หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

# บทนำ

ดวงอาทิตย์เป็นศูนย์กลางของระบบสุริยะที่มีโลกของเราเป็นบริวารดวงหนึ่ง ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานรากฐานที่มีส่วนสำคัญต่อการเกิด การดำรงอยู่และวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตซึ่งหมายรวมถึงมนุษย์ด้วย ดวงอาทิตย์เป็นดาวฤกษ์ที่อยู่ใกล้กับโลกมากที่สุด การศึกษาดวงอาทิตย์ในแง่มุมต่าง ๆ จึงเป็นงานที่น่าสนใจและนับได้ว่ามีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับความเป็นมาและจะเป็นไปของมนุษย์

จากจุดเริ่มต้นการศึกษาดวงอาทิตย์ในฐานะลูกไฟดวงโตที่เป็นต้นกำเนิดแสงสว่างต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิต และจากการศึกษาปรากฏการณ์บนท้องฟ้าเช่น สุริยุปราคา ด้วยตาเปล่ามนุษย์ให้ความสนใจและกระตือรือล้นที่จะทำความเข้าใจเกี่ยวกับดวงอาทิตย์โดยลึกซึ้ง

หลังจากมีการประดิษฐ์กล้องโทรทัศน์ขึ้นสำเร็จการศึกษาดวงอาทิตย์ก็กว้างขวางยิ่งขึ้น และเมื่อนิวตันพบว่าแสงขาวจากดวงอาทิตย์สามารถแยกออกเป็นแสงสีต่าง ๆ ได้ ประกอบกับการค้นพบเส้นมืดของฟรอนฮอฟเฟอร์และกฎของเคอร์ชอฟ การศึกษาดวงอาทิตย์ด้วยสเปกโตรกราฟจึงได้เริ่มต้นและพัฒนามาเป็นลำดับ

เมื่อได้พิจารณาอุปกรณ์หลักคือสเปกโตรกราฟแบบลิตโทรว์ที่มีอยู่ในภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬา ฯ แล้วจึงได้มีความดำริที่จะริเริ่มการศึกษาดวงอาทิตย์ด้วยสเปกโตรกราฟขึ้น โดยตั้งความหวังว่าจะได้เรียนรู้เทคนิคและวิธีการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาถึงขั้นใช้สเปกโตรกราฟที่มีเกรตติง (grating) เป็นตัวกระจายแสงซึ่งมีประสิทธิภาพสูงขึ้น และจะทำให้สามารถขยายทั้งขอบเขตและคุณภาพของการศึกษาด้านสเปกตรัมดวงอาทิตย์ในประเทศไทยได้กว้างขึ้นไปอีกในโอกาสต่อ ๆ ไป

1. วัตถุประสงค์

1.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางทัศนศาสตร์ของสเปกโตรกราฟแบบลิตโทรว์ของภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 เพื่อศึกษาหาเทคนิคการได้มาซึ่งสเปกตรัมของอาณาบริเวณสงบและอาณาบริเวณกัมมันต์ในบรรยากาศของดวงอาทิตย์จากสเปกโตรกราฟแบบลิตโทรว์นี้

1.3 เพื่อศึกษาข้อมูลบางส่วนจากสเปกตรั:

2. วิธีดำเนินงาน

เพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์ข้างต้นได้ทำงานวิจัยโดยมีขั้นตอนการดำเนินงานเป็นลำดับดังนี้

2.1 ศึกษาเพื่อหาข้อมูลของปริซึมซึ่งใช้เป็นตัวกระจายแสงในสเปกโตรกราฟโดยใช้สเปกโตรมิเตอร์

2.2 ศึกษาและฝึกฝนการล้าง อัด ขยายภาพ ที่ได้จากการถ่ายภาพของกล้องถ่ายรูปเพื่อนำเทคนิคไปใช้ในการถ่ายสเปกตรัมของดวงอาทิตย์

2.3 จัดเรียงสเปกโตรกราฟและกล้องโทรทัศน์เพื่อให้ได้สเปกตรัมของดวงอาทิตย์ในอาณาบริเวณกัมมันต์และบริเวณสงบ

2.4 ปรับปรุงห้องมืดเพื่อการถ่ายสเปกตรัม

2.5 ทดลองการบันทึกเส้นสว่างของสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน เพื่อใช้ในการคำนวณหาความยาวคลื่นของสเปกตรัมของดวงอาทิตย์

2.6 นำฟิล์มที่บันทึกภาพสเปกตรัมที่ได้ไปสแกน (Scan) ด้วยเครื่องไมโครเดนซิโตมิเตอร์ มิเตอร์ เพื่อใช้ในการศึกษาข้อมูล

2.7 ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล

3. ประวัติการศึกษาเกี่ยวกับดวงอาทิตย์

มนุษย์ได้ศึกษาดวงอาทิตย์ในฐานะลูกไฟดวงใหญ่ที่ให้แสงสว่างและความร้อนในเวลากลางวัน ต่อมาการศึกษาอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ได้กำเนิดขึ้นเมื่อกาลิเลโอ (Galileo) ประดิษฐ์กล้องโทรทัศน์ขึ้นใช้สำรวจวัตถุท้องฟ้าในปี ค.ศ. 1610 จากนั้นมนุษย์ได้ศึกษาดวงอาทิตย์โดยผ่านทางกล้องโทรทัศน์หลาย ๆ แบบจนถึงโทรทัศน์วิทยุ (Radio Telescope) และได้นำอุปกรณ์ทางทัศนศาสตร์ (Optics) และอื่น ๆ มาประกอบเพื่อขยายขอบเขตการศึกษาดวงอาทิตย์ให้กว้างยิ่งขึ้นไปอีก

ปัญหาที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับดวงอาทิตย์ในแง่ทางฟิสิกส์นั้นอาจแบ่งได้เป็นสามแขนงใหญ่ ๆ คือ หนึ่งศึกษาโครงสร้างของใจกลางดวงอาทิตย์ สองศึกษาโครงสร้างของบรรยากาศ และสามศึกษาเกี่ยวกับธรรมชาติและแหล่งกำเนิดของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นชั่วคราวบนดวงอาทิตย์รวมทั้งความสัมพันธ์ระหว่างโลกและดวงอาทิตย์

นับจากการเริ่มต้นของกาลิเลโอในปี 1610 ได้มีการค้นพบที่สำคัญทางฟิสิกส์ของดวงอาทิตย์มากมาย ในที่นี้จะได้สรุปแนวทางการศึกษาค้นคว้าที่สำคัญ ๆ เพื่อเป็นการรวบรวมผลงานและความรู้เกี่ยวกับดวงอาทิตย์จนถึงปัจจุบัน โดยเน้นทางด้านเกี่ยวกับสเปกตรัม (spectrum) เป็นหลัก

ในปี 1611 กาลิเลโอทำการสังเกตทางกายภาพของดวงอาทิตย์หลังการประดิษฐ์กล้องโทรทัศน์พบจุดบนดวงอาทิตย์ (sunspot) และยังได้อธิบายการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกของจุดซึ่งเป็นไปอย่างมีกฎเกณฑ์ นอกจากนั้นยังสามารถบันทึกคาบการหมุนรอบตัวเองของดวงอาทิตย์ว่าประมาณเท่า ๆ กับเดือนทางจันทรคติ (lunar month) จากนั้นสองร้อยปีต่อมาเป็นการศึกษาเกี่ยวข้องกับจุดบนดวงอาทิตย์

ปี 1611 เดียวกันนั้นเอง ไชเนอร์ (Scheiner) ตีพิมพ์ผลงานแสดงการหมุนรอบตัวเองของดวงอาทิตย์และการเอียงของแกนของการหมุนต่อสุริยะวิถี (ecliptic) และก่อนปี 1630 ไชเนอร์ยังพบอีกว่าคาบของการหมุนรอบตัวเองของดวงอาทิตย์ที่ได้จากสังเกตการณ์ที่บริเวณเส้นศูนย์สูตร (equator) มีค่าน้อยกว่าคาบที่ได้จากการสังเกตจุดที่อยู่เหนือหรือใต้เส้นศูนย์สูตร

ปี 1666 นิวตัน (Newton) พบว่าแสงขาวจากดวงอาทิตย์สามารถแยกออกเป็นแถบของแสงสีต่าง ๆ ได้ด้วยปริซึม สเปกตรัมของดวงอาทิตย์ในช่วงมองเห็นได้ (visible) จึงถูกค้นพบเป็นครั้งแรก

ต่อมาในปี 1814 ฟรอนฮอฟเฟอร์ (Fraunhofer) ตีพิมพ์ผลงานแสดงลักษณะของสเปกตรัมของดวงอาทิตย์ซึ่งเมื่อสังเกตด้วยตาจากสเปกโตรสโคป (spectroscope) จะปรากฏเส้นมืดแทรกระหว่างแถบสว่างมากมาย ฟรอนฮอฟเฟอร์บันทึกไว้ว่ามีถึง 574 เส้น การค้นพบนี้นับเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญยิ่งของการศึกษาสเปกตรัมของดวงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามเส้นมืดในสเปกตรัมนี้ในปี 1802 วอลลาสตัน (Wallaston) ได้พบแต่ให้คำอธิบายว่าเป็นเส้นแยกแสงสีต่าง ๆ ออกจากกันซึ่งเป็นคำอธิบายที่ไม่ถูกต้อง เส้นมืดในสเปกตรัมของดวงอาทิตย์ได้รับการเรียกชื่อต่อมาว่าเส้นฟรอนฮอฟเฟอร์

ปี 1826 ซีเบค (Seebeck) เริ่มต้นขยายการศึกษาสเปกตรัมไปสู่รังสีอินฟราเรดโดยการวัดรังสีนี้ด้วยแผ่นโลหะคู่ที่ให้กระแสไฟฟ้าจากความร้อน (thermocouple) หลังจากการค้นพบรังสีอินฟราเรดของ เฮอร์เชลส์ (Herschels) ในตอนต้นคริสตศตวรรษที่ 19 ต่อมาปี 1831 โนบิลไล (Nobilli) ใช้วิธีเดียวกับซีเบคแต่มีแผ่นโลหะเป็นอนุกรมซึ่งสามารถวัดแถบได้กว้างขึ้นในเวลาพร้อม ๆ กัน

ปี 1836 ฟอร์เบส (Forbes) ใช้ช่วงเวลาขณะเกิดสุริยุปราคาแบบวงแหวน (Annular Eclipse) ในปีนั้น สังเกตการณ์ดวงอาทิตย์ขณะเกิดสุริยุปราคาเป็นครั้งแรก หลังจากที่มีการเห็นคอโรนา (corona) และโปรมิเนนซ์ (prominences) มานานแต่ยอมรับกันว่าทั้งสองสิ่งเกิดจากดวงจันทร์และหรือเพราะบรรยากาศของโลก

ในปี 1843 ชวาเบ (Schwabe) พบว่าการเกิดจุดบนดวงอาทิตย์มีคาบของการเกิดประมาณ 11 ปี ซึ่งต่อมาค่าที่แน่นอนได้รับการเสนอโดย วูฟ (Wolf) ว่าเป็น 11.1 ปี หลังจากนั้น คาร์ริงตัน (Carrington) ได้ทำการสังเกตจุด

บนดวงอาทิตย์จาก 9 พฤศจิกายน 1853 ถึง 24 มีนาคม 1861 พบว่าการหมุนรอบตัวเองของดวงอาทิตย์แปรค่าตามละติจูด (latitude) ดังสมการ

$$\omega = 14^{\circ}.42 - 2^{\circ}.75 \sin^{7/4}\phi \quad \text{(Goldberg, 1953)} \quad (1.1)$$

โดยที่ $\omega$ คือความเร็วเชิงมุมของการหมุนรอบตัวเอง องศาต่อวัน

$\phi$ คือตำแหน่งละติจูด

สมการแสดงการแปรค่าการหมุนรอบตัวเองของดวงอาทิตย์กับละติจูดนี้มีผู้แก้ไขต่อมาอีกหลายครั้ง ค่าที่ยอมรับในปัจจุบันโดยเอลเลน (Allen, 1973) คือ

$$\omega = 14^{\circ}.44 - 3^{\circ}.0 \sin^{2}\phi \quad (1.2)$$

หลังจากงานของคาร์ริงตันไม่นาน สปอเรอร์ (Sporer) ได้ตั้งกฎการแปรค่าละติจูดของจุดและรอบ 11 ปี (11-year cycle) ซึ่งต่อมา มานเดอร์ (Maunder) ได้ทำให้แลเห็นภาพชัดเจนขึ้นด้วยการทำเป็นแผนภาพรูปผีเสื้อนับเป็นผลงานอันมีชื่อเสียง โดยทำสำเร็จในต้นปี 1904

ปี 1851 ลามอนท์ (Lamont) เริ่มต้นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโลกและดวงอาทิตย์ เมื่อพบว่าสนามแม่เหล็กโลกมีการแปรเปลี่ยนที่คาดการณ์ได้ และต่อมา ซาบีน (Sabine) พบความสัมพันธ์นี้กับรอบของจุดบนดวงอาทิตย์ (sunspot cycle) จากนั้นในระยะเวลากว่า 28 ปี มานเดอร์ พบว่ามีพายุแม่เหล็กบนโลกที่แรงจัดโดยมีความเกี่ยวเนื่องกับการเกิดกลุ่มจุดขนาดใหญ่มากที่เมอริเดียนกลาง (central meridian)

ในปี 1859 เคอร์ชอฟ (Kirchhoff) อธิบายการเกิดเส้นมืดในสเปกตรัมของดวงอาทิตย์ว่าเป็นการดูดกลืนของธาตุในบรรยากาศที่เย็นกว่าจากสเปกตรัมต่อเนื่อง (continuous) ซึ่งเกิดจากบริเวณที่ร้อนที่อยู่ลึกลงไปในตัวดวง นับได้ว่า

เป็นการเริ่มต้นการวิเคราะห์สเปกตรัมของดวงอาทิตย์ นอกจากนี้เคอร์ชอพยังได้ศึกษาเชิงคุณภาพ (qualitative) ของสเปกตรัมวาบ (flash spectrum) ที่ได้ขณะเกิดสุริยุปราคา

ในปี 1859 เช่นกัน คาร์ริงตันกับฮอดก์สัน (Hodgson) และยังก์ (Young) ในปี 1872 ทำการสังเกตด้วยตา (visual observation) พบการลุกจ้า (flares) ของดวงอาทิตย์ในแสงขาวและแสงสีแดง ($H_\alpha$) ตามลำดับ การเกิดการลุกจ้าที่พบนี้ปรากฏว่ามีการรบกวนต่อสนามแม่เหล็กของโลกด้วย

ปี 1960 มีการถ่ายภาพโปรมิแนนซ์ที่ชัดเจนได้สำเร็จ และ เด ลา รู (De la Rue) กับ เซคชิ (Secchi) ได้แสดงว่าโปรมิเนนซ์มีแหล่งกำเนิดบนดวงอาทิตย์ไม่ใช่เป็นผลจากภาพลวงตา เนื่องจากขอบของดวงจันทร์ตามที่มีนักดาราศาสตร์บางคนเคยแสดงความคิดเห็นไว้

ต่อมาในปี 1868 แจนส์เซน (Janssen) และลอคเยอร์ (Lockyer) ต่างค้นพบวิธีเห็นโปรมิแนนซ์ในภาวะปรกติ (เดิมต้องรอให้เกิดสุริยุปราคา) โดยการใช้สเปกโตรสโคปที่เปิดสลิตกว้าง นับเป็นการเริ่มต้นสังเกตดวงอาทิตย์ในแสงสีเดียว (monochromatic light)

ปีต่อมา ฮาร์คแนส (Harkness) และยังก์ สังเกตการณ์การเกิดสุริยุปราคาที่อเมริกาเหนือพบเส้นเปล่งแสงสีเขียวของคอโรนา (Green coronal emission line) ที่ความยาวคลื่น 5303 อังสตรอม (Angstrom) นับเป็นเส้นสเปกตรัมของคอโรนาเส้นแรกที่มีชื่อเสียงที่พบซึ่งไม่อาจจำแนกได้ (identify) เป็นเวลากว่า 70 ปี

ในปี 1870 ระหว่างเกิดสุริยุปราคา ยังก์สังเกตพบสเปกตรัมวาบและเสนอว่ามีบรรยากาศชั้นโครโมสเฟียร์อยู่ ส่วนล่างของโครโมสเฟียร์ในบทความทางวิชาการสมัยก่อนเรียกว่า "ชั้นกลับ" (reversing layer) ต่อมาไม่ใคร่นิยมใช้มากนัก

การเกิดสุริยุปราคาในปี 1871 ก่อให้เกิดสิ่งน่าจดจำจากการสังเกตของแจนส์เซน พบเส้นฟรอนฮอฟเฟอร์ในสเปกตรัมจากคอโรนา จากกรณีนี้และความรู้เก่าที่มีอยู่แสดงว่า การเปล่งแสงของคอโรนาเกิดมาจากดวงอาทิตย์ไม่ใช่เกิดจากดิฟแฟรคชั่น (diffraction) ของแสงที่ผิวซึ่งไม่เรียบของดวงจันทร์หรือเนื่องมาจากบรรยากาศของโลก ระหว่างการเกิดสุริยุปราคาเดียวกันนี้เองลอคเยอร์ทำการหาความสูงของก๊าซของดวงอาทิตย์เป็นครั้งแรก โดยวัดความยาวของส่วนโค้งของเส้นเปล่งแสงซึ่งสังเกตโดยสเปกโตรสโคปที่ไม่มีสลิต ด้วยวิธีนี้พบว่าเส้นสีเขียวของคอโรนาขยายออกไปสูงถึง 500,000 กิโลเมตร การพบลำคอโรนา (coronal streamer) ของลอคเยอร์และของคนอื่น ๆ ในเวลาต่อมาก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการพยุงของบรรยากาศซึ่งไม่อาจแก้ได้จนกระทั่งเอดเลน (Edlen) พบว่าคอโรนามีอุณหภูมิที่สูงมากในปี 1941

ในปี 1873 ฮาสติงส์ (Hastings) ทำการสังเกตด้วยตาเกี่ยวกับสเปกตรัมของขอบดวง

ปี 1877 ฮักกินส์ (Huggins) และโดยเฉพาะคือ เซคชี ได้นำเทคนิคของแจนส์เซนเมื่อ 1868 มาใช้ในการสังเกตโครโมสเฟียร์และโปรมิแนนซ์ จากวิธีนี้ เซคชีพบโครงสร้างแบบพวยพุ่ง (jet) ของชั้นโครโมสเฟียร์

ความสัมพันธ์ระหว่างรูปร่างของคอโรนาและรอบของจุดบนดวงอาทิตย์ถูกค้นพบขณะเกิดสุริยุปราคาในปี 1878 ทั้งนี้โดยเริ่มจากการเกิดสุริยุปราคาเมื่อปี 1871 คอโรนามีรูปร่างเกือบกลม แต่ในปี 1878 นี้พบว่ารูปร่างของคอโรนามีการขยายออกตามแนวเส้นศูนย์สูตรระยะเวลานี้เป็นระยะที่มีจุดน้อยที่สุด ในขณะมีจุดมากที่สุดนั้นมีลำคอโรนาออกไปจากตัวดวงในหลายทิศทางทำให้มีรูปร่างกลมเป็นระยะทางกว้างไกลออกไปจากตัวดวงและเป็นไปไม่ได้ที่จะบอกว่าแกนของดวงอาทิตย์อยู่ในแนวใด ส่วนในขณะเกิดจุดน้อยมีลำคอโรนามากที่ละติจูดต่ำกว่า 60 องศา จึงสังเกตชั้วด้วยการดูความสั้นของลำคอโรนา นอกจากนี้ยังพบลักษณะที่แสดงคล้ายเส้นแรงของสนามแม่เหล็กของลำคอโรนาด้วย และยังพบอีกว่าความเข้มของเส้นไฮโดรเจนและเส้นสเปกตรัมของคอโรนาลดลงอย่างมากขณะมีจุดบนดวงอาทิตย์น้อยที่สุด

ก่อนจะสิ้นสุดศตวรรษที่ 19 ได้มีการพัฒนาการถ่ายภาพขึ้นอย่างมากประกอบกับเทคนิคทางทัศนศาสตร์สำหรับดาราศาสตร์ทำให้การศึกษาดวงอาทิตย์ในระดับบรรยากาศต่าง ๆ เริ่มพัฒนาไปอย่างมากโดยเฉพาะการถ่ายภาพขณะเกิดสุริยุปราคา

ในปี 1881 เดรเปอร์ (Draper) สามารถถ่ายภาพสเปกตรัมดวงอาทิตย์ในช่วงอินฟราเรดเป็นผลสำเร็จ ต่อมาในปี 1886 แอบเน่ (Abney) ใช้เกรตติงชนิดเว้า (concave grating) ถ่ายสเปกตรัมในช่วงอินฟราเรดจากความยาวคลื่น 0.69 ถึง 1 ไมครอน (micron) หลังจากนั้นมีผู้พยายามถ่ายภาพให้ได้ช่วงความยาวคลื่นมากขึ้นไปอีกจนถึง 20 ไมครอน

ปี 1888 แลงเลย์ (Langley) ได้ข้อมูลของสเปกตรัมในช่วงรังสีอุลตราไวโอเลต (ultraviolet) จาก 0.3 ไมครอนจนถึง 5.3 ไมครอน

ในปี 1891 ดูเนอร์ (Duner) ใช้วิธีการทางสเปกโตรสโคปิค (spectroscopic) วัดการหมุนรอบตัวเองของดวงอาทิตย์ได้เป็นครั้งแรก

ปี 1897 ถือได้ว่าเป็นปีที่สำคัญสำหรับงานศึกษาสเปกตรัมของดวงอาทิตย์ เมื่อโรว์แลนด์ (Rowland) ได้ทำแผนที่สเปกตรัมจากความยาวคลื่น 2975 ถึง 7331 เป็นผลสำเร็จ ทั้งนี้เป็นผลจากการประดิษฐ์เกรตติงชนิดเว้าสำเร็จก่อนหน้านี้ ทำให้สามารถกระจายแสงจากดวงอาทิตย์ออกจากกันได้ดีกว่าปริซึม ต่อมาโรว์แลนด์ได้จัดทำตารางแสดงความยาวคลื่นและความเข้มของเส้นซึ่งเป็นรากฐานสำคัญของการศึกษาฟิสิกส์ดาราศาสตร์ (Astrophysics) ของชั้นกลับของโครโมสเฟียร์

ช่วงเวลาที่เรียกได้ว่าเป็นยุคใหม่ของการวิจัยเกี่ยวกับดวงอาทิตย์เริ่มต้นในปี 1981 เมื่อเฮลได้สร้างอุปกรณ์สำหรับให้ภาพในแสงสีเดียวโดยหลักของสเปกโตรกราฟที่เรียกว่าสเปกโตรเฮลิโอกราฟ (spectroheliograph) เป็นผลสำเร็จได้ภาพแสงสีเดียวหรือสเปกโตรเฮลิโอแกรม (spectroheliogram) ของดวงอาทิตย์ซึ่งปรากฏมีโปรมิแนนซ์อยู่ด้วยในแสงเส้น 3968.49 (เส้น H) และ 3933.68 อังสตรอม (เส้น K) จากนั้นในปี 1906 เฮลและอดามส์ (Adams) สามารถถ่ายภาพสเปกตรัมของจุดบนดวงอาทิตย์ซึ่งมีการกระจายแสงสูง (high dispersion) เป็นผลสำเร็จ มีผู้ให้แนว

ความคิดว่าจุดตั้งอยู่บนบริเวณที่มีความสามารถในการดูดกลืน (absorptivity) แสงที่สูงมาก เฮลพบว่าไม่เพียงแต่เส้นสเปกตรัมในจุดมีการกว้างขึ้น (widen) แต่เส้นโลหะบางเส้นมีความเข้มมากขึ้นขณะที่บางเส้นมีความเข้มลดลงและจางหายไปเขาเสนอแนวความคิดว่าจุดมีอุณหภูมิต่ำกว่าชั้นกลับของโครโมสเฟียร์

ในปี 1906 เดียวกันนั้นเอง เฮล และ อดามส์ พบว่ามีความคล้ายคลึงกันระหว่างสเปกตรัมของจุดและดาวฤกษ์ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าดวงอาทิตย์

การมีอุณหภูมิที่ต่ำของจุดบนดวงอาทิตย์ได้รับการยืนยันจากการค้นพบที่ว่าในสเปกตรัมของจุดมีแถบเนื่องจากโมเลกุล (molecular band) ของไตตาเนียมออกไซด์ (Titanium oxide) โดยเฮลและอดามส์ในปี 1907 และพบว่ามีแถบของแมกนีเซียมไฮดรายน์ (Magnesium hydride) โดยโอล์มสเตด (Olmsted) ในปี 1909 นั่นแสดงให้เห็นว่ามีความจำเป็นจะต้องจัดให้มีห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาปรากฏการณ์สำหรับเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการสังเกตดวงอาทิตย์

ปี 1907 หลังจากการศึกษาจุดบนดวง เฮล และ อดามส์ เริ่มถ่ายภาพสเปกตรัมของขอบดวงอาทิตย์ต่อเนื่องจากงานศึกษาด้วยตาของ ฮาสติงส์ ในปี 1873 ผลจากการศึกษาเบื้องต้นนี้ทำให้ได้ข้อสรุป 5 ประการคือ (1) เส้นส่วนใหญ่ที่เข้มมากขึ้นในจุดจะเข้มมากขึ้นที่ขอบดวงด้วย (2) เส้นส่วนใหญ่ที่จางลงในจุดจะจางลงที่ใกล้ขอบดวงด้วย (3) ปีกของเส้น (line wings) มีแนวโน้มละลดลงที่ใกล้ขอบดวง (4) เส้นส่วนใหญ่ของสเปกตรัมจะกว้างออกเล็กน้อยตรงใกล้ขอบดวง (5) ส่วนใหญ่ของเส้นโลหะเลื่อน (shifted) ไปหาสีแดงโดยเทียบกับตำแหน่งของเส้นที่กึ่งกลางดวง

ต่อมาปี 1908 เฮล ถ่ายภาพได้สเปกโตรเฮลิโอแกรมของดวงอาทิตย์ในแสงสีแดง 6562.81 อังสตรอม พบลักษณะแบบไหลวนของฟิลาเมนต์ (filament) ในบริเวณใกล้จุด การปรากฏลักษณะไหลวนทำให้เฮลคิดว่ามีการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าและทำให้เกิดสนามแม่เหล็กในบริเวณใกล้จุด จากแนวความคิดอันนี้ เฮลได้พบว่าองค์ประกอบของเส้นคู่ (double lines) ในสเปกตรัมของจุดเป็นผลจากการโปลาไรซ์แบบวงกลม (circularly polarized) ด้วยทิศทางที่ตรงกันข้าม ปีเดียวกันนั้นเอง

เซล ได้สังเกตพบการมีอยู่ของซีแมน เอฟเฟค (Zeeman Effect) ในสเปกตรัมของจุดเป็นผลให้มีการยอมรับการมีอยู่ของสนามแม่เหล็กในจุดบนดวงอาทิตย์ ทั้งนี้เพราะผลของซีแมนคือการที่เส้นสเปกตรัมมีการแตกออกอันเนื่องมาจากอะตอมที่ให้เส้นนั้น ๆ อยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กที่แรงมากพอ

การค้นพบสนามแม่เหล็กในจุดจากการพบรูปแบบการไหลวนของฟิลาเมนต์ในแสงสีแดงทำให้ในปีต่อมาคือ 1909 เอเวอร์เชด (Evershed) พยายามที่จะวัดการไหลวนโดยใช้การเคลื่อนดอปเปลอร์ (Doppler displacement) ของเส้นของเหล็กในจุดที่อยู่ใกล้ขอบดวง แม้ว่าจะไม่พบการมีอยู่ของการเคลื่อนที่แบบไหลวนรอบแกนที่ตั้งฉากกับผิว แต่การสังเกตของเอเวอร์เชดทำให้พบการไหลออกของก๊าซจากจุดในแนวรัศมีโดยความเร็วของก๊าซมากขึ้นเรื่อย ๆ จากเงามืด (umbra) ของจุดสู่ค่ามากที่สุดประมาณ 2 กิโลเมตรต่อวินาทีที่บริเวณนอกเงามัว (penumbra)

อย่างไรก็ตามเมื่อเอเวอร์เชดวัดที่เส้น $H_3$ และเส้น $K_3$ ซึ่งสันนิษฐานว่ามีแหล่งกำเนิดมาจากโครโมสเฟียร์ชั้นสูง ผลได้ค่าคล้ายกับเส้นของเหล็กแต่ว่ามีทิศทางตรงกันข้าม กล่าวง่าย ๆ คือที่เส้นเหล็กพบว่ามีการไหลออกของก๊าซจากจุดตามแนวรัศมี แต่สำหรับเส้นอีกสองเส้นดังกล่าวมีการไหลเข้าของก๊าซตามแนวรัศมีและด้วยอัตราเร็วเท่า ๆ กัน การไหลเข้าออกของก๊าซในจุดนี้เรียกต่อมาว่า เอเวอร์เชด เอฟเฟค (Evershed effect)

ในปีเดียวกับการค้นพบ เอเวอร์เชด เอฟเฟค คิง (King) ได้เริ่มงานค้นคว้าในห้องปฏิบัติการณ์ในภูเขาวิลสัน (Mount Wilson) เพื่อจำแนกเส้นสเปกตรัมตามอุณหภูมิ โดยใช้แหล่งกำเนิดที่เผาให้ร้อนด้วยเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ แล้วศึกษาลักษณะของเส้นสเปกตรัม จากงานอันนี้ทำให้การวิเคราะห์สเปกตรัมของดวงอาทิตย์และดวงดาวเป็นไปโดยสะดวกยิ่งขึ้น

ในปี 1910 เซนต์ จอห์น (St. John) ผู้ศึกษา เอเวอร์เชด เอฟเฟค อย่างจริงจังต่อมา ได้พบการไหลวนโดยทั่วไปของโครโมสเฟียร์โดยการศึกษาการเคลื่อนของตำแหน่งของเส้นต่าง ๆ ของ H และ K เขาพบว่าความยาวคลื่นของเส้น $K_3$

เพิ่มอย่างสม่ำเสมอจากขอบสู่กึ่งกลางในลักษณะที่แสดงว่ามีการเคลื่อนที่ลาดต่ำลงด้วยความเร็วเฉลี่ย 1.14 กิโลเมตรต่อวินาที ในทางตรงกันข้ามสำหรับเส้นเปล่งแสง $K_2$ แสดงให้เห็นว่าความยาวคลื่นลดลงจากขอบสู่ใจกลางเทียบได้กับความเร็วในแนวขึ้น (ไหลขึ้น) ด้วยความเร็ว 1.97 กิโลเมตรต่อวินาที การค้นพบนี้แสดงว่ามีการไหลวนของโครโมสเฟียร์จากชั้นล่างขึ้นสูงและชั้นบนลงข้างล่างอย่างเป็นระบบ

จากนั้นอีกสามปี เซนต์ จอห์น ก็ได้เสนอผลงานจากการศึกษารายละเอียดของเอเวอร์เชด เอฟเฟค จากการศึกษาเส้นต่าง ๆ 506 เส้นจากธาตุต่าง ๆ 27 ธาตุ สรุปผลได้ดังนี้ การเคลื่อนตำแหน่งของเส้นเป็นสัดส่วนกับความยาวคลื่นจึงยืนยันว่าเป็นผลที่เรียกว่า ดอปเปลอร์ เอฟเฟค (Doppler effect) จริง และยังยืนยันผลงานของเอเวอร์เชด กล่าวคือพบว่าก๊าซมีการไหลตามแนวสัมผัสกับพื้นผิวและไหลในแนวรัศมีจากแกนของวังวนของจุด (spot vortex)

เซนต์ จอห์น ยังพบอีกว่ามีสหสัมพันธ์ (correlation) ระหว่างความเร็วของการไหลและความเข้มของเส้น สำหรับความเข้ม 00 ในหน่วยของโรว์แลนด์ มีการไหลออกประมาณ 2 กิโลเมตรต่อวินาที จากนั้นความเร็วจะลดลงเมื่อความเข้มเพิ่มขึ้น ความเร็วจะเป็น 0 เมื่อความเข้มเป็น 40 จากนั้นจะมีการไหลกลับด้วยความเร็วเพิ่มตามความเข้มของเส้นจนถึงประมาณ 3.8 กิโลเมตรต่อวินาทีสำหรับเส้นที่เข้มมากอย่าง H และ K เซนต์ จอห์น ตีความผลที่ได้นี้ว่าเป็นผลเนื่องมาจากระดับชั้นที่ต่างกันของบรรยากาศโดยตั้งอยู่บนสมมุติฐานที่ว่าความเข้มของเส้นเป็นสัดส่วนผกผันกับความสูง สสารที่เบื้องต่ำของชั้นกลับไหลออกจากจุดด้วยความเร็วที่ลดลงตามความสูงของชั้นกลับ ความเร็วศูนย์มีความสูงประมาณ 10,000 กิโลเมตรเหนือโฟโตสเฟียร์ และที่ความสูงที่มากขึ้นอัตราการไหลเข้าเพิ่มขึ้นตามความสูง เซนต์ จอห์นชี้ให้เห็นว่าการเคลื่อนที่ของมวลสารไม่ได้เป็นตัวการทำให้เกิดลักษณะวังวนรอบจุด เขาเสนอแนะว่าวังวนอยู่ลึกลงไปในโฟโตสเฟียร์และการไหลออกไปยังชั้นกลับเป็นการไหลของสสารที่อยู่ตอนบนของวังวน การไหลลงมาของสสารจากโครโมสเฟียร์แสดงให้เห็นว่าวังวนเป็นผิวต้นที่เป็นแหล่งที่สนามแม่เหล็กอาจก่อกำเนิดอยู่

ในปี 1913 หลังจากข้อเสนอของ เดสแลนเดอร์ (Deslandres) ในปี 1912 ที่ว่ารูปร่างการเคลื่อนที่ของโปรมิแนนซ์อาจเกิดจากอิทธิพลของสนามแม่เหล็กของดวงอาทิตย์ เฮล ได้ใช้เทคนิคการถ่ายภาพสเปกตรัมที่ได้จากปริซึมแบบนิโคล (Nicol prism) และควอเตอร์-เวฟ เพลทชนิดผสม (compound quarter - wave plate) ซึ่งแสดง ซีแมน เอฟเฟค นั่นเป็นการแสดงว่าดวงอาทิตย์เป็นทรงกลมที่มีคุณสมบัติของแม่เหล็ก เฮล คำนวณได้ว่าสนามแม่เหล็กของดวงอาทิตย์มีความเข้ม 50 เกาส์ (gauss) สำหรับสนามแนวดิ่งที่ขั้ว

งานด้านการศึกษารายละเอียดของเส้นสเปกตรัมได้พัฒนามาอีกขั้นในปี 1914 เมื่อชวาตส์ชิลด์ (Schwarzschild) ทำโพรฟาย (profile) ของความเข้มของเส้น H และ K ได้สำเร็จ

ในปี 1914 นั้นเอง เฮล ได้ประกาศกฎแห่งขั้วของจุด (law of sunspot polarity) ดังนี้ (1) สมาชิกหลักของกลุ่มจุดที่มีความเป็นคู่ (binary spot groups) บอกได้ด้วยขั้วแม่เหล็กที่ต่างกัน (2) ก่อนและหลังที่จุดบนดวงอาทิตย์จะน้อยที่สุด จุดนำ (หรือจุดตาม) ของกลุ่มจุดที่มีสองขั้ว (bipolar group) จะมีขั้วต่างกันในครึ่งดวงเหนือและใต้ (3) ในแต่ละครึ่งดวง (เหนือหรือใต้) จุดที่อยู่ในละติจูดสูงของจุดชุดใหม่ (new cycle) จะมีขั้วที่ต่างกันกับจุดที่มีละติจูดต่ำกว่าของชุดเก่า สำหรับขณะมีจุดมากที่สุดก็เช่นกัน การกลับขั้วของกลุ่มจุดก็เกิดขึ้นด้วย

ในปี 1917 ไอน์สไตน์ (Einstein) ได้เสนอผลงานเกี่ยวกับการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนและการเปล่งแสง (Absorption and Emission coefficient) ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์เส้นสเปกตรัมทั้งชนิดมืดและเปล่งแสง

ต่อมาปี 1920 ซาฮ่า (Saha) ได้เสนอสมการสำหรับสมดุลย์แห่งการไอออไนซ์ (ionization equilibrium) ซึ่งเป็นประโยชน์ต่องานทางทฤษฎีทางฟิสิกส์ของดวงอาทิตย์เป็นอย่างยิ่ง

ในปี 1921 โมลล์ (Moll) ได้ประดิษฐ์เครื่องไมโครโฟโตมีเตอร์ (microphotometer) ซึ่งใช้วัดความเข้มของเส้นสเปกตรัมได้ละเอียดมาก ซึ่งพัฒนาต่อมาเป็นไมโครเดนซิโตมีเตอร์ (microdensitometer) ซึ่งใช้วัดความเทาของฟิล์มที่บันทึกสเปกตรัมไว้ ต่อมาในปี 1923 มินนาร์ต (Minnaert) เสนอการใช้อิควิวาเลนท์ วิดท์ (equivalent width) ในการแสดงลักษณะของเส้นฟรอนฮอฟเฟอร์ โดยที่ให้คำจำกัดความของอิควิวาเลนท์ วิดท์ ดังนี้

$$W_\nu = \int \frac{I_o - I_\nu}{I_o} \, d\nu \qquad \text{(Aller, 1963)} \qquad (1.3)$$

$W_\nu$ คืออิควิวาเลนท์ วิดท์ ซึ่งจะมีหน่วยเป็นหน่วยของความถี่

$I_o$ คือความเข้มของแสงที่ต่อเนื่อง

$I_\nu$ คือความเข้มของแสงที่ความถี่ $\nu$

$d\nu$ คือช่วงความถี่แคบ ๆ

ในปี 1927 อุนโซลด์ (Unsold) ได้เสนอแนวความคิดว่าเส้นฟรอนฮอฟเฟอร์สำหรับเส้นสเปกตรัมส่วนใหญ่การดูดกลืนเป็นตัวการให้เกิดเส้นมากกว่าการกระเจิง (scattering)

ในปี 1928 เซนต์ จอห์น , มัวร์ (Moore) , แวร์ (Ware) , อดามส์ และแบบคอค (H.D. Babcock) ได้ตีพิมพ์ตารางของโรว์แลนด์ฉบับปรับปรุง หลังจากพบว่าค่าความยาวคลื่นในตารางที่โรว์แลนด์ใช้มีค่าผิดพลาดประมาณ 0.29 อังสตรอม จากค่าความยาวคลื่นมาตรฐานที่กำหนดใหม่เป็นการสากล ต่อมาในปี 1932 เซนต์จอห์น และแบบคอค ได้แก้ไขตารางนี้อีกเล็กน้อย

ในปี 1929 รัสเซล (Russel) เริ่มต้นหาค่าการมีอยู่สัมพัทธ์ (relative abundance) ของธาตุบนดวงอาทิตย์โดยวิเคราะห์ความเข้มของเส้นฟรอนฮอฟเฟอร์ที่โรว์แลนด์ทำไว้

ในปี 1929 มินนาร์ต ได้เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอิควาเลนท์ วิดท์ กับจำนวนของอะตอม ได้สิ่งที่เขาเรียกว่า โค้งของการเจริญเติบโต (curve of growth) สำหรับเส้นสเปกตรัม 4,500 อังสตรอม เป็นครั้งแรก มินนาร์ต (Minnaert, 1965) ได้บรรยายลักษณะของกราฟที่ได้ว่า มีการโค้งงอที่พิศดารและดูคล้ายกับว่าจะไม่อาจอธิบายในรูปของทฤษฎีได้ แต่ต่อมาในปี 1930 บทความของชูทซ์ (Schutz) ซึ่งบรรยายผลที่ได้จากห้องทดลองเกี่ยวกับสเปกตรัมซึ่งมีลักษณะของกราฟคล้ายกับของมินนาร์ต ทำให้มูลเดอส์ (Mulders) นำมาประยุกต์และศึกษาจนสร้างเส้นโค้งแห่งการเจริญเติบโตทางทฤษฎีขึ้นสำเร็จ ทำให้สามารถอธิบายได้ว่าการที่เส้นฟรอนฮอฟเฟอร์กว้างออก (broaden) นั้นเนื่องมาจากดอปเปลอร์ เอฟเฟค และการหน่วงจากการชน (collision damping)

ปี 1930 การศึกษาคอโรนาเริ่มพัฒนาอีกขั้นหนึ่งเมื่อลีโอท์ (Lyot) ประดิษฐ์เครื่องถ่ายภาพคอโรนา (corona graph) สำเร็จ ทำให้การถ่ายภาพคอโรนาซึ่งเคยกระทำได้แต่เฉพาะขณะเกิดสุริยุปราคาทำได้ในเวลาปกติ แต่สำหรับวิธีการเดิมคือถ่ายภาพขณะเกิดสุริยุปราคาก็ยังคงใช้อยู่ ในปี 1931 เมนเซล (Menzel) ใช้วิธีถ่ายภาพโครโมสเฟียร์ขณะเกิดสุริยุปราคาได้สเปกตรัมที่นำมาหาองค์ประกอบของโครโมสเฟียร์เป็นครั้งแรก ในช่วงเวลาใกล้เคียงกับงานของลีโอท์นั่นเอง แมคแมท (McMath) ได้ศึกษาวิธีถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพยนต์สำเร็จทำให้การศึกษาปรากฏการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาเช่นโปรมิแนนซ์ และการแปรปรวนของตัวดวง ทำได้ง่ายยิ่งขึ้น จากงานนี้ทำให้แมคแมทพบโปรมิแนนซ์แบบละลอกคลื่น (surge - type prominences) และสังเกตพบการไหลลงของมวลสารในโปรมิแนนซ์

ในปี 1934 สตรูเว (Struve) และเอลเวย์ (Elvey) พบการมีอยู่ของการแปรปรวน (turbulence) ในบรรยากาศของดวงอาทิตย์

ในปี 1935 วานเดอร์ (Wanders) ได้เริ่มต้นสนใจสเปกตรัมต่อเนื่องของดวงอาทิตย์ศึกษาปริมาณพลังงานในแต่ละความยาวคลื่น และศึกษาเกี่ยวกับการมืดที่ขอบดวง (limb darkening) ซึ่งเป็นการศึกษาสเปกตรัมในบริเวณที่เป็นช่วงต่อเนื่อง

ไวลด์ (Wild) ในปี 1939 ค้นพบครั้งสำคัญ เมื่อเขาประกาศว่ามีการดูดกลืนโดยอิออนของไฮโดรเจนชนิดลบ ($H^-$) การดูดกลืนนี้เป็นแบบต่อเนื่องและเป็นตัวการสำคัญในการดูดกลืนสเปกตรัมแบบต่อเนื่องของดาวที่มีอายุมาก (late - type) ต่อมาอีก 12 ปี จึงมีผู้ค้นพบการดูดกลืนในห้องทดลอง (Aller , 1963)

ในปี 1942 เอดเลน (Edlen) ศึกษาเส้นสเปกตรัมบางเส้นของคอโรนา และแสดงให้เห็นว่าเส้นเหล่านั้นมาจากธาตุเหล็ก , นิเกิล , แคลเซียมและอาร์กอน ที่อยู่ในภาวะถูกไอออไนซ์ในระดับสูงด้วยอุณหภูมิจลน์ (kinetic temperature) ที่คำนวณได้ค่าสูงถึง 1,000,000 องศาเคลวินซึ่งเป็นอุณหภูมิของคอโรนานั่นเอง

ปี 1948 แบบคอค (H.D. Babcock) ได้รายงานค่าสนามแม่เหล็ก ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนดวงอาทิตย์และลงความเห็นว่าสนามแม่เหล็กโดยทั่วไป (general magnetic field) ของดวงอาทิตย์มีความแปรเปลี่ยนไปได้ ปีเดียวกันนี้เองเบิร์นไนท์ (Burnight) ค้นพบรังสีเอกซ์จากดวงอาทิตย์โดยใช้แผ่นบันทึกภาพคลุมด้วยแผ่นเบอริลเลียมบาง ๆ รับรังสีจากดวงอาทิตย์ทั้งนี้โดยนำขึ้นไปกับจรวด วี-2 (V-2) เนื่องจากรังสีเอกซ์ไม่อาจผ่านบรรยากาศของโลกลงมาได้พร้อม ๆ กันนั้นก็สามารถตรวจวัดรังสีอุลตราไวโอเลต และสเปกตรัมของรังสีอุลตราไวโอเลตได้ จากนั้นจึงขยายมาถึงรังสีอุลตราไวโอเลตระดับสูงสุด (Extreme Ultraviolet) ในปี 1951 เมื่อวาตานาเบ้ (Watanabae) วัดปริมาณของความเข้มได้ (Tousey, 1963)

ในปี 1949 ได้มีการประดิษฐ์เครื่องสเปกโตรกราฟสำหรับรับคลื่นวิทยุสำเร็จ จากนั้นในปี 1950 ไวล์ด และแมคคลีดี้ (McCready) พบกระแสคลื่น (burst) ของคลื่นวิทยุเป็นครั้งแรก คลื่นวิทยุจากดวงอาทิตย์เป็นคลื่นที่ดวงอาทิตย์แปล่งออกมามีลักษณะเป็นคลื่นความถี่เดียวอย่างหยาบ ๆ (roughly monochromatic) ซึ่งแตกต่างจากสเปกตรัมอื่น (Minnaert, 1965)

ในปี 1955 ด้วยคุณภาพที่สูงของอุปกรณ์ แมคแมท และโมห์เลอร์ (Mohler) ได้สเปกตรัมที่แสดงลักษณะของการเป็นดอกดวง (granulation) ของบรรยากาศของดวงอาทิตย์หลังจากที่ขวาดชิล์ดถ่ายภาพดวงอาทิตย์ในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์

002371

(stratosphere) ของโลกซึ่งแสดงความแตกต่างที่พอแยกได้ของดอกดวง (granule) และส่วนที่อยู่ระหว่างดอกดวง (intergranule)

ในปี 1958 โคเลสนิคอฟและเลสคอฟ (Kolesnikov and Leskov) และในปี 1962 เกลนนอนและไวซ์ (Glennon and Wiese) ได้ดำเนินงานต่อเนื่องเพื่อทำตารางของค่า-เอฟ (f - value) อันเป็นค่าที่แสดงการดูดกลืนแสงของอะตอมต่าง ๆ ในทฤษฎีทางกลศาสตร์ควานตัม (Quantum Mechanics)

ในปี 1961 แบบคอค (H.W. Babcock, 1961) เสนอผลงานที่มีชื่อเสียงโดยนำข้อสรุปเกี่ยวกับรอบ 11 ปีของดวงอาทิตย์ การแปรค่าของการหมุนรอบตัวเองที่ต่างกันตามละติจูดและลักษณะของสนามแม่เหล็กมารวบรวมเป็นทฤษฎีแสดงการเกิดจุดและความสัมพันธ์กับรอบ 11 ปี ซึ่งสามารถอธิบายกฎแห่งขั้วของจุดซึ่งพบโดยเฮล

ในปี 1962 บิลลิงส์ (Billings) เสนอแนวความคิดว่าคอโรนาไม่เป็นเนื้อเดียว (inhomogenous) กล่าวคือประกอบด้วยองค์ประกอบที่เป็นธาตุที่ร้อนและเย็นอยู่ใกล้ชิดกัน ทั้งนี้เป็นการอธิบายปัญหาที่มีข้อยืนยันในความแตกต่างของอุณหภูมิของคอโรนาจาก ล้านและสองล้านองศาเคลวิน อย่างไรก็ตามสมมุติฐานการเป็นเนื้อเดียวและการไม่เป็นเนื้อเดียวของคอโรนายังไม่อาจใช้กรณีใดกรณีหนึ่งอธิบายปรากฏการณ์ในคอโรนาได้ครบถ้วน (Minnaert, 1965)

ในปี 1967 ชีเลย์ (Sheeley) พบลักษณะคล้ายจุลจุด (microspot) ของของจุดบนดวงอาทิตย์คือในแต่ละจุดที่เคยกำหนดว่าเป็นจุดหนึ่งจุดนั้นประกอบด้วยจุดขนาดเล็กอีกทีหนึ่ง แต่ละจุดเล็กมีการแสดงการมีอยู่ของสนามแม่เหล็ก (Severny , 1972)

ในปี 1969 ไลห์ตัน (Leighton) พบว่ากลุ่มจุดกลุ่มใหม่มีแนวโน้มจะเกิดขึ้นทางตะวันตกของกลุ่มจุดเก่า (Bruzek, 1972)

ปี 1970 บรันส์ , โปรโคเฟียฟ , และเซเวอร์นี (Bruns, Prokofiev, and Severny, 1970) ตีพิมพ์ผลงานที่ได้จากการวัดปริมาณรังสีอุลตราไวโอเลต (340 อังสตรอม) จากการลุกจ้าขนาดปานกลาง (moderate flare) พบว่ามีค่าพอ ๆ

กับการเปล่งรังสีอุลตราไวโอเลตของบริเวณสงบอื่น ๆ ทั้งนี้เป็นการวิเคราะห์ผลจากดาวเทียมคอสมอส 166 (Kosmos 166)

ในปี 1972 ซับบ์ (Talbot A. Chubb, 1972) ได้เขียนบทความสรุปว่ามีสิ่งแสดงให้เห็นว่าการแผ่รังสีเอกซ์ของดวงอาทิตย์เป็นผลมาจากความร้อน (thermal origin) เท่านั้น

ประมาณปี 1975 ซีเลย์ และพร้อม ๆ กับปาร์กเกอร์ (Parker) พบว่ามีการสูญเสียพลังงานในรูปของสนามแม่เหล็กที่ลอยขึ้นมาจากใต้ผิวดวงอาทิตย์สู่ผิวและหลุดลอยไปสู่อวกาศประมาณ $10^{23}$ ถึง $10^{24}$ แมกซ์เวลล์ (Maxwells) ในช่วงเวลา 11 ปีแห่งกัมมันต์ นั่นย่อมแสดงว่ามีการผลิตสนามแม่เหล็กภายในดวงอาทิตย์ซึ่งปาร์กเกอร์ตั้งสมมุติฐานว่าเกิดมาจากผลของการหมุนรอบตัวเองที่ไม่สม่ำเสมอ (nonuniform) ผสมกับผลของส่วนประกอบไซโคลน (cyclonic component) ของการไหลวน (convective motion) ของดวงอาทิตย์ จากข้อมูลข้างต้นค่าเฉลี่ยของการผลิตสนามแม่เหล็กของดวงอาทิตย์จะเป็นขนาดระดับ $10^{15}$ แมกซ์เวลล์ต่อวินาที (Parker, 1977)

ในปี 1977 ได้มีการตีพิมพ์ผลงานจากการทดลองในหอวิจัยลอยฟ้า (skylab) (Applied Optics, 1977) เกี่ยวกับรังสีเอกซ์และอุลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์ พบข้อสรุปที่น่าสนใจดังนี้ (1) ในบริเวณที่มีพลาจ (plage) ซึ่งเป็นบริเวณสว่างที่อยู่ใกล้เคียงกับจุดจะมีการแผ่รังสีเอกซ์มากกว่าบริเวณที่ไม่ปรากฏพลาจ (2) ได้มีการถ่ายภาพดวงอาทิตย์ในช่วงรังสีเอกซ์ได้ภาพชัดเจนพบว่ามีขนาดใหญ่กว่าภาพในแสงธรรมดาประมาณร้อยละ 6 เป็นการยืนยันว่าบริเวณที่แผ่รังสีเอกซ์จะต้องแผ่กว้างออกมาจากตัวดวงซึ่งคือแผ่ออกมาจากคอโรนา ระยะที่แผ่ออกมานี้ประมาณ 43,000 กิโลเมตร (3) อาณาบริเวณที่ปรากฏจุดหรือกลุ่มจุดและการลุกจ้ามากพบว่าจะมีการแผ่รังสีเอกซ์มากด้วย

ในปี 1979 มีรายงาน (Physics today) ฉบับกันยายน) ว่าจากการศึกษาขนาดของดวงอาทิตย์ที่มีการบันทึกไว้ในเวลาประมาณ 117 ปี จากปี 1836 จนถึง 1953 ของหอสังเกตการณ์กรีนนิช (Greenwich Observatory) และหอสังเกตการณ์กองทัพเรือสหรัฐ (Naval Observatory) โดยเอดดี้และบอร์นาเซียน

(John A. Eddy and Aram Boornazian) เขาทั้งสองพบว่าดวงอาทิตย์มีการหดตัวประมาณ 2 พิลิปดาความโค้ง (arc second) ต่อศตวรรษ การค้นพบของทั้งสองกำลังเป็นที่กล่าวขาน และล่าสุดวารสารฉบับเดียวกันได้รายงานไว้ในฉบับเดือนพฤษภาคม 1980 ว่ามีผู้คัดค้านโดยที่ ชาปิโร (Irwin Shapiro) ได้ศึกษาจากการทรานสิท (transit) ของดาวพุธผ่านหน้าดวงอาทิตย์และไม่พบว่ามีการหดตัวที่มีนัยสำคัญ (significance) ของดวงอาทิตย์