNish) ได้นำคำแฟลร์ (flare) มาใช้ และเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป

๑๙๔๖ก เอปเปิลตัน และ เฮย์ (Appleton & Hey) ให้ข้อสังเกตว่า คลื่นวิทยุถูกรบกวนในขณะที่เกิดการลุกจ้า

–โจวาเนลลี (Giovanelli) ได้สร้างแบบจำลองของการลุกจ้า แบบอีเลกโตรแมก–นีติก ว่า การลุกจ้าเป็นการถ่ายเทประจุไฟฟ้าในโครโมสเฟียร์

๑๙๔๘ เบียร์แมน และ ชวาร์ซชิลด์ (Biermann & Schwarzschild) ได้เสนอแนะว่า แกสที่เคลื่อนที่ขึ้นในแกรนูล (granule) จะอัดกันทำให้เกิดคลื่น และเปลี่ยนเป็นความร้อนให้แก่โครโมสเฟียร์และคอโรนา ซึ่งแนวความคิดนี้ แอลเฟน (Alfvén ๑๙๕๐) ได้ปรับปรุงและเสนอแนะว่า สนามแม่เหล็กโดยทั่วไปของดวงอาทิตย์เปลี่ยนคลื่นนี้เป็นคลื่นไฮโดรแมกนีติค (hydromagnetic wave) และเปลี่ยนเป็นความร้อนโดยผลจูล (Joule effect)

–ดี อาซามบูจา แอล และ ดี อาซามบูจา เอ็ม (D'Azambuja, L.&D'Azambuja,M.) ได้สรุปว่า โพรมิเนนซ์สว่างที่ขอบดวงจะปรากฏเป็นฟิลาเมนต์สีดำบนตัวดวง และเป็นไปตามกฎเกณฑ์เดียวกัน

๑๙๔๙ เอลลิสัน ได้ให้คำจำกัดความของการลุกจ้าว่า เป็นการให้รังสีความยาวคลื่นเดียวอย่างทันทีทันใดในช่วงเวลาอันสั้น เขาได้พิจารณารูปร่างที่ปรากฏของการลุกจ้าว่ามีความสัมพันธ์กับกลุ่มจุดบนดวงอาทิตย์ที่เกี่ยวข้อง เขาได้พบความไม่สมมาตรในปีกทั้งสองของเส้นไฮโดรเจนอัลฟาว่า จะมีการดูดแสงมากในปีกทางน้ำเงิน และได้แบ่งขนาดของการลุกจ้า

–ดอดสัน และ เฮดีแมน (Donson and Hedeman) ได้ศึกษาการลุกจ้าที่เกิดซ้ำเดิม ๓ อัน ว่ามันเกิดซ้ำเดิมจริง ๆ

ค.ศ. ๑๙๕๐ แอลเฟน เสนอแนะว่า การไหลของแกสในสนามแม่เหล็กบนดวงอาทิตย์ จะเป็นคลื่นแบบแมกนีโตไฮโดรไดนามิกส์ หรือ ไฮโดรแมกนีติกส์ (magneto-hydrodynamic or hydromagnetic waves)

–วิลด์ และ เมกรีดี (Wild & McReady) ได้พิมพ์เผยแพร่การลุกจ้าทางคลื่นวิทยุบนดวงอาทิตย์ (solar radio burst) ซึ่งแบ่งชนิดเป็น แบบ I แบบ II และแบบ III

๑๙๕๑ ริชาร์ดสัน ได้ศึกษาการลุกจ้าขนาดเล็กแต่มีอายุยืนยาวเหมือนกับดาวระเบิด แบบ พี คิกไน (P. Cygni type of Nova)

–เชสท์กาพบว่าความไม่สมมาตรทางปีกแดงและน้ำเงินของการลุกจ้าจะเปลี่ยนไปในระยะหลังของการลุกจ้า คือ ทางปีกน้ำเงินจะสว่างกว่า ซึ่งแสดงถึงการตกลงมาของมวลสารที่ถูกแสง

–บรูเซค (Bruzek) ได้พบความสัมพันธ์ระหว่างการลุกจ้ากับฟิลาเมนต์

๑๙๕๒ แบบคอค และ แบบคอค (Babcock, H.W. & Babcock, H.R.) ได้ใช้แมกนีโตกราฟ (magnetograph) สำรวจดวงอาทิตย์ทุกวัน

๑๙๕๓ ดอดสัน เฮดีแมน และ แชมเบอร์ลิน (Chamberlin) ได้พบอนุภาคที่มีพลังงานสูงส่งออกมาจากการลุกจ้าที่เกิดขึ้นที่ขอบดวง

๑๙๕๕ วาร์วิค (Warwick) ได้ศึกษาระดับสูงสุดและระดับต่ำสุดที่เกิดการลุกจ้า และได้ศึกษาแจกแจงการกระจายของการลุกจ้าที่เกิดที่ระดับสูงต่าง ๆ

๑๙๕๗ – ๑๙๕๘ ได้มีการศึกษาการลุกจ้าร่วมกันในโครงการปีธรณีฟิสิกส์สากล (International Geophysical Year) และหลังจากนั้นก็มีโครงการความร่วมมือทางธรณีฟิสิกส์สากล (International Geophysical Cooperation)

ค.ศ. ๑๙๕๗ วาร์วิค ได้ให้ความหมายของแฟลร์เสอร์จ (flare surge) ว่าเป็นสายธารของแกส ซึ่งเคลื่อนที่ขึ้นมาจากการลุกจ้า และตกลงไปในแนวทางเดิม มีความเร็วสูงสุดน้อยกว่า ๕๐๐ กม/วินาที

๑๙๕๘ บุมบา และ ซีเวอร์นี (Bumba & Severny) เชื่อมั่นว่า การลุกจ้ามีความสัมพันธ์กับสนามแม่เหล็กของกลุ่มจุดบนดวงอาทิตย์ที่เกี่ยวข้อง

–แฮดดอค (Haddock) ได้พบการลุกจ้าทางคลื่นวิทยุ แบบ IV

–ซีเวอร์นี สรุปว่า การลุกจ้าเกิดขึ้นในบริเวณ หรือ ใกล้จุดสะเทินของสนามแม่เหล็กในบริเวณกลุ่มจุดบนดวงอาทิตย์ และในระยะหลัง นักดาราศาสตร์คนอื่น ๆ ก็สนับสนุน เช่น บุมบา (๑๙๕๘) สมิธ และ สมิธ (H.J.Smith & E.v.P.Smith ๑๙๖๐) บรูเซค(๑๙๖๐) มิชาร์ด มูราเดียน และ ซีเมล (Michard, Mouradain & Semel ๑๙๖๑) เป็นต้น

–ซีเวอร์นี และ ชาบานสกี (Severny & Shabansky)ได้ตั้งทฤษฎีการลุกจ้าและจุดสะเทินในสนามแม่เหล็ก

–พิดดิงตัน (Piddington) ได้เสนอแบบจำลองแมกนีโตไฮโดรไดนามิกส์ของการลุกจ้า (Magneto-hydrodynamic flare model) เชื่อว่า คลื่นแอลเฟน เป็นแหล่งพลังงานของการลุกจ้า

๑๙๕๙ วาล์ดเมียร์ ได้วิเคราะห์พบว่าการลุกจ้าจะเกิดอยู่ในแถบที่เกิดจุดบนดวงอาทิตย์

๑๙๖๐ โกล และ ฮอยล์ (Gold & Hoyle)ได้สร้างแบบจำลองของการลุกจ้าว่า มีฟิลาเมนต์สารแม่เหล็กที่ปิด เป็นตัวการสะสมพลังงาน และปล่อยออกมาในโครโมสเฟียร์เป็นการลุกจ้า

๑๙๖๑ สมิธ (Smith, H.J.)ได้วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของการลุกจ้ากับอาณาบริเวณกัมมันต์ พบว่า อาณาบริเวณกัมมันต์ที่มีอายุน้อยจะไม่เกิดการลุกจ้าขนาดใหญ่ และอาณาบริเวณกัมมันต์ที่จะเกิดการลุกจ้าขนาด ๓ และ ๓$^{+}$ จะเป็นอาณาบริเวณกัมมันต์ที่มีอายุยาวนาน และอาณาบริเวณกัมมันต์พวกนี้จะมีการลุกจ้าเกิดมาก

–สตีล และ คณะ (Steel et al) ได้สร้างเครื่องกรองแสงสีเดียวแบบลีโอท ซึ่งมีช่องกว้างให้แสนผ่านเพียง ๑/๘ อังสตรอม

ค.ศ.๑๙๖๓ เอลลิสัน ได้เสนอค่าตัวเลขเกี่ยวกับพลังงานที่การลุกจ้าให้ออกมา และให้ความเชื่อมั่นว่าพลังงานที่มีการลุกจ้าให้ออกมานั้นได้มาจากสนามแม่เหล็กเฉพาะแหล่ง เพราะการลุกจ้าที่เกิดซ้ำเดิมอาจจะมีกลไกสะสมพลังงานไว้ในสนามแม่เหล็กอย่างช้า ๆ

๑๙๖๘ รัสท์ (Rust) ได้ศึกษาพบว่า เสอร์จ และมุสตาชส์ ที่เกิดบริเวณจุดสะเทินในสนามแม่เหล็ก และพบว่า จุดบนดวงอาทิตย์ขนาดใหญ่จะมีจุดบริวารเล็ก ๆ ล้อมรอบ และจะมีสภาพขั้วตรงกันข้ามกับจุดหลัก และพบว่า การลุกจ้ามักจะเกิดขึ้นระหว่างจุดหลักและจุดบริวารนี้

–บรูเซค ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมุสตาชส์และการลุกจ้า เขาเห็นด้วยกับคำกล่าวของเมกแมธ ที่ว่า "ความเกี่ยวข้องของมุสตาชส์กับตำแหน่งและเวลาที่เกิดการลุกจ้า ดูเหมือนว่าจะเป็นความบังเอิญเท่านั้น" บรูเซค สนับสนุนความเห็นอันนี้ และสรุปว่า มุสตาชส์ไม่เกี่ยวข้องกับการลุกจ้า คือ มันเป็นปรากฏการณ์ที่อิสระต่อกัน แต่ภายใต้เงื่อนไขพิเศษบางอย่างมันอาจจะเกี่ยวข้องกันได้

๑๙๖๙ บรูเซค ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการลุกจ้าและปรากฏการณ์ทางแสงอื่นใดที่เกี่ยวข้อง พบว่า เสอร์จส่วนใหญ่จะมีความเกี่ยวข้องกับการลุกจ้าขนาดเล็กที่เกิดขึ้นที่ฐานของเสอร์จ และการลุกจ้าที่มีเสอร์จเกี่ยวข้อง ก็มักจะมีการลุกจ้าทางคลื่นวิทยุ แบบ II และ แบบ III ร่วมด้วย

๑๙๗๒ ฟราเซียร์ (Frazier) ได้ศึกษาโครงสร้างทางสนามแม่เหล็กของระบบฟิลาเมนต์รูปซุ้มโค้ง (Arch Filament System) พบว่า ปลายทั้งสองของฟิลาเมนต์แต่ละเส้นจะฝังอยู่ในสนามแม่เหล็กของโฟโตสเฟียร์ ซึ่งมีสภาพขั้วตรงกันข้าม ในทุกกรณีพบว่า สนามแม่เหล็กเหล่านั้นโผล่ขึ้นมาจากพื้นผิวของดวงอาทิตย์ และพบว่าการลุกจ้าจะเกิดขึ้นในบริเวณเส้นสะเทินระหว่างสนามแม่เหล็ก ๒ สนาม

๑๙๗๔ พรีสท์ และ เฮย์แวร์ท (Priest & Heyvaerts) ได้สร้างแบบจำลองว่า ตัวจุดชนวนการลุกจ้า ก็คือ การที่มีฟลักซ์แม่เหล็กใหม่โผล่ขึ้นมาจากภายใต้ที่ขอบของสนามแม่เหล็กเก่า

เกิดการอัดกันระหว่างสนาม ๒ สนาม ทำให้เกิดการไม่เสถียรภาพของพลาสมา เป็นตัวจุดชนวนทำให้เกิดการลุกจ้า

–ฮิรายามา (Hirayama) ได้ศึกษาการลุกจ้าเป็นจำนวนมาก และสรุปว่า การลุกจ้าส่วนใหญ่ จะเป็นการลุกจ้าแบบ ๒ แถบ และเขาได้เสนอแนะแบบจำลองของการลุกจ้าแบบการระเหย

–มิชาลิทสาโนส์ และ คัปเฟอร์มาน (Michalitsanos & Kupferman) ได้พบการลุกจ้าแบบ ๒ แถบ ขนาด ๓N เกิดขึ้นไม่เกี่ยวข้องกับจุดบนดวงอาทิตย์เลย คือ เกิดขึ้นในบริเวณที่ไม่มีจุดบนดวงอาทิตย์ แต่ไม่สามารถสรุปถึงการเกิดการลุกจ้าอันนี้ได้

–ฟิดดิงตัน ได้เสนอทฤษฎีคลื่นแอลเฟนของการลุกจ้า และเสนอกราฟพลังงานทั้งหมดของการลุกจ้า

ค.ศ.๑๙๗๕ ซิริน และ ลาซาเรฟฟ์ (Zirin & Lazareff) ได้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ของจุดบนดวงอาทิตย์ กับการลุกจ้า และการลุกจ้าทางคลื่นวิทยุ แบบ III พบว่า การลุกจ้าที่เกิดมีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของจุดบนดวงอาทิตย์ที่เพิ่งจะเกิดขึ้นมา ซึ่งหมายถึงว่ามีฟลักซ์แม่เหล็กใหม่เพิ่งจะโผล่ขึ้นมา

๑.๓ วัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษาวิจัยเรื่องการลุกจ้าบนดวงอาทิตย์

การศึกษาวิจัยเรื่องการลุกจ้า หรือ การระเบิดบนดวงอาทิตย์ มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาวิจัยธรรมชาติของปรากฏการณ์การลุกจ้าซึ่งเกิดขึ้นในบรรยากาศระดับโครโมสเฟียร์ของดวงอาทิตย์ ทั้งนี้โดยจะพยายามศึกษาถึงขั้นตอนต่าง ๆ ของปรากฏการณ์ตั้งแต่เริ่มต้น จนถึงขั้นสุดท้าย และจะศึกษาการเคลื่อนที่ของสสารซึ่งอาจจะถูกส่งออกมาพร้อมกับการลุกจ้านั้น รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างต่าง ๆ บนดวงอาทิตย์ อันสืบเนื่องมาจากการลุกจ้าที่เกิดขึ้นนั้น

๑.๔ ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษาวิจัยเรื่องการลุกจ้าบนดวงอาทิตย์

เมื่อมีการลุกจ้าบนดวงอาทิตย์เกิดขึ้น ดวงอาทิตย์จะให้พลังงาน และแผ่รังสีออกมาจาก

บริเวณนั้นมากกว่าปกติมาก พวกรังสี ได้แก่ รังสีอุลตราไวโอเลต รังสีเอกซ์ และ อนุภาคที่มีความเร็วสูง มีผลกระทบกระเทือนต่อโลกเราในหลายทาง มีปริมาณรังสีในบรรยากาศโลกเพิ่มขึ้นมาก บางส่วนมารบกวนบรรยากาศของโลก ทำให้เกิดการปั่นป่วนในระดับไอโอโนสเฟียร์ รบกวนการ ส่ง – รับ คลื่นวิทยุบนพื้นโลก หรือบางครั้ง การ ส่ง – รับ คลื่นวิทยุถึงกับหยุดชงัก ทำให้เกิดการปั่นป่วนในสนามแม่เหล็กโลก หรือที่เรียกว่าทำให้เกิดพายุแม่เหล็ก ปัจจุบันได้มีการส่งมนุษย์ขึ้นไปสำรวจในห้วงอวกาศ อาจจะได้รับอันตรายจากรังสี หรือเกิดขัดข้องในระบบการติดต่อสื่อสาร และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในระยะที่โลกอยู่ในภาวะความตึงเครียก ใช้พวกคลื่นในการติดต่อสื่อสาร และคอยระวังตรวจตราข้าศึก พวกเหล่านี้จะใช้ไม่ได้ผล เมื่อเกิดการลุกจ้าขนาดใหญ่บนดวงอาทิตย์ ปัจจุบันมนุษย์ยังไม่มีความรู้เพียงพอเกี่ยวกับการลุกจ้า ทั้งในแง่ของกลไกการเกิด และการเพิ่มพลังงานจำนวนมหาศาลที่ส่งออกมา ยังไม่สามารถจะทำนายล่วงหน้าถึงการเกิดการลุกจ้าบนดวงอาทิตย์ได้ การศึกษาวิจัยนี้ จึงเป็นรากฐานที่จะเพิ่มพูนความรู้เรื่องการลุกจ้าบนดวงอาทิตย์ ซึ่งจะมีประโยชน์ในระยะยาว เกี่ยวกับการสื่อสารคมนาคมวิทยุบนพื้นโลก และยังจะทำให้เข้าใจธรรมชาติของดวงอาทิตย์เพิ่มขึ้นอีกด้วย

๑.๕ วิธีการที่จะดำเนินการศึกษาวิจัยเรื่องการลุกจ้าบนดวงอาทิตย์

วิธีการที่จะดำเนินการศึกษาวิจัยเรื่องการลุกจ้าบนดวงอาทิตย์นี้ ใช้กล้องโทรทัศน์สำรวจดวงอาทิตย์โดยเฉพาะ ประกอบกับเครื่องกรองแสงพิเศษ ถ่ายรูปของดวงอาทิตย์โดยเฉพาะในบริเวณใกล้จุด หรือกลุ่มจุดบนดวงอาทิตย์ ในแสงไฮโดรเจนอัลฟา ทำการเปลี่ยนแปลงขนาดความยาวคลื่นไปรอบ ๆ จุดกลางของเส้นไฮโดรเจนอัลฟา เพื่อให้ได้รูปของดวงอาทิตย์ในระดับสูงต่าง ๆ กันของโครโมสเฟียร์ และเมื่อมีการลุกจ้าเกิดขึ้น ก็จะได้บันทึกข้อมูลเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของสสารบนดวงอาทิตย์ไว้ได้ด้วย โดยอาศัยหลักการของดอปป์เลอร์ เลือกข้อมูลที่มีปรากฏการณ์การลุกจ้ามาใช้วิเคราะห์ เพื่อหาหลักเกณฑ์ของการเกิดการลุกจ้าบนดวงอาทิตย์