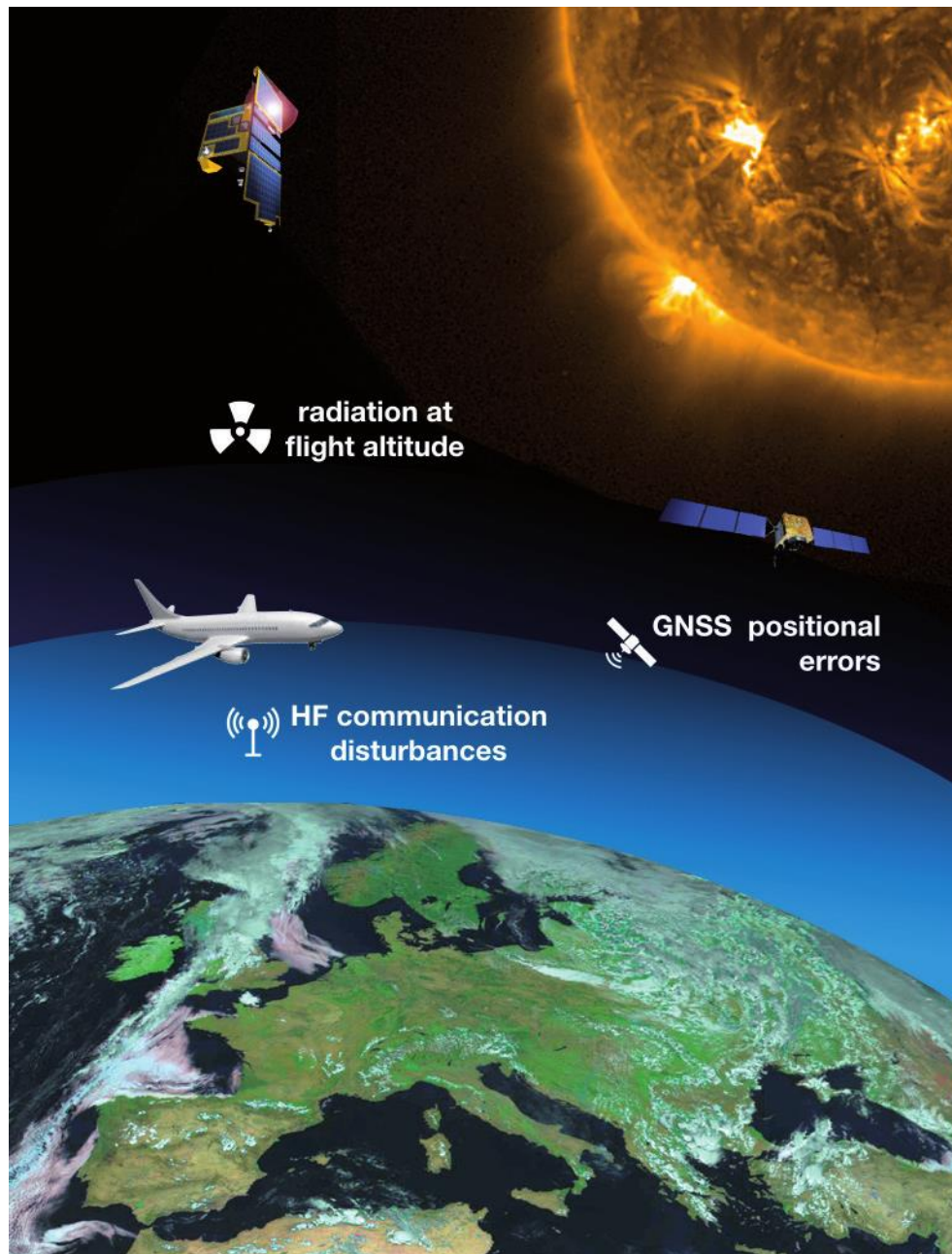

สภาพอากาศอวกาศ (Space Weather)



กองข่าวอากาศ

กองบัญชาการควบคุมการปฏิบัติทางอากาศ

คำนำ

สภาพอวกาศอวกาศ (Space Weather) เรียบเรียงขึ้นเพื่อใช้เป็นเอกสารประกอบการบรรยายหลักสูตร สาขาวิทยาการอวกาศนิคมวิทยาของ กขอ.คปอ. และหลักสูตรโรงเรียนจำอวกาศ เหล่าทหารอวกาศ ซึ่งในการเรียนการสอน ครูผู้สอนสามารถปรับเนื้อหาได้ตามความเหมาะสมกับระดับการศึกษาและเวลา ตลอดจนผู้สนใจโดยทั่วไป โดยมี เนื้อหาสาระเกี่ยวกับกำเนิดจักรวาลพอสังเขป โครงสร้างและปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนดวงอาทิตย์ ผลกระทบ การตรวจ และพยากรณ์สภาพอวกาศอวกาศ รวมทั้งการแปลความผลผลิตที่ได้จากการตรวจและการพยากรณ์ซึ่งแพร่หลาย ในเว็บไซต์ของหน่วยงานของรัฐในหลายประเทศ

แสงออโรรา (aurora light) ที่สวยงามของเป็นผลมาจากปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบนดวงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามนอกจาก ความสวยงามแล้วสภาพอวกาศอวกาศยังมีผลกระทบต่อระบบโทรคมนาคม การสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ หรือแม้กระทั่ง อันตรายต่อมนุษย์ที่สัมผัสกับรังสีที่แผ่ออกมาจากอนุภาคพลังงานสูง ปัจจุบันในการดำเนินกิจกรรมในชีวิตประจำวันของเรา พึ่งพาเทคโนโลยีเหล่านี้เป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะหลีกเลี่ยงผลกระทบ เพียงแต่อาจจะมากหรือน้อยซึ่งขึ้นอยู่กับ ความรุนแรงของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบนดวงอาทิตย์

ผู้เรียบเรียงจึงหวังว่าจะเป็นประโยชน์ต่อครูผู้สอน นายทหารนักเรียนที่เข้าอบรมหลักสูตรในสาขาวิทยาการอวกาศ นิคมวิทยา นักเรียนจำอวกาศเหล่าทหารอวกาศ ตลอดจนผู้สนใจใคร่รู้ในเรื่องสภาพอวกาศอวกาศ หากมีข้อเสนอแนะหรือ ข้อผิดพลาดประการใด ผู้เรียบเรียงขอน้อมรับไว้และขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

น.อ.เสนีย์ ฉัตรวิไล

ผู้เรียบเรียง

ม.ค. 66

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
1. จุดกำเนิดเอกภพหรือจักรวาล (Universe)	1
2. การค้นพบทฤษฎีบิ๊กแบง	1
3. วิวัฒนาการของจักรวาล	3
4. สภาพอากาศอวกาศ (Space Weather)	6
5. ขอบเขตของสภาพอากาศในอวกาศ (Region of Space weather)	7
6. กิจกรรมของดวงอาทิตย์ (Solar activity)	23
7. ผลกระทบของสภาพอากาศในอวกาศ (Space Weather Impacts)	33
8. การตรวจสภาพอากาศในอวกาศ	45
9. พายุจากดวงอาทิตย์ (Solar Storms)	47
10. สเกลวัดความรุนแรงของพายุจากดวงอาทิตย์ของ NOAA (NOAA Space Weather Scales)	49
11. บทสรุป	55
เอกสารอ้างอิง	56

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1 Georges Henri Joseph Édouard Lemaître	1
2 เอ็ดวิน ฮับเบิล (Edwin Hubble)	2
3 ปรากฏการณ์การเลื่อนทางแดง หรือ เรดชิฟท์ (Red Shift)	2
4 โรเบิร์ต วิลสัน (Robert Wilson) และ อาร์โน เพนเซียส (Arno Penzias)	2
5 มหายุคการแผ่รังสี (Radiation Era)	3
6 แรงดึงดูดตามธรรมชาติ (Four forces of Nature)	3
..7 มหายุคสสาร (Matter Era)	5
8 สสารมืดและพลังงานมืด (Dark matter and Dark energy)	6
9 ดวงอาทิตย์ (The Sun)	7
10 โครงสร้างของดวงอาทิตย์	8
11 บริเวณแกนกลาง (core) ของดวงอาทิตย์	8
12 ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชั่น	8
13 เขตโฟโตสเฟียร์	9
14 ชั้นโครโมสเฟียร์	9
15 ชั้นโคโรนา(Corona)	10
16 การหมุนรอบตัวเองของดวงอาทิตย์	10
17 เส้นแรงแสนามแม่เหล็กดวงอาทิตย์ (Solar magnetic field line)	11
18 สนามแม่เหล็กสุริยะดักจับสสารของดวงอาทิตย์ในชั้นโคโรนา	11
19 พลาสมาสุริยะ (นิวเคลียสไฮโดรเจน(โปรตอน), นิวเคลียสฮีเลียม (อนุภาคอัลฟา)และอิเล็กตรอนอิสระ	12
20 แสดงแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของดวงอาทิตย์	13
21 ฮีลิโอสเฟียร์ (Heliosphere)	14
22 สภาวะแวดล้อมระหว่างดวงดาวในกาแล็กซี (Interstellar Medium)	15
23 สภาวะแวดล้อมระหว่างกาแล็กซี (The intergalactic space)	16
24 สนามแม่เหล็กระหว่างดวงดาว (The interplanetary Magnetic Field : IMF)	17
25 แมกนีโตสเฟียร์ของโลกชั้นใน (Inner Magnetosphere of the Earth)	18
26 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างลมสุริยะและแมกนีโตสเฟียร์ของโลก	18
27 สภาวะแวดล้อมของพลาสมาในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ (O_2 N_2 ไอออนและอิเล็กตรอน)	20
28 ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์	20

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
29 สนามแม่เหล็กสุริยะ	24
30 จุดมืดของดวงอาทิตย์บนชั้นโฟโตสเฟียร์	24
31 การลุกจ้าของดวงอาทิตย์ (ภาพรังสีเอ็กซ์และค่าฟลักซ์รังสีเอ็กซ์ของสองความยาวคลื่น)	25
32 การปะทุของคลื่นวิทยุ	25
33 อนุภาคพลังงานสูงโปรตอน (แสดงระดับความแตกต่างของอนุภาคพลังงานสูง 3 ระดับ)	26
34 การปลดปล่อยก้อนมวลจากโคโรนา	27
35 สนามแม่เหล็กระหว่างดวงดาวอันเนื่องจากการปลดปล่อยก้อนมวลจากโคโรนา	27
36 โคโรนาโฮลส์ในภาพอุลตราไวโอเลต (พื้นที่มืดบริเวณศูนย์กลางของดวงอาทิตย์)	28
37 รูปแบบของพายุแม่เหล็กโลก	29
38 แสงออโรราที่ถ่ายจากกระสวยอวกาศ	30
39 แสงโอโรรา (Auroral Ovals) หรือแสงเหนือ แสงใต้	31
40 แถบรังสีแวนแอลเลน (Van Allen Radiation Belts)	32
41 วัฏจักรกิจกรรมดวงอาทิตย์ในรอบ 11 ปี (ณ ปัจจุบันเดือนธันวาคม 2010)	33
42 ขอบเขตของคลื่นย่านความถี่สูงในรอบวัน (HF window Throughout the Day)	34
43 แผนที่การดูดซับสัญญาณคลื่นวิทยุในชั้น D ระหว่างการเกิดการลุกจ้าของรังสีเอ็กซ์	35
44 พื้นที่วงออโรราที่มีผลกระทบต่อบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์	36
45 แผนที่แสดงการดูดซับในชั้น D ระหว่างการเกิด Polar cap absorption กำลังปานกลาง	37
46 แผนที่แสดงการดูดซับในชั้น D ระหว่างการเกิดการลุกจ้าของรังสีเอ็กซ์อย่างรุนแรงมากและปรากฏการณ์ Polar cap absorption อย่างรุนแรง	37
47 การรบกวนสัญญาณเรดาร์ในภาพเรดาร์ตรวจอากาศจากคลื่นวิทยุของดวงอาทิตย์	38
48 สนามแม่เหล็กโลกแถบศูนย์สูตร(Earth's Magnetic Equator)และแถบที่จะเกิด Scintillation	40
49 รูปแบบของ Scintillation เวลา 2300 UTC	40
50 Auroral clutter บนภาพเรดาร์	41
51 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Dual Frequency	43
52 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Single Frequency	43
53 แสดงโดสของรังสีบริเวณเส้นทางบินในระดับสูง	44
54 ดาวเทียมสำรวจสภาพอากาศในอวกาศ	46

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง radio blackouts การลู่ก้ำของดวงอาทิตย์ ฟลักซ์ พลังงาน และ ^{๕๕} ระดับความรุนแรงของปรากฏการณ์	50

1. จุดกำเนิดเอกภพหรือจักรวาล (Universe)

ความหมายของจักรวาลคือทุกสิ่งทุกอย่าง ตั้งแต่อนุภาคที่เล็กที่สุดไปจนถึงกาแล็กซีที่ใหญ่ที่สุดจนถึงการมีอยู่ของอวกาศ เวลา และชีวิต แต่ประเด็นที่น่าสนใจคือมันเริ่มต้นอย่างไร?

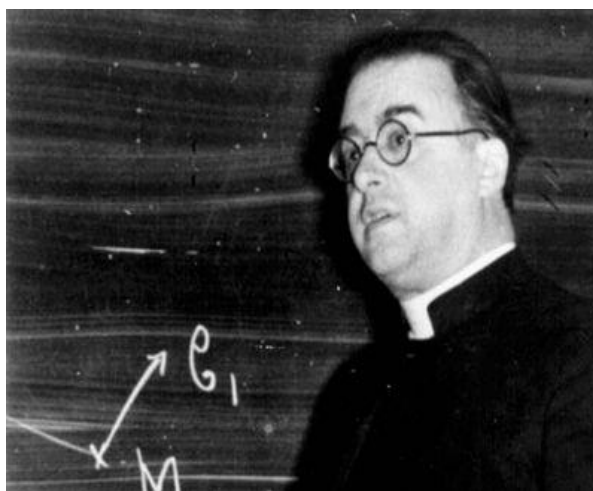
ต้นกำเนิดของจักรวาลคือต้นกำเนิดของทุกสิ่ง ทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์มากมายรวมถึงตำนานการสร้างสรรค์จากทั่วโลกต่างพยายามอธิบายการกำเนิดอันลึกลับของมัน อย่างไรก็ตาม คำอธิบายที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวางที่สุดคือทฤษฎีบิกแบง

2. การค้นพบทฤษฎีบิกแบง

ทฤษฎีบิกแบง (Big Bang Theory) คือ แบบจำลองในจักรวาลวิทยาที่ใช้อธิบายถึงการกำเนิดและวิวัฒนาการของเอกภพหรือจักรวาล (Universe) ซึ่งเป็นทฤษฎีที่ได้รับการยอมรับและกล่าวถึงมากที่สุด จากหลักฐานทางวิทยาศาสตร์หลายชิ้นและการสังเกตการณ์ของเหล่านักดาราศาสตร์ ทำให้เกิดข้อสรุปร่วมกันว่า ขณะนี้ เอกภพ หรือจักรวาล กำลังขยายตัวออกไป ดวงดาวและกาแล็กซีกำลังเคลื่อนที่ออกจากกันทุกวินาที ดังนั้น เมื่อย้อนเวลากลับไปหลายพันล้านปีก่อนจนถึงจุดเริ่มต้นของทุกสรรพสิ่ง ทุกสสารและพลังงานในจักรวาล ต้องอยู่ใกล้ชิดกันยิ่งกว่านี้ และมีจุดกำเนิดมาจากจุดเดียวกัน นั่นคือ การระเบิดครั้งใหญ่ หรือ บิกแบง

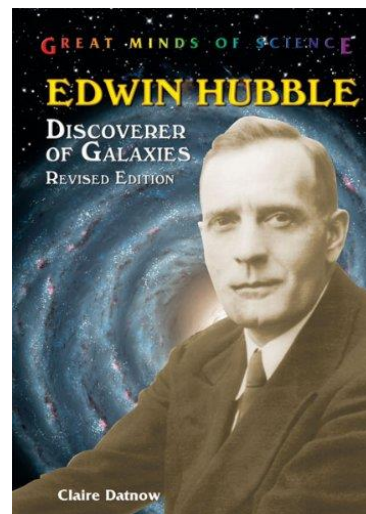
จากจุดที่มีขนาดเล็กยิ่งกว่าอะตอมเป็นพันล้านเท่า จุดที่มีอุณหภูมิและความหนาแน่นเป็นอนันต์ (Singularity) จุดที่รวมแรงทั้ง 4 ในธรรมชาติไว้เป็นหนึ่งเดียว (แรงโน้มถ่วง แรงแม่เหล็กไฟฟ้า แรงนิวเคลียร์เข้มและแรงนิวเคลียร์อ่อน) ก่อนจะเกิดการขยายตัว หรือ การระเบิดออกอย่างรวดเร็วและรุนแรง ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของเอกภพ สสารและพลังงาน รวมถึงอวกาศ (Space) และเวลา (Time) ส่งสสารและพลังงานไปในห้วงอวกาศ ให้กำเนิดดวงดาวและกาแล็กซี จนเป็นจักรวาลอย่างที่เราเห็นอยู่ในทุกวันนี้

แนวคิดในทฤษฎีบิกแบงถูกเสนอขึ้นครั้งแรก ในปี 1927 โดยบาทหลวง ฌอร์ฌ เลอแม็ทร์ (Georges Lemaître) ซึ่งเป็นทั้งนักดาราศาสตร์และศาสตราจารย์ชาวเบลเยียม ด้วยความเชื่อที่ว่า เอกภพมีจุดเริ่มต้นจากจุดเพียงจุดเดียว จุดเล็กๆ ที่มีความหนาแน่นสูง หรือที่เรียกว่า “อะตอมดึกดำบรรพ์” (Primeval Atom) ก่อนจะเกิดการระเบิดและขยายตัวจนมีขนาดใหญ่อย่างเช่นในปัจจุบันนี้ และจากความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทฤษฎีบิกแบงได้รับการยอมรับและการสนับสนุนจากหลักฐานทางวิทยาศาสตร์มากมาย

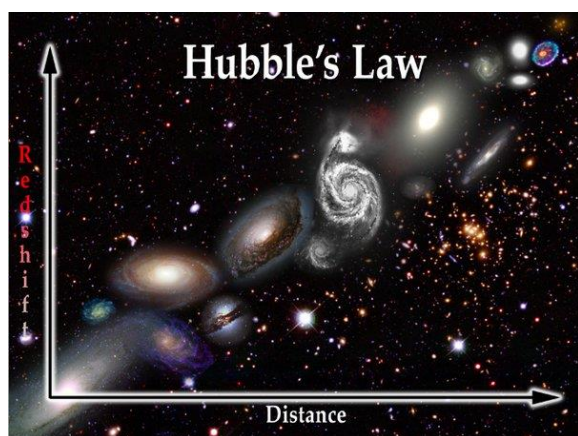


รูปที่ 1 Georges Henri Joseph Édouard Lemaître

โดยเฉพาะการค้นพบ การขยายตัวของเอกภพ ในปี 1929 ของ เอ็ดวิน ฮับเบิล (Edwin Hubble) นักดาราศาสตร์ชาวอเมริกัน ผู้ทำการสังเกตกาแล็กซี M33 ฮับเบิลพบว่าดาวฤกษ์ในกาแล็กซีข้างเคียงกำลังเคลื่อนที่ออกห่างจากเรา เช่นเดียวกับกาแล็กซีอื่นๆ ฮับเบิลใช้ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ (Doppler Effect) เพื่อตรวจวัดการเคลื่อนที่ของวัตถุผ่านคลื่นความถี่ และผลจากการสำรวจนี้ ทำให้ฮับเบิลค้นพบ ปรากฏการณ์การเลื่อนทางแดง หรือ เรดชิฟท์ (Red Shift) ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อแหล่งกำเนิดแสงเคลื่อนที่ออกห่างจากผู้สังเกตการณ์ ดังนั้น หากกาแล็กซีเคลื่อนที่ห่างออกจากเราไปไกลเท่าไร จะส่งผลให้ความยาวคลื่นที่ชัดเจนของแสงเลื่อนไปยังส่วนสีแดงของสเปกตรัมมากยิ่งขึ้นเท่านั้น



รูปที่ 2 เอ็ดวิน ฮับเบิล (Edwin Hubble)



รูปที่ 3 ปรากฏการณ์การเลื่อนทางแดง หรือ เรดชิฟท์ (Red Shift)

รวมถึงการค้นพบ อุณหภูมิพื้นหลังอวกาศ (Cosmic Microwave Background) โดย นักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกัน 2 คน คือ โรเบิร์ต วิลสัน (Robert Wilson) และ อาร์โน เพนเซียส (Arno Penzias) ในปี 1965 ซึ่งพบว่าในจักรวาล



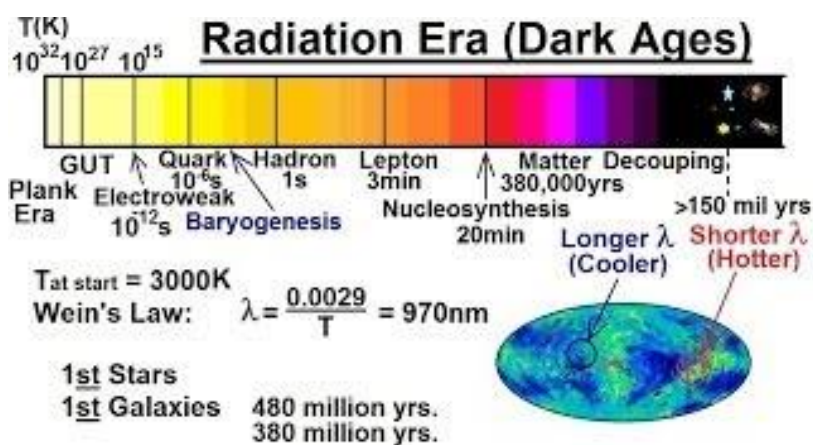
มีอุณหภูมิราว 2.7 องศาเซลเซียส กระจายอยู่ทั่วไปอย่างสม่ำเสมอ และรังสีความร้อนที่กระจายอยู่ทั่วไปนี้ สอดคล้องกับพลังงานที่หลงเหลืออยู่จากการระเบิดครั้งใหญ่ในทฤษฎีบิกแบง ส่งผลให้การค้นพบครั้งนี้ ถูกเรียกว่า เสียงจากการระเบิด (Echoes of the Big Bang)

รูปที่ 4 โรเบิร์ต วิลสัน (Robert Wilson) และ อาร์โน เพนเซียส (Arno Penzias)

3. วิวัฒนาการของจักรวาล

ทฤษฎีบิกแบงระบุว่าเอกภพเริ่มเป็นจุดที่ร้อนและหนาแน่นอย่างไม่สิ้นสุดกว้างเพียงไม่กี่มิลลิเมตร มันคล้ายกับซูเปอร์ชาร์จ์หลุมดำ (supercharge black hole) เมื่อประมาณ 13.7 พันล้านปีก่อนจุดอนันต์(tiny singularity) นี้ได้ระเบิดขึ้นอย่างรุนแรงและจากการระเบิดครั้งนี้ออกกำเนิดสสาร พลังงาน อวกาศ และเวลา สิ่งที่เกิดขึ้นต่อไปคือสองขั้นตอนสำคัญในการวิวัฒนาการของจักรวาล(universe's evolution) แบ่งออกเป็นสองมหายุค (era) เรียกว่า มหายุคการแผ่รังสี (radiation era) และมหายุคสสาร(matter era) ซึ่งกำหนดตามเหตุการณ์สำคัญของวิวัฒนาการของจักรวาล

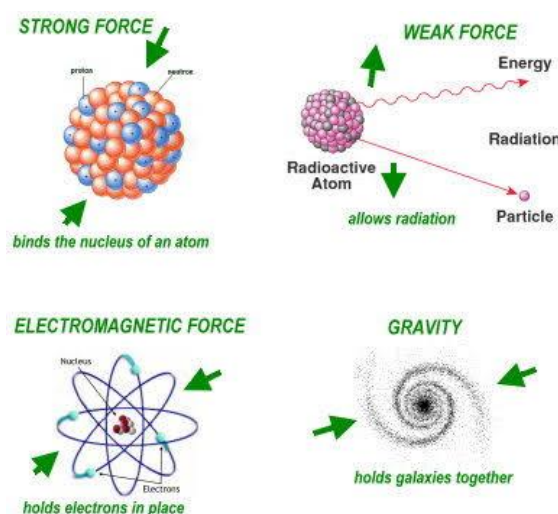
3.1 มหายุคการแผ่รังสี(Radiation Era) ซึ่งตั้งชื่อตามลักษณะโดดเด่นของรังสีที่เกิดขึ้นทันทีหลังจากบิกแบง มหายุคนี้ประกอบด้วยยุค (epochs) ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในหนึ่งหมื่นปีแรกของวิวัฒนาการจักรวาลประกอบด้วย



รูปที่ 5 มหายุคการแผ่รังสี (Radiation Era)

3.1.1 Planck epoch

ยุคพลังค์ (Planck epoch) จัดเป็นยุคที่เริ่มแรก อุณหภูมิ 10^{40} K เกิดขึ้นทันทีหลังบิกแบง ช่วงเวลานี้ไม่มีสสาร (matter) อยู่ในจักรวาลในมีแต่เพียงพลังงานและแรงดั้งเดิมมหาศาล(superforce)ทั้งสี่ตามธรรมชาติ ได้แก่ แรงโน้มถ่วง (gravity) แรงนิวเคลียร์กำลังแรง (Strong Nuclear) แรงนิวเคลียร์กำลังอ่อน (weak force) และแรงแม่เหล็กไฟฟ้า (Electro magnetic) ในช่วงท้ายของยุคนี้มีเหตุการณ์สำคัญคือแรงโน้มถ่วงแยกออกจากแรงดั้งเดิม



รูปที่ 6 แรงแสดงตามธรรมชาติ (Four forces of Nature)

3.1.2 Grand unified epoch

ยุค grand unification อุณหภูมิ 10^{36} K เกิดหลังบิกแบงเป็นเวลา 10^{-43} วินาที ยุคนี้ได้ชื่อตามการรวมเป็นหนึ่งเดียวของแรงดั้งเดิมที่เหลืออยู่ และสิ้นสุดลงเมื่อแรงนิวเคลียร์กำลังแรงแยกออกไป

3.1.3 Inflationary epoch

ยุค inflationary อุณหภูมิ 10^{33} K เกิดหลังบิกแบงเป็นเวลา 10^{-36} วินาที เป็นยุคที่จักรวาลขยายตัวออกอย่างรวดเร็วจากที่มีขนาดเท่ากับอะตอมเป็นขนาดเท่ากับผลเกรปฟรุต (grapefruit) เกือบจะทันทีทันใดในช่วงเวลานี้ จักรวาลเปรียบเสมือนท่อนที่ร้อนจัดและเต็มไปด้วยความปั่นป่วนของอิเล็กตรอน ควาร์ก แอนติควาร์กและอนุภาคอื่น ๆ

3.1.4 Electroweak epoch

ยุค electroweak อุณหภูมิ 10^{20} K เกิดหลังบิกแบงเป็นเวลา 10^{-32} วินาที เกิดขึ้นเมื่อแรงที่เหลือทั้งสองคือแรงแม่เหล็กไฟฟ้าและแรงนิวเคลียร์กำลังอ่อนแยกออกไปในท้ายที่สุด

3.1.5 Quark epoch

ยุค Quark อุณหภูมิ 10^{16} K เกิดหลังบิกแบงเป็นเวลา 10^{-12} วินาที ในระหว่างยุคนี้องค์ประกอบจักรวาล(universe's ingredients) ทั้งหมดได้ปรากฏขึ้น อย่างไรก็ตามจักรวาลยังคงร้อนและมีความหนาแน่นมากเกินไปที่จะทำให้เกิดอนุภาคย่อยของอะตอม(subatomic particles)

3.1.6 Hadron epoch

ยุค Hadron อุณหภูมิ 10^{10} K เกิดหลังบิกแบงเป็นเวลา 10^{-6} วินาที ในยุคนี้จักรวาลเย็นลงจนทำให้ ควาร์กเกาะติดรวมกันและก่อให้เกิดโปรตอนและนิวตรอน

3.1.7 Lepton epoch

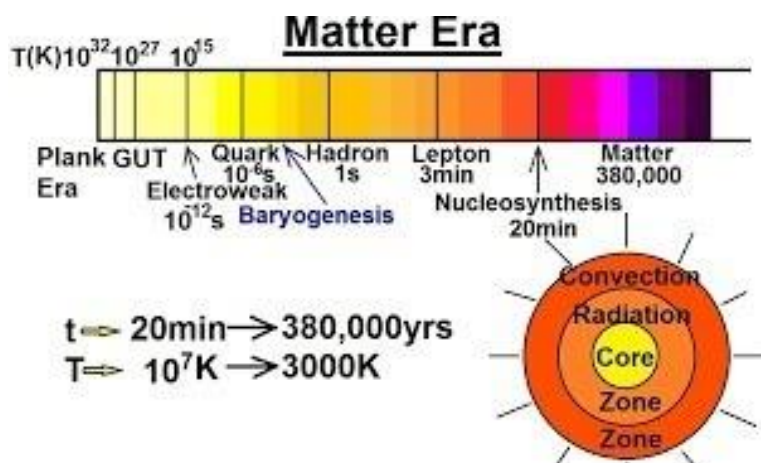
ยุค lepton อุณหภูมิ 10^{12} K เกิดหลังบิกแบงเป็นเวลาประมาณ 1 วินาที

3.1.8 Nuclear epoch

ยุคนิวเคลียร์ อุณหภูมิ 10^9 K เกิดหลังบิกแบงเป็นเวลาประมาณ 100 วินาที จัดเป็นสองยุคสุดท้ายของมหายุคการแผ่รังสี โปรตอนและนิวตรอนมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ เกิดการรวมกัน (fused) กลายเป็นนิวเคลียส (nuclei) และด้วยการกระทำดังกล่าวก่อให้เกิดธาตุทางเคมี (chemical element) คือฮีเลียมขึ้นเป็นครั้งแรกในจักรวาล จากการที่จักรวาลสามารถสร้างธาตุ (elements) ต่าง ๆ ได้ จึงนำไปสู่มหายุคของสสาร (matter era)

3.2 มหายุคสสาร (Matter era)

ตั้งชื่อตามการปรากฏขึ้นของสสารในจักรวาลแบ่งออกได้ 3 ยุคที่อยู่ในช่วงเวลาหลายพันล้านปีจัดเป็นมหายุคที่มีช่วงเวลายาวนานมากจวบจนกระทั่งมาถึงปัจจุบัน ประกอบด้วยยุคต่าง ๆ ดังนี้



รูปที่ 7 มหายุคสสาร (Matter Era)

3.2.1 ยุคอะตอม (atomic epoch)

ยุคอะตอม อุณหภูมิ 3,000 K เกิดหลังบิกแบงเป็นเวลา 50,000 ปี อุณหภูมิของจักรวาลเย็นลงมากพอที่ทำให้อิเล็กตรอนติดกับนิวเคลียสเป็นครั้งแรก เรียกว่า กระบวนการกลับมารวมกันอีกครั้ง (recombination) ทำให้เกิดธาตุไฮโดรเจน ซึ่งเป็นธาตุลำดับที่สองของจักรวาล

3.2.2 Galactic Epoch

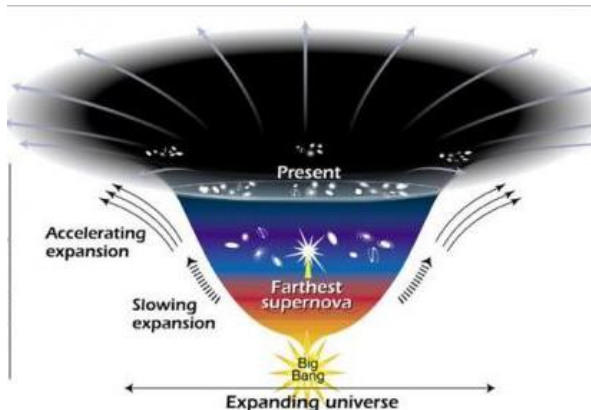
ไฮโดรเจนเหล่านี้พร้อมกับฮีเลียมได้จัดเป็นกลุ่มเมฆอะตอม (atomic clouds) กระจุกกระจายไปทั่วจักรวาล ภายในกลุ่มเมฆอะตอมเหล่านั้นมีโพรงเล็ก ๆ ที่ประกอบด้วยก๊าซและมีแรงโน้มถ่วงมากพอที่เป็นผลทำให้เกิดการสะสมของอะตอม กลุ่มของอะตอมที่เกิดขึ้นในยุคนี้กลายเป็นแหล่งกำเนิดของกาแลคซี

3.2.3 Stellar Epoch

ภายในโครงข่าย(nestles)ของกาแลคซีเหล่านี้ การถือกำเนิดของดวงดาวได้เริ่มต้นขึ้น จนกระทั่งเข้าสู่ช่วงสุดท้ายของวิวัฒนาการและเริ่มต้นขึ้นการพัฒนาของจักรวาล (universe's developments)ในปัจจุบัน

การก่อตัวของดวงดาวส่งผลกระทบอย่างมากและเป็นตัวช่วยให้รูปร่างของจักรวาลเป็นดังที่เราพบในปัจจุบัน ความร้อนภายในดวงดาวเป็นผลทำให้ฮีเลียมและไฮโดรเจนเกิดการเปลี่ยนแปลง (conversion) ไปเป็นธาตุอื่น ๆ เกือบทั้งหมดที่ยังคงอยู่ในจักรวาล ในทางกลับกันธาตุต่าง ๆ เหล่านั้นกลายเป็นองค์ประกอบที่สร้างโลก ดวงจันทร์ สิ่งมีชีวิต และทุกสรรพสิ่งที่เราพบเห็นในปัจจุบัน ระบบนิเวศวิทยาของทุกสิ่งมีความเป็นไปได้เพียงอย่างเดียวคือเป็นผลพวงของการพัฒนาที่หลากหลายขั้นตอนที่ผ่านมาของจักรวาล ในขณะที่คำถามมากมายเกี่ยวกับต้นกำเนิดของจักรวาลของเรา ยังคงมีอยู่ ซึ่งรอเพียงเรื่องของเวลาที่ใช้เสาะหาคำตอบอันยาวนานให้ปรากฏเท่านั้น

อย่างไรก็ตาม ในจักรวาลนั้นยังเต็มไปด้วยปริศนาที่เรายังไม่สามารถหาคำตอบได้ เช่น ก่อนหน้าการเกิดบิกแบงมีสิ่งใดดำรงอยู่ หรือ ในห้วงอวกาศอันว่างเปล่านั้น มีสสารอะไรที่สามารถพยุ่กาแล็กซีให้คงอยู่ในรูปร่างที่เราเห็นเช่นในปัจจุบันนี้ นักดาราศาสตร์เชื่อว่าในความว่างว้างนั้น มีสสารมืด (Dark matter) และพลังงานมืด (Dark energy) ที่เรายังไม่สามารถหาคำอธิบายได้ดำรงอยู่ สสารมืด ที่นักดาราศาสตร์ทราบถึงการคงอยู่ของมันจากอิทธิพลของแรงดึงดูดเพียงเท่านั้น สสารที่ไม่สะท้อนแสงและไม่มีแรงแม่เหล็กไฟฟ้าใดๆ รวมถึงพลังงานลึกลับที่ครอบคลุมถึงร้อยละ 70 ของปริมาณมวลและพลังงานในจักรวาล ขณะที่สสารที่เรารู้จัก จากตัวเราจนถึงดวงดาวบนท้องฟ้าเป็นเพียงสัดส่วนอันน้อยนิด (ร้อยละ 4) ในจักรวาลอันกว้างใหญ่แห่งนี้



รูปที่ 8 สสารมืดและพลังงานมืด (Dark matter and Dark energy)

4. สภาพอวกาศอวกาศ (Space Weather)

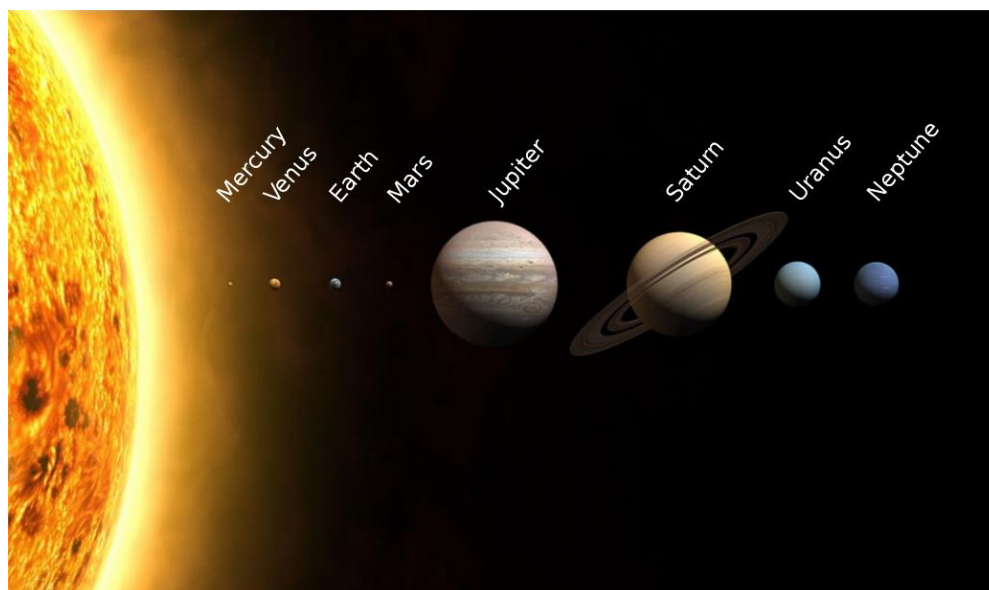
สภาพอวกาศอวกาศ เป็นสาขาหนึ่งของวิชาฟิสิกส์อวกาศ (Space Physics) และวิชาที่ว่าด้วยการศึกษาบรรยากาศชั้นบนของโลกที่เชื่อมต่อกับระบบสุริยะ (Aeronomy หรือ Heliophysics) ครอบคลุมกระบวนการทางเคมี การเคลื่อนที่ (dynamics) และความสมดุลของพลังงานของอนุภาคที่เป็นกลางกับอนุภาคที่เป็นประจุ โดยมุ่งเน้นห้วงเวลาการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในระบบสุริยะ สภาพแวดล้อมระหว่างดวงดาว (interplanetary medium) สนามแม่เหล็กโลก (magnetosphere) บรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์และชั้นเทอร์โมสเฟียร์ ตลอดจนแนวทางการปฏิบัติในการตรวจ ติดตามและสร้างแบบจำลอง เพื่อความเข้าใจและพยากรณ์สถานะของดวงอาทิตย์อันเป็นต้นเหตุของความปั่นป่วน (perturbations) รวมทั้งคาดการณ์ขั้นความรุนแรงของผลกระทบในรูปแบบของการพยากรณ์ปัจจุบัน (Nowcasting) และการพยากรณ์ล่วงหน้า (Forecasting)

ถึงแม้นิยามหรือความหมายของสภาพอวกาศในอวกาศจะมีความหลากหลาย คำว่า อวกาศ (Space) อาจนิยามได้อย่างกว้าง ๆ คือ ขอบเขตที่อยู่เหนือบรรยากาศระดับต่ำของโลกซึ่งเป็นบริเวณที่วัตถุ (เช่นดาวเทียม) สามารถคงอยู่และโคจรรอบโลกได้ (ถึงแม้ว่าจะช่วงระยะเวลาหนึ่งก็ตาม) โดยเริ่มต้นที่ความสูงประมาณ 100 กิโลเมตร สภาพอวกาศในอวกาศอธิบายถึงปรากฏการณ์ในอวกาศที่ส่งผลกระทบต่อโลก เช่นบรรยากาศของโลก และระบบเทคโนโลยีในปัจจุบันที่ปฏิบัติการอยู่บนพื้นโลกหรือรอบ ๆ โลกของเรา สภาพอวกาศในอวกาศเป็นผลจากกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนดวงอาทิตย์และสิ่งเหล่านั้นมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กโลกและบรรยากาศของโลก สภาพอวกาศในอวกาศส่งผลกระทบต่อระบบต่าง ๆ อย่างมากมาย อาทิเช่น การติดต่อสื่อสาร เรดาร์ ระบบนำทาง (Navigation) ระบบอิเล็กทรอนิกส์ ระบบโครงข่ายไฟฟ้า (power grids) ยานอวกาศ อากาศยาน แม้กระทั่งร่างกายของมนุษย์ ผลกระทบต่อระบบเหล่านี้เกิดขึ้นได้ทั้งในวงโคจร ในบรรยากาศ พื้นผิวโลกหรือแม้กระทั่งใต้พื้นผิวโลก

5. ขอบเขตของสภาพอากาศในอวกาศ (Region of Space weather)

ขอบเขตของสภาพอากาศในอวกาศแบ่งออกเป็นพื้นที่เฉพาะได้หลายพื้นที่ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของแรงต่าง ๆ ในบริเวณนั้น เช่นพื้นที่บริเวณดวงอาทิตย์ สภาวะแวดล้อมในอวกาศ(medium) ระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ พื้นที่ในปริมาตรของสนามแม่เหล็กโลก บริเวณบรรยากาศระดับบนของโลก (เหนือระดับความสูง 50 กิโลเมตร) และบรรยากาศระดับต่ำของโลก (ในย่านปฏิบัติการด้านการบินของอากาศยาน)

5.1 ดวงอาทิตย์ (The sun) ต้นกำเนิดของปรากฏการณ์สภาพอากาศในอวกาศที่เกิดขึ้นในสภาวะแวดล้อมของโลกส่วนใหญ่มาจากดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นดาวฤกษ์ที่อยู่ใกล้โลกมากที่สุด ดวงอาทิตย์มีขนาดใหญ่เป็นล้านเท่าของขนาดของโลกและมีมวลมากกว่าสามแสนเท่า สามในสี่ส่วนของดวงอาทิตย์ประกอบไปด้วยแก๊สไฮโดรเจน ส่วนที่เหลือจะเป็นฮีเลียมและธาตุหนักอื่น ๆ อีกเล็กน้อย เช่น ออกซิเจน คาร์บอน ธาตุเหล็ก นีออน ไนโตรเจน ซิลิคอน แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ และแคลเซียม



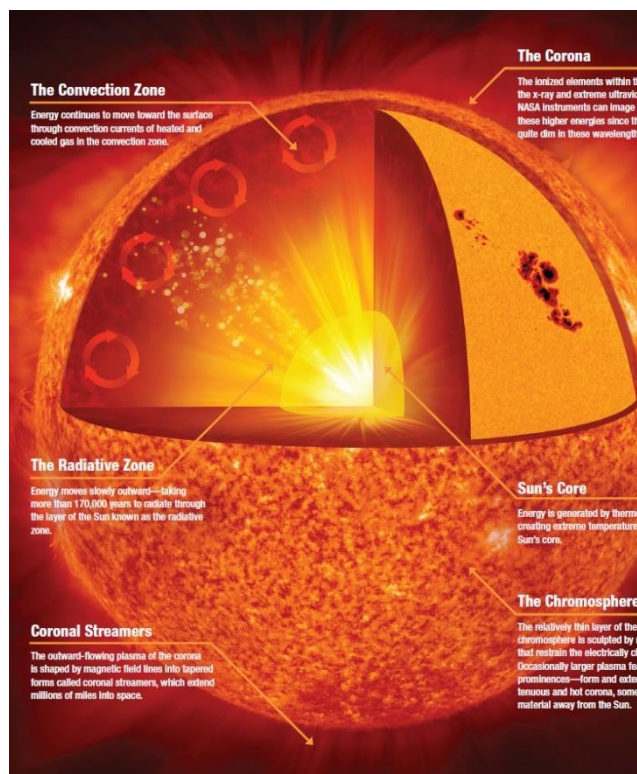
รูปที่ 9 ดวงอาทิตย์ (The Sun)

5.1.1 โครงสร้างของดวงอาทิตย์ (Structure of the sun) ประกอบด้วย

1. บริเวณแกนกลาง (Sun's core)
2. เขตการแผ่รังสี (Radiative zone)
3. เขตการพา (Convection zone)
4. เขตโฟโตสเฟียร์ (Photosphere)
5. เขตภายนอกของดวงอาทิตย์

(External layers) แบ่งได้ 2 ชั้น

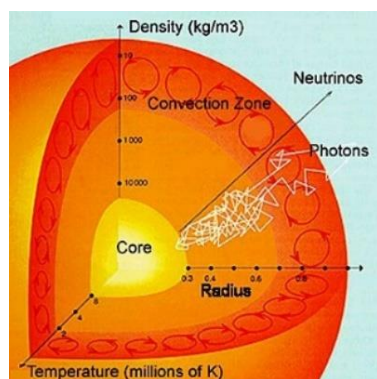
คือ โครโมสเฟียร์ (Chromosphere) และโคโรนา (Corona)



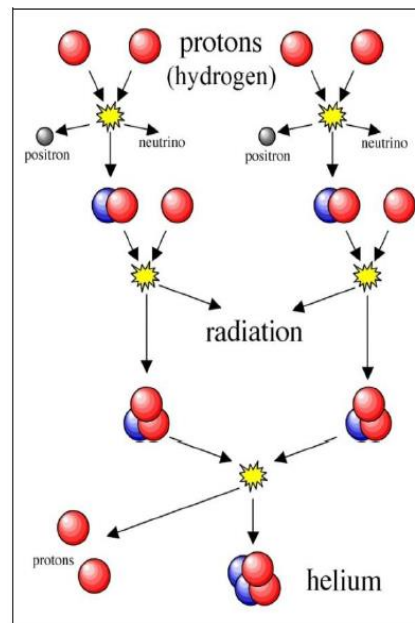
รูปที่ 10 โครงสร้างของดวงอาทิตย์

5.1.1.1 บริเวณแกนกลาง (core) ของดวงอาทิตย์

ความดันและอุณหภูมิที่สูงมากเนื่องจากแรงดึงดูดทำให้ไฮโดรเจนแตกตัวและรวมตัวกันใหม่เป็นฮีเลียม เรียกว่าปฏิกิริยานิวเคลียร์ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงของดวงอาทิตย์ จัดได้ว่าเป็นการเปลี่ยนมวลมากกว่าสี่ล้านล้านตันเป็นพลังงานรังสีทุกวินาที



รูปที่ 11 บริเวณแกนกลาง (core) ของดวงอาทิตย์

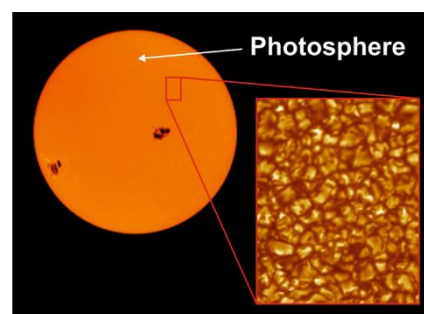


รูปที่ 12 ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชั่น

5.1.1.2 เขตการแผ่รังสี (Radiative Zone) เป็นชั้นที่อยู่รอบ ๆ แกนกลางของดวงอาทิตย์ การแผ่รังสีพลังงานที่เกิดในแกนกลางที่ถูกส่งผ่านมายังเขตนี้คือรังสีแกมมา เขตการแผ่รังสีมีความหนาแน่นมาก ทำให้รังสีแกมมาสะท้อนไปมาอยู่ภายในและไม่สามารถออกไปสู่เขตการพา (convective zone) เป็นเวลาหลายล้านปี (โดยเฉลี่ย 170,000 ปี)

5.1.1.3 เขตการพา (Convective Zone) การแผ่รังสีพลังงานในเขตการแผ่รังสีเคลื่อนที่ไปยังพื้นผิวของดวงอาทิตย์โดยการขับเคลื่อนของความร้อน ก่อให้เกิดการคลุกเคล้ากันในเขตของการพา (การลอยตัวขึ้นของแก๊สที่ร้อนและการจมตัวของแก๊สที่เย็นกว่าที่อยู่ในเขตของการพา เรียกว่า convective current)

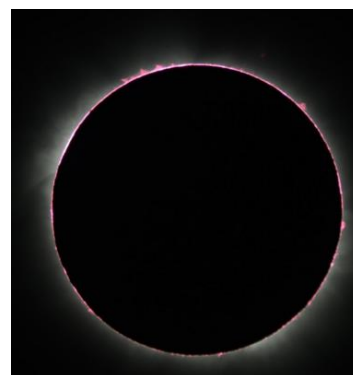
5.1.1.4 เขตโฟโตสเฟียร์ (Photosphere) คือพื้นผิวของดวงอาทิตย์หรืออาจเรียกว่าบรรยากาศชั้นล่างสุดของดวงอาทิตย์ เป็นชั้นที่ปล่อยแสงที่พลังงานความร้อนและแสงถูกปล่อยออกสู่อวกาศ รูปแบบของโฟโตสเฟียร์จะรวมถึงการเกิดกรานูลซึ่งมีลักษณะพื้นที่ทรงกลมล้อมรอบพื้นที่ที่สีคล้ำกว่า และจุดดับบนดวงอาทิตย์พบได้ในเขตนี้



รูปที่ 13 เขตโฟโตสเฟียร์

5.1.1.5 ชั้นภายนอกของดวงอาทิตย์ (External Layers)

1) ชั้นโครโมสเฟียร์ (Chromosphere : Sphere of colour) เป็นชั้นที่อยู่เหนือเขตโฟโตสเฟียร์ขึ้นไปประมาณ 1000 กม. สามารถสังเกตเห็นได้ในช่วงสั้น ๆ ในขณะเกิดสุริยุปราคา (solar eclipse) และในช่วงเริ่มต้นเกิดและสิ้นสุด โดยจะสังเกตเห็นเป็นสีชมพูบาง ๆ บริเวณขอบของดวงอาทิตย์ (รูปที่ 14)



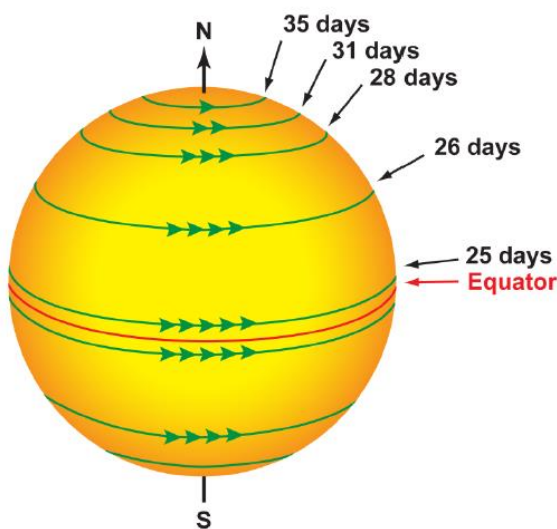
รูปที่ 14 ชั้นโครโมสเฟียร์

2) ชั้นโคโรนา (Corona) เป็นบรรยากาศชั้นนอกสุดของดวงอาทิตย์ประกอบด้วยก๊าซที่ปลดปล่อยออกมาสามารถสังเกตเห็นได้ชัดในขณะที่เกิดสุริยุปราคา (solar eclipse) เมื่อดวงจันทร์บดบังชั้นโฟโตสเฟียร์และโครโมสเฟียร์ของดวงอาทิตย์ปรากฏเป็นเป็นวง (halo) ล้อมรอบดวงอาทิตย์ โคโรนาแผ่ออกไปนับเป็นล้านกิโลเมตรจากชั้นโครโมสเฟียร์ และอุณหภูมิอาจสูงถึง 2 ล้านเคลวิน ชั้นโคโรนาไม่ได้ก่อให้เกิดความร้อนแต่ที่อุณหภูมิสูงเพราะอนุภาคเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็กด้วยความเร็วสูง อนุภาคที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงจะมีปฏิสัมพันธ์กับสนามแม่เหล็กของดวงอาทิตย์ อนุภาคบางส่วนจะถูกดึงดูดกลับสู่พื้นผิวของดวงอาทิตย์ขณะที่บางส่วนมีพลังงานมากจะเคลื่อนที่ออกไปจากชั้นโคโรนาด้วยความเร็วสูงก่อให้เกิดลมสุริยะ (Solar wind) โคโรนามีการแผ่รังสีช่วงคลื่นเอ็กซ์ด้วยเช่นกัน



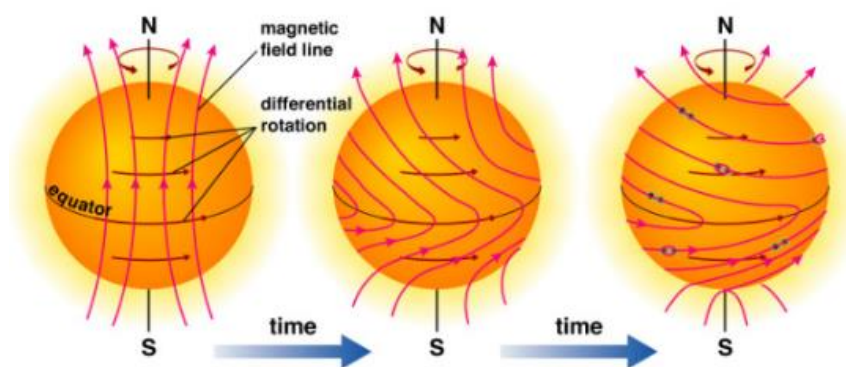
รูปที่ 15 ชั้นโคโรนา(Corona)

5.1.2 การหมุนรอบแกนของดวงอาทิตย์ (Solar Rotation) ดวงอาทิตย์มีการหมุนรอบแกนเช่นเดียวกับโลก ขณะที่โลกหมุนรอบแกนหนึ่งรอบใช้เวลา 24 ชั่วโมงดวงอาทิตย์ใช้เวลาประมาณหนึ่งเดือนต่อการหมุนรอบแกนหนึ่งรอบ ทั้งนี้เนื่องจากดวงอาทิตย์ไม่มีสถานะเป็นของแข็งเช่นเดียวกับโลกแต่ประกอบด้วยกลุ่มแก๊ส ดังนั้นอัตราการหมุนจึงแตกต่างกัน บริเวณเส้นศูนย์สูตรของดวงอาทิตย์จะหมุนรอบแกนด้วยอัตราเร็ว 25 วันต่อรอบ ส่วนบริเวณขั้วของดวงอาทิตย์ (solar Pole) จะใช้เวลาประมาณ 35 วันต่อรอบ



รูปที่ 16 การหมุนรอบตัวเองของดวงอาทิตย์

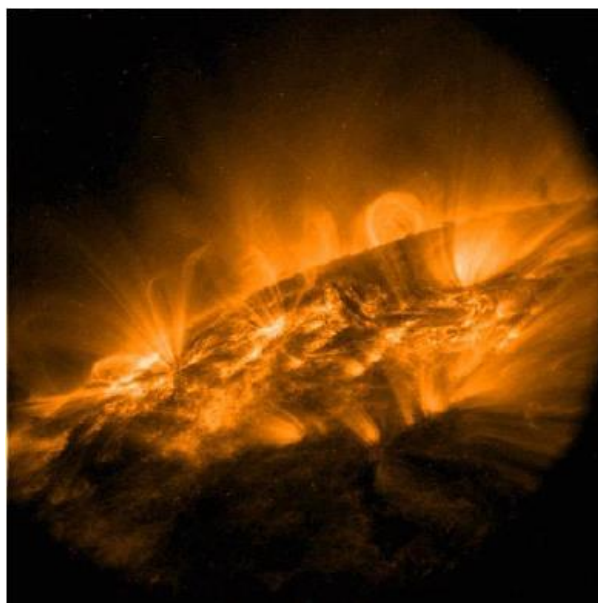
ข้อแตกต่างกับโลกคือ สนามแม่เหล็กโลกมีรูปแบบค่อนข้างแน่นอน แต่สนามแม่เหล็กของดวงอาทิตย์จะถูกสร้างขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีการจัดเรียงสนามแม่เหล็กขึ้นใหม่ที่มีโครงสร้างซับซ้อน



Copyright © Addison Wesley

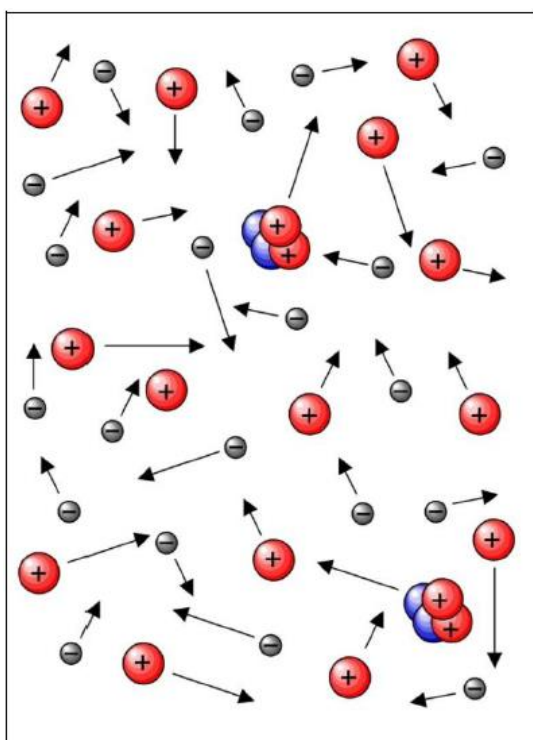
รูปที่ 17 เส้นแรงสนามแม่เหล็กดวงอาทิตย์ (Solar magnetic field line)

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่เกิดขึ้นจะกักเก็บมวลสารของดวงอาทิตย์ (solar material) ที่อยู่เหนือชั้นโฟโตสเฟียร์ในบริเวณที่เรียกว่า โคโรนาของดวงอาทิตย์ (solar corona) ในรูปที่ 18 แสดงการหมุนวน (looping) ของสนามแม่เหล็กเหนือชั้นโฟโตสเฟียร์ ซึ่งจะปรากฏเป็นริ้ว ๆ ในชั้นโคโรนา จากรูปเป็นภาพถ่ายในย่านรังสีอัลตราไวโอเลตพลังงานสูงแสดงให้เห็นชั้นโฟโตสเฟียร์ที่อยู่ภายใต้ชั้นโคโรนาปรากฏเป็นบริเวณพื้นที่สีดำทั้งนี้เนื่องจากชั้นโฟโตสเฟียร์เป็นบริเวณที่ไม่มีการแผ่รังสีอัลตราไวโอเลตพลังงานสูงหรือรังสีเอ็กซ์



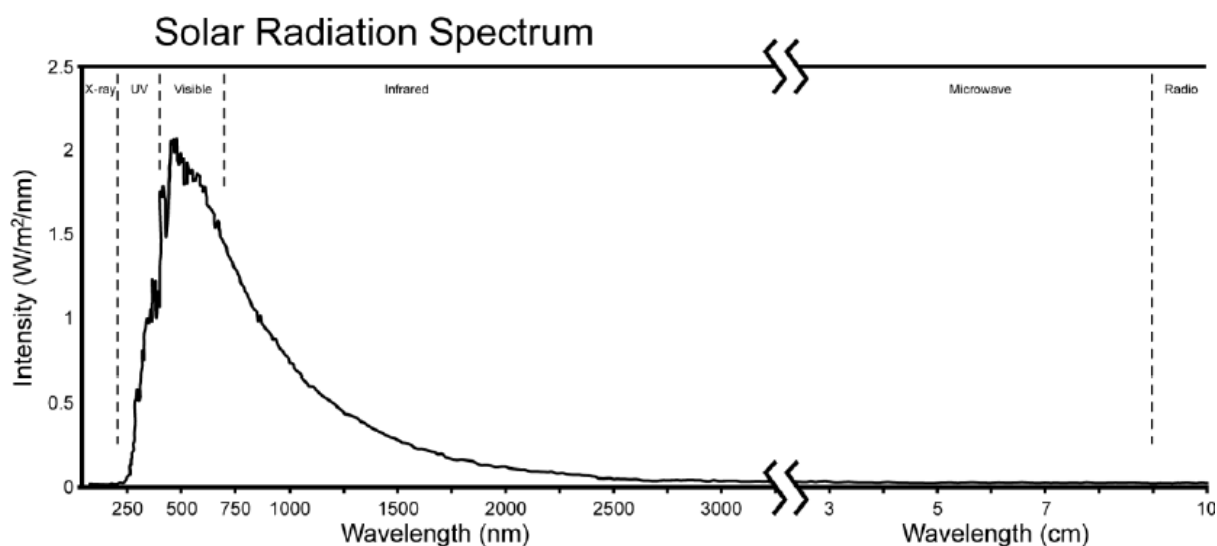
รูปที่ 18 สนามแม่เหล็กสุริยะดักจับสารของดวงอาทิตย์ในชั้นโคโรนา

อะตอมที่กระจายตัวกันอย่างเบาบางในชั้นของโคโรนาจะถูกทำให้ร้อนขึ้นและมีการแตกตัว (ionized) กล่าวคือ อิเล็กตรอนตั้งแต่หนึ่งตัวหรือมากกว่าแยกตัวออกมาจากอะตอม เหลือไว้เฉพาะไอออนที่เป็นบวก ดังนั้น อะตอมของไฮโดรเจนที่ประกอบด้วยอนุภาคโปรตอนที่เป็นประจุบวกล้อมรอบด้วยอิเล็กตรอนที่เป็นประจุลบหนึ่งตัว เมื่อสูญเสียอิเล็กตรอนไปเรียกว่าไอออนของไฮโดรเจนคือจะเหลือเฉพาะโปรตอน(นิวเคลียสของอะตอมไฮโดรเจน) ส่วนอะตอมของฮีเลียมประกอบโปรตอนสองตัว นิวตรอนสองตัวและล้อมรอบด้วยอิเล็กตรอนสองตัว เมื่อมีการสูญเสียอิเล็กตรอนจะมีอยู่สองรูปแบบคือรูปแบบแรกสูญเสียอิเล็กตรอนเพียงตัวเดียวและรูปแบบที่สองสูญเสียอิเล็กตรอนทั้งหมดเหลือไว้เฉพาะนิวเคลียสของฮีเลียม ซึ่งนิวเคลียสของฮีเลียมบางครั้งเรียกว่า อนุภาคอัลฟา (alpha particle) บริเวณที่มีการรวมตัวกันอย่างหนาแน่นของไอออนประจุบวกและอิเล็กตรอนประจุลบเรียกว่า พลาสมา (plasma) ซึ่งจัดเป็นสถานะที่สี่ของสสาร (ของแข็ง ของเหลว และ แก๊ส จัดเป็นสามสถานะแรกของสสาร) ต่างจากสถานะของแก๊สตรงที่พลาสมาสามารถกลายสภาพเป็นแม่เหล็กและเหนี่ยวนำไฟฟ้าได้ดี รูปที่ 19 แสดงไอออนของไฮโดรเจน (โปรตอน) และอนุภาคของฮีเลียม ซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของพลาสมาในโคโรนา ส่วนลูกศรแสดงการเคลื่อนที่อย่างอิสระของอิเล็กตรอน (ประจุลบ)และไอออน (ประจุบวก)



รูปที่ 19 พลาสมาสุริยะ (นิวเคลียสไฮโดรเจน(โปรตอน), นิวเคลียสฮีเลียม (อนุภาคอัลฟา)และอิเล็กตรอนอิสระ

เนื่องจากความร้อนของพลาสมาในโคโรนาจึงแผ่รังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีเอ็กซ์ และจากการที่มีความหนาแน่นต่ำจึงแผ่รังสีในช่วงคลื่นไมโครเวฟและช่วงคลื่นวิทยุได้อีกด้วย การแผ่รังสีของโคโรนาเป็นผลทำให้เกิดแสงและความร้อนออกไปจากชั้นโฟโตสเฟียร์ ในรูปที่ 20 พบว่า 99% ของพลังงานของดวงอาทิตย์คือพลังงานแสง พลังงานความร้อน(รังสีอินฟราเรด) และรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากชั้นโฟโตสเฟียร์ ส่วนที่เหลือ 1% ที่มาจากชั้นโคโรนาจะเป็นคลื่นวิทยุ คลื่นไมโครเวฟ รังสีอัลตราไวโอเล็ตพลังงานสูง (extreme ultraviolet radiation) และรังสีเอกซเรย์ อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าการแผ่รังสีที่มาจากชั้นโคโรนาจะเป็นสัดส่วนเพียงเล็กน้อยของพลังงานรวมทั้งหมดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์ก็ตาม แต่กลับกลายเป็นว่ารังสีเอกซเรย์และคลื่นวิทยุมีผลกระทบอย่างมากต่อระบบเทคโนโลยีบนพื้นโลกหรือตามแนวโคจรรอบโลก นอกจากนั้นการแผ่รังสีในช่วงคลื่นเหล่านี้แปรเปลี่ยนอย่างมากในขณะที่มีกิจกรรมต่าง ๆ เกิดขึ้นบนดวงอาทิตย์ในขณะที่แสงและความร้อนของดวงอาทิตย์นั้นจะคงที่อย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 20 แสดงแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของดวงอาทิตย์

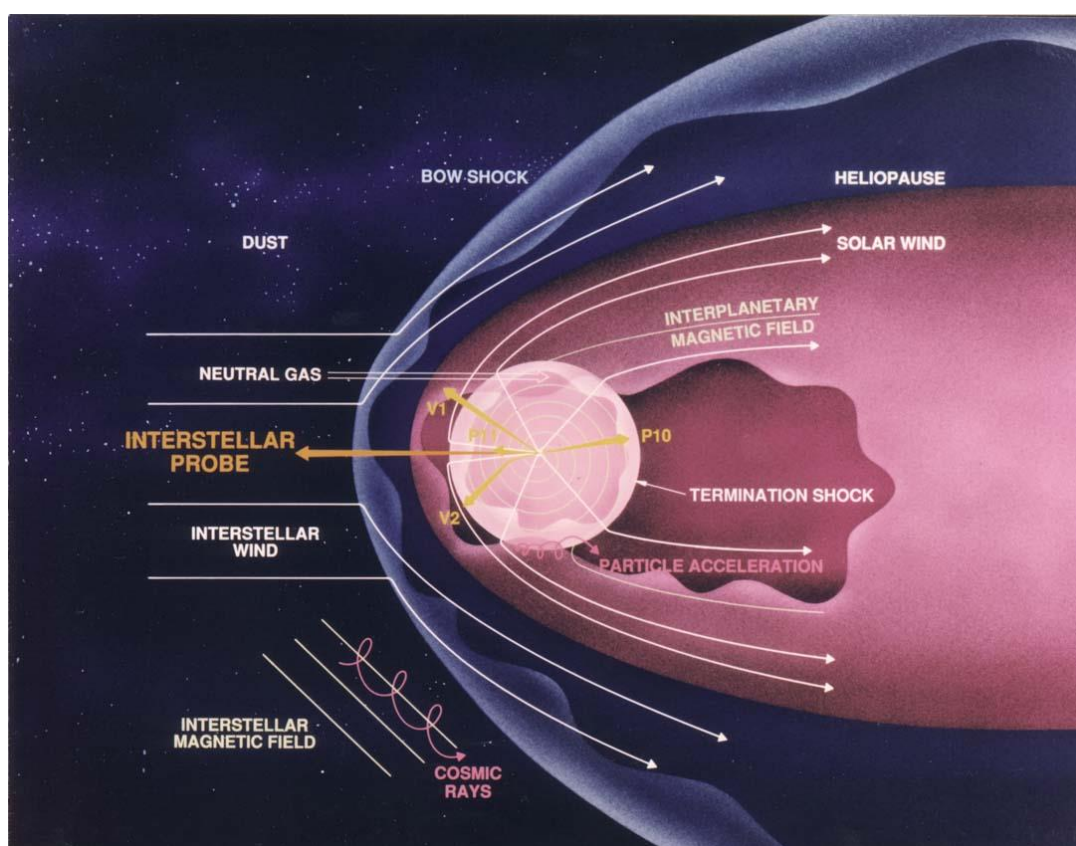
5.2 สภาวะแวดล้อมระหว่างดวงดาวในอวกาศ

สภาวะแวดล้อมระหว่างดวงดาวในอวกาศจำแนกออกได้ 3 เขตใหญ่คือ

1. สภาวะแวดล้อมระหว่างดวงดาวในระบบสุริยะ (The interplanetary medium or the interplanetary space)
2. สภาวะแวดล้อมระหว่างดวงดาวในกาแล็กซี (The interstellar medium or the interstellar space)
3. สภาวะแวดล้อมระหว่างกาแล็กซี (The intergalactic space)

5.2.1 สภาวะแวดล้อมระหว่างดวงดาวในระบบสุริยะ (The interplanetary medium)

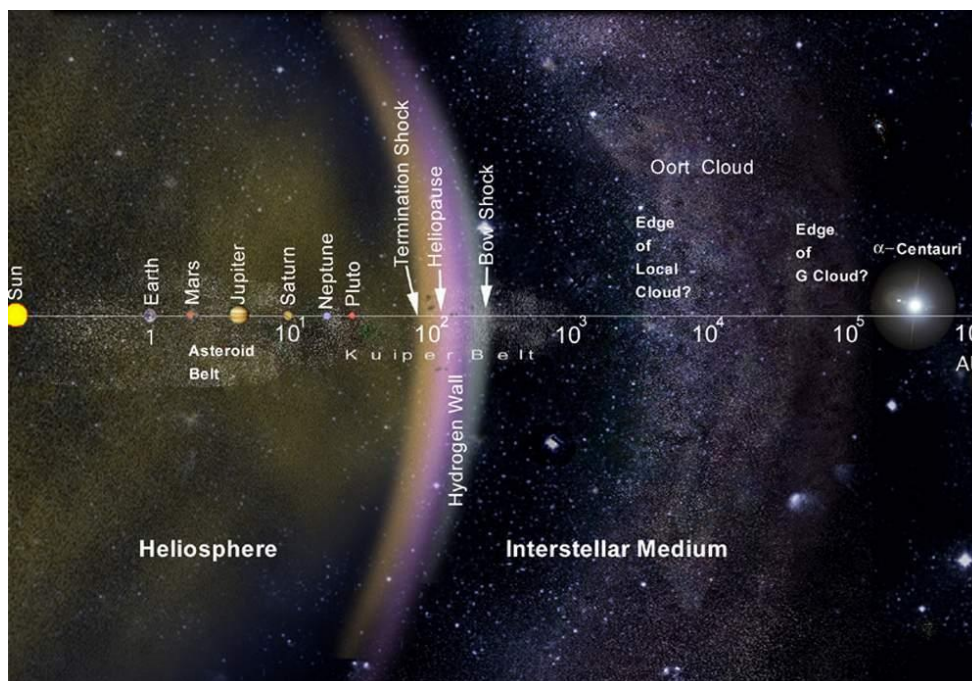
สภาวะแวดล้อมระหว่างดวงดาว (Interplanetary medium : IPM) ประกอบด้วยมวลและพลังงานที่เติมเต็มอยู่ในอวกาศของระบบสุริยะ (Solar system) ตลอดจนการเคลื่อนผ่านเข้ามาในระบบสุริยะของเทหวัตถุต่าง ๆ เช่น กลุ่มดาวเคราะห์ ดาวเคราะห์ ดาวเคราะห์น้อย และดาวหาง เกิดจากการที่ดวงอาทิตย์ปลดปล่อยอนุภาคที่เป็นประจุเรียกว่าลมสุริยะออกไปอย่างต่อเนื่องโดยเคลื่อนที่ผ่านดวงดาวทั้งหมดเป็นระยะทางกว่าสามเท่าจากดวงอาทิตย์ถึงดาวพลูโตก่อนที่จะถูกขัดขวางจากอวกาศระหว่างดวงดาวของกาแล็กซี (interstellar medium) ก่อให้เกิดลักษณะเป็นฟอง (bubble) ขนาดใหญ่ล้อมรอบดวงดาวทั้งหมดที่อยู่ในระบบสุริยะเรียกว่า ฮีลิโอสเฟียร์ จัดเป็นบรรยากาศชั้นนอกสุดของดวงอาทิตย์ที่แสดงบริเวณขอบของสนามแม่เหล็กของดวงอาทิตย์ที่มีอิทธิพลต่ออวกาศ และประการสำคัญทำหน้าที่เป็นโล่ขนาดใหญ่ที่ป้องกันดวงดาวในระบบสุริยะจากรังสีคอสมิกที่มาจากกาแล็กซีอื่น ๆ โลกก็ได้รับการปกป้องจากสนามแม่เหล็กโลกอีกชั้นหนึ่งเรียกว่า แมกนีโตสเฟียร์ ซึ่งไม่เพียงแต่จะปกป้องโลกจากอนุภาคหรือรังสีคอสมิกของดวงอาทิตย์แต่ยังรวมถึงการป้องกันการชะล้าง (erosion) ชั้นบรรยากาศของโลกโดยลมสุริยะ ขอบเขตของสภาวะแวดล้อมระหว่างดวงดาว(interplanetary medium) สิ้นสุดที่ heliopause



รูปที่ 21 ฮีลิโอสเฟียร์ (Heliosphere)

5.2.2 สภาวะแวดล้อมระหว่างดวงดาวในกาแล็กซี (The interstellar medium)

สภาวะแวดล้อมระหว่างดวงดาวในกาแล็กซี (interstellar medium) คือ สสารและพลังงานการแผ่รังสีที่เกิดขึ้นในอวกาศระหว่างดวงดาวในกาแล็กซี สสารต่าง ๆ เหล่านี้อยู่ในรูปของอนุภาคที่เป็นประจุของแก๊ส อะตอมและโมเลกุล รวมทั้งฝุ่นและรังสีคอสมิก ที่ปะปนอยู่ในอวกาศระหว่างดวงดาวในกาแล็กซีและผสมผสานกลมกลืนเข้าสู่บริเวณโดยรอบอวกาศระหว่างกาแล็กซี ส่วนพลังงานอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic radiation) ที่อยู่ในแต่ละหนึ่งหน่วยปริมาตรนั้นก็คือบริเวณการแผ่รังสี (radiation field) ระหว่างดวงดาวในกาแล็กซี



รูปที่ 22 สภาวะแวดล้อมระหว่างดวงดาวในกาแล็กซี (Interstellar Medium)

5.2.3 สภาวะแวดล้อมระหว่างกาแล็กซี (The intergalactic space)

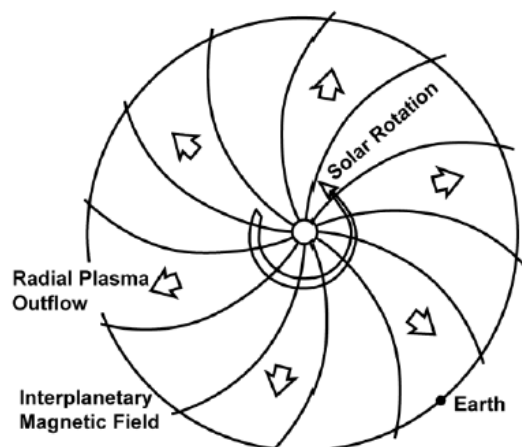
สภาวะแวดล้อมระหว่างกาแล็กซีคือแก๊สที่แผ่รังสีความร้อนในช่วงคลื่นเอ็กซ์ซึ่งแพร่กระจายอยู่ระหว่างกาแล็กซี เนื่องจากอนุภาคมูลฐานหลายล้านองศาเคลวินและมีอะตอมเพียงหนึ่งอะตอมต่อลูกบาศก์เมตร (ความหนาแน่นน้อยกว่า 10^{-27} กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ดังนั้นอวกาศระหว่างกาแล็กซีจึงมีสภาวะที่ร้อนที่สุดและมีความหนาแน่นน้อยที่สุดในจักรวาล ในเบื้องต้นได้มีข้อสันนิษฐานว่าสภาวะแวดล้อมระหว่างกาแล็กซีประกอบด้วยไฮโดรเจนและฮีเลียมที่หลงเหลือจากการระเบิดครั้งใหญ่ อย่างไรก็ตามในปี 1970 จากการตรวจด้วยภาพรังสีเอ็กซ์พบว่ามีส่วนผสมของโลหะจำนวนมากร่วมกับไฮโดรเจนและฮีเลียม โลหะเหล่านี้เกิดจากการกระทำของดวงดาวในกาแล็กซีและหลังจากนั้นก็ถูกผลักรอกสู่อวกาศระหว่างกาแล็กซี



รูปที่ 23 สภาวะแวดล้อมระหว่างกาแล็กซี (The intergalactic space)

5.3 สนามแม่เหล็กระหว่างดวงดาว (The interplanetary Magnetic Field : IMF)

พลาสมาที่มีอุณหภูมิสูงในชั้นโคโรนาจะหลุดออกจากดวงอาทิตย์อย่างต่อเนื่องก่อให้เกิดแนวแคบ ๆ ของการไหลของอนุภาคประจุ (อิเล็กตรอน โปรตอนและอนุภาคอัลฟา) เรียกว่า ลมสุริยะ (Solar wind) ซึ่งจะพาสนามแม่เหล็กสุริยะ (Solar magnetic field) บางส่วนติดตามไปด้วย ลมสุริยะไหลออกเป็นวงรัศมีจากดวงอาทิตย์ด้วยความเร็วประมาณ 400 กิโลเมตรต่อวินาที และเนื่องจากดวงอาทิตย์มีการหมุน สนามแม่เหล็กที่ฝังตัวอยู่ในลมสุริยะจะยืดออกเป็นวงคล้ายกับรูปก้นหอย สนามแม่เหล็กที่มีลักษณะเป็นรูปก้นหอยนั้น เรียกว่าสนามแม่เหล็กระหว่างดวงดาว (interplanetary magnetic field: IMF)



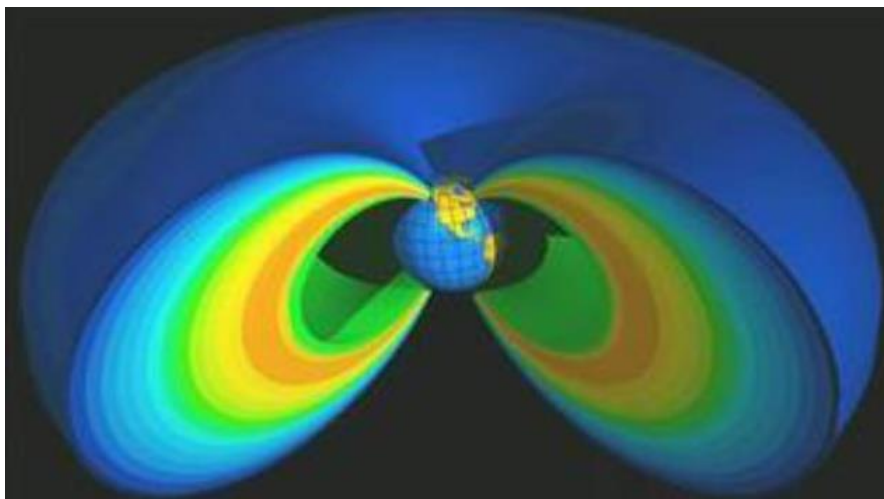
รูปที่ 24 สนามแม่เหล็กระหว่างดวงดาว (The interplanetary Magnetic Field : IMF)

ลมสุริยะพัดกวาดผ่านโลกและปกคลุมไปทั่วอวกาศในระบบสุริยะไกลออกไปจนถึงด้านหลังแนวโคจรของดาวพลูโต อย่างไรก็ตามพึงระลึกเสมอว่าลมสุริยะเป็นชั้นบาง ๆ คล้ายกับผืนธงที่สะบัดในลมพายุ ความหนาแน่นของลมสุริยะเริ่มตั้งแต่สองถึงสามร้อยอนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในขณะที่อากาศที่เราหายใจมีความหนาแน่นมากกว่าประมาณแสนล้านล้านเท่า อันที่จริงห้องสุญญากาศในห้องทดลองวิทยาศาสตร์การที่จะบีบอัดเพื่อก่อให้เกิดความกดที่ต่ำและมีความหนาแน่นดังเช่นลมสุริยะเป็นไปได้ยากมาก

นอกจากนี้ยังมีการแทรกเข้ามาของรังสีคอสมิก (galactic cosmic ray) ในสภาวะแวดล้อมระหว่างดวงดาวด้วยเช่นกัน ซึ่งไม่ได้เป็นผลของกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนดวงอาทิตย์ แต่เกิดจากปรากฏการณ์ระยะไกล เช่น การระเบิดของกลุ่มดาว และปรากฏการณ์ของหลุมดำที่กลืนกินบรรดาดวงดาว รังสีคอสมิกมีองค์ประกอบหลักของอิเล็กตรอนและไอออน (ส่วนมากเป็นโปรตอน) เคลื่อนตัวด้วยความเร็วใกล้เคียงกับความเร็วแสงผ่านระบบสุริยะไปอย่างรวดเร็วในทุกทิศทางโดยมีอัตราเร็วของการเคลื่อนที่คงที่ อนึ่งปรากฏการณ์ที่น่าสนใจอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นในสภาวะแวดล้อมระหว่างดวงดาวแต่มีผลต่อสภาพอากาศในอวกาศน้อยมากเพราะผลกระทบค่อนข้างจำกัดมาก เช่น ฝนดาวตก ดาวเคราะห์น้อย และดาวหาง สิ่งเหล่านี้จัดเป็นปรากฏการณ์ทางดาราศาสตร์ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสภาพอากาศในอวกาศเป็นบางช่วงเท่านั้น

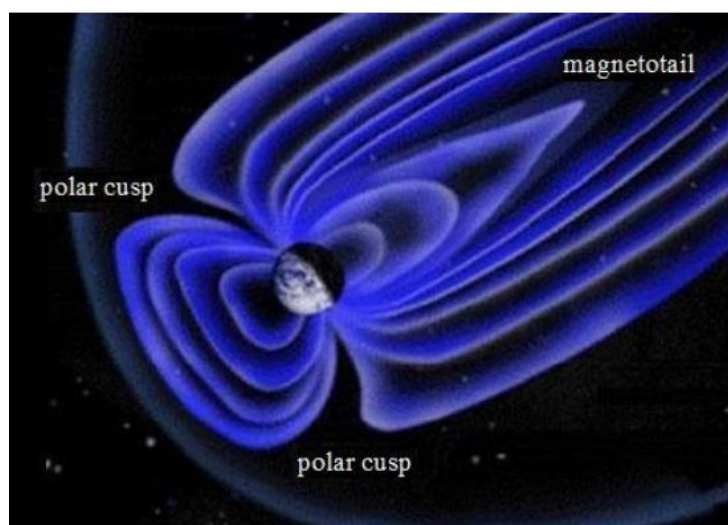
5.4 สนามแม่เหล็กโลก (The Earth's Magnetosphere)

สนามแม่เหล็กโลกมีรูปแบบค่อนข้างจะคงที่ซึ่งมีลักษณะเป็นสองขั้วมีเส้นแรงแม่เหล็กออกจากบริเวณขั้วโลกใต้ออกไปสู่อวกาศและไปบรรจบกันที่บริเวณขั้วโลกเหนือ ถ้าพิจารณาเป็นภาพสามมิติสนามแม่เหล็กโลกคล้ายกับโดนัทที่มีขนาด 5 แสนกิโลเมตร หลังจากระยะนี้สนามแม่เหล็กโลกจะมีกำลังอ่อนลงจนถูกกวาดออกไปด้านข้างโดยลมสุริยะซึ่งเคลื่อนอยู่สนามแม่เหล็กระหว่างดวงดาวอันเป็นสนามแม่เหล็กกำลังอ่อนที่หลุดออกจากขอบนอกของชั้นโคโรนา



รูปที่ 25 แม็กนีโตสเฟียร์ของโลกชั้นใน (Inner Magnetosphere of the Earth)

ผลการกระทำของลมสุริยะต่อสนามแม่เหล็กโลกทางด้านรับแสงจากดวงอาทิตย์ทำให้สนามแม่เหล็กโลกบีบอัดเข้าหากัน ในขณะที่ทางด้านตรงข้ามกับดวงอาทิตย์ลมสุริยะจะลากให้สนามแม่เหล็กโลกยืดยาวออกไปได้ไกลนับเป็นระยะทางหลายล้านกิโลเมตร ก่อให้เกิดรูปร่างคล้ายกับกระสุนปืนหรือดาวหาง เรียกว่าแม็กนีโตสเฟียร์ (magnetosphere) ขอบทางหน้าของแม็กนีโตสเฟียร์(ด้านรับแสงดวงอาทิตย์) เรียกว่า ส่วนหัว(nose) ของแม็กนีโตสเฟียร์ ในส่วนที่ทอดยาวออกไปทางด้านหลังของโลกเรียกว่าส่วนหาง (tail) ของแม็กนีโตสเฟียร์ หรือแม็กนีโตเทล (magnetotail)



รูปที่ 26 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างลมสุริยะและแม็กนีโตสเฟียร์ของโลก

แม็กนีโตสเฟียร์จะเบี่ยงเบนลมสุริยะ และสนามแม่เหล็กระหว่างดวงดาวที่แผ่ตัวอยู่ไปรอบ ๆ โลก โดยทั่วไปจะดันให้อนุภาคต่าง ๆ จากดวงอาทิตย์อยู่นอกเขตของแม็กนีโตสเฟียร์ อย่างไรก็ตามบริเวณที่สนามแม่เหล็กโลกมีความเข้มข้น อนุภาคของลมสุริยะสามารถทะลุเข้ามาในแม็กนีโตสเฟียร์ได้ โดยเฉพาะตรงบริเวณแม็กนีโตเทลซึ่งพลาสมาในลมสุริยะเกิดการปั่นป่วนและคลุกเคล้าเข้าไปในแม็กนีโตสเฟียร์ อนุภาคที่เป็นประจุเข้าไปในแม็กนีโตสเฟียร์โดยผ่านบริเวณแคบที่เรียกว่า คัสป์ (Cusps) แถบขั้วโลกทั้งสอง (รอยแยกบริเวณขั้วโลก) บริเวณตอนเหนือของขั้วแม่เหล็กโลกทั้งสองไปยังขอบด้านหน้าของแม็กนีโตสเฟียร์

อนุภาคประจุจะยังคงถูกกักกันในแม็กนีโตสเฟียร์ของโลก จนกว่าจะชนกับบรรยากาศของโลกหรือหลุดลอดลงมาจากแม็กนีโตเทลได้สำเร็จระหว่างที่เกิดการปั่นป่วนและคลุกเคล้ากันของลมสุริยะซึ่งเกิดขึ้นเป็นประจำในบริเวณนี้

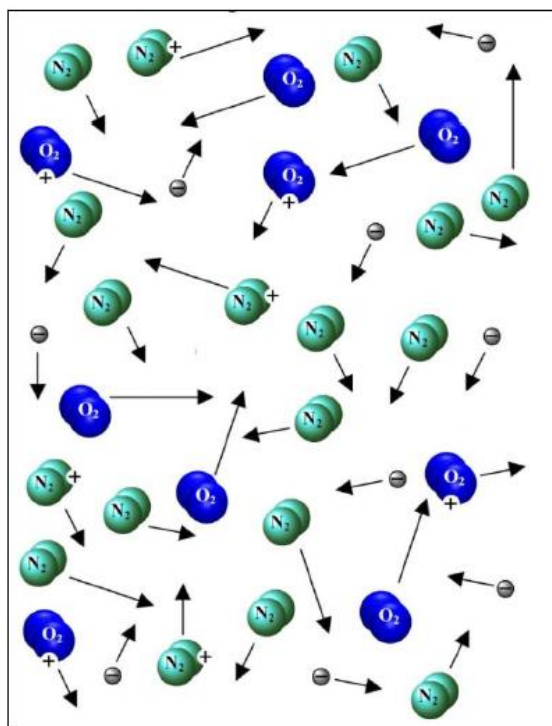
5.5 บรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ (The Ionosphere)

โครงสร้างบรรยากาศของโลกแบ่งตามอุณหภูมิ บรรยากาศชั้นโทรโปสเฟียร์เป็นชั้นต่ำสุดและมีคุณสมบัติอุณหภูมิลดลงตามความสูงที่เพิ่มขึ้น ความสูงเริ่มจากพื้นดินขึ้นไปประมาณ 12 กิโลเมตร (40,000 ฟุต) พลังงานแสงจากดวงอาทิตย์และการแผ่รังสีความร้อนจำนวนมากของดวงอาทิตย์ถูกดูดซับโดยพื้นผิวโลกและเปลี่ยนเป็นแหล่งพลังงานความร้อนให้กับอากาศในชั้นโทรโปสเฟียร์ โดยทั่วไปกระบวนการต่าง ๆ ทางอุณหพลศาสตร์ทั้งหมดเกิดขึ้นในบรรยากาศชั้นนี้

บรรยากาศเหนือขึ้นมาก็คือชั้นสตราโตสเฟียร์ มีคุณสมบัติของอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ตามความสูง เริ่มจากความสูงประมาณ 12 กิโลเมตรถึง 50 กิโลเมตร (40,000-165,000 ฟุต) อากาศยานบินได้สูงสุดในบริเวณตอนล่างของบรรยากาศชั้นนี้ ตอนบนของบรรยากาศร้อนขึ้นเนื่องจากการดูดซับรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ กระบวนการดูดซับเกี่ยวข้องกับโครงสร้างและการทำลายโอโซน

บรรยากาศชั้นเมโสเฟียร์เป็นบรรยากาศชั้นอยู่เหนือขึ้นมา ความเข้าใจในบรรยากาศชั้นนี้มีค่อนข้างน้อย ทั้งนี้เนื่องจากสูงเกินกว่าเพดานบินของอากาศยานและต่ำเกินไปสำหรับการโคจรของดาวเทียม คุณลักษณะทั่วไปของอากาศในชั้นนี้คืออุณหภูมิลดลงตามความสูง และมีความสูงตั้งแต่ 50 กิโลเมตรถึง 85 กิโลเมตร (165,000 – 280,000 ฟุต)

บรรยากาศชั้นเทอร์โมสเฟียร์เป็นชั้นสูงถัดขึ้นมา คุณสมบัติโดยทั่วไปคืออุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามความสูง อยู่เหนือระดับ 85 กิโลเมตร (280,000 ฟุต) อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเพราะมีการดูดซับรังสีอัลตราไวโอเล็ตและรังสีเอ็กซ์จากดวงอาทิตย์ การดูดซับรังสีเหล่านี้ทำให้โมเลกุลของไนโตรเจนและออกซิเจนบางส่วนในชั้นเทอร์โมสเฟียร์แตกตัว (ionized) เป็นไอออนและอิเล็กตรอนอิสระซึ่งสิ่งเหล่านี้ก่อให้เกิดเป็นชั้นขึ้นในบรรยากาศเรียกว่า ไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) บางส่วนของชั้นไอโอโนสเฟียร์อยู่เหนือพื้นผิวโลก 70 กิโลเมตร (ตอนบนของบรรยากาศชั้นเมโสเฟียร์) ขยายขึ้นไปจนถึงความสูงในชั้นเทอร์โมสเฟียร์และบางลงเมื่อเข้าสู่ในอวกาศ



รูปที่ 27 สภาวะแวดล้อมของพลาสมาในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ (O_2 N_2 ไอออนและอิเล็กตรอน)

คุณลักษณะเด่นที่สำคัญของชั้นไอโอโนสเฟียร์คือสามารถสะท้อนหรือเบี่ยงเบนคลื่นวิทยุได้ เนื่องจากเราใช้ประโยชน์จากคลื่นวิทยุโดยนำมาประยุกต์ใช้อย่างหลากหลาย ดังนั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญและในขณะเดียวกันอาจจะเป็นอุปสรรคขัดขวางได้เช่นกัน

ในรูปที่ 28 แสดง

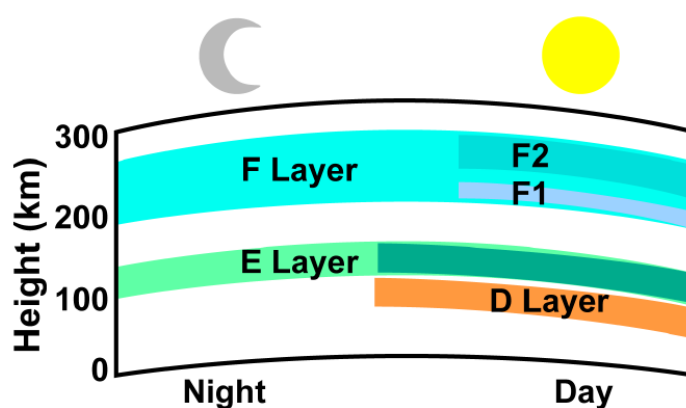
บรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์แบ่งออกได้หลาย

ชั้น คุณลักษณะทางเคมีและทางกายภาพ

ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของบรรยากาศ

พลังงานรังสีดวงอาทิตย์และชนิดของโมเลกุล

ในบรรยากาศหรืออะตอมที่อยู่ในแต่ละชั้นเป็นสำคัญ



รูปที่ 28 ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ชั้นต่ำสุดของไอโอโนสเฟียร์ เรียกว่า ชั้น D (D layer or D region) ความสูงประมาณ 70 – 90 กิโลเมตร ในชั้นนี้รังสีเอ็กซ์จากดวงอาทิตย์จะทำให้โมเลกุลของออกซิเจนและไนโตรเจนแตกตัวออกเป็นไอออน รวมทั้งโมเลกุลออกไซด์ อย่างไรก็ตามในเวลากลางคืนอิเล็กตรอนและไอออนในชั้นนี้จะรวมตัวกับโมเลกุลที่เป็นกลาง(neutral molecules) อย่างรวดเร็ว ดังนั้นชั้น D มีอยู่เฉพาะในเวลากลางวัน

ชั้นถัดไปของไอโอโนสเฟียร์ เรียกว่า ชั้น E (E layer or E region) อยู่ที่ความสูง 90-140 กิโลเมตร ในชั้นนี้รังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ทำให้ออกซิเจน ไนโตรเจนและไนตริกออกไซด์แตกตัวเป็นไอออน แต่เนื่องจากบรรยากาศที่สูงกว่าจะบางกว่า อิเล็กตรอนและไอออนจึงรวมตัวกันในอัตราที่ช้ากว่าในเวลากลางคืน ด้วยเหตุนี้ชั้น E จึงคงอยู่ได้ตลอดทั้งคืนถึงแม้ว่าจะอ่อนกำลังก็ตาม โดยเฉพาะในบริเวณละติจูดสูง ๆ (เช่น อลาสกา แคนาดา และมหาสมุทร แลแปซิฟิกเหนือ) ในระหว่างสัปดาห์หรือเดือนที่อยู่ในช่วงมีดสนิพของฤดูหนาวชั้น E จะหายไปอย่างถาวร

ชั้นต่อมาเรียกว่า ชั้น F (F layer or F region) ความสูงประมาณ 140 - 300 กิโลเมตร ในชั้นนี้รังสี อัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ทำให้อะตอมของออกซิเจนแตกตัวกลายเป็นไอออน แต่เนื่องจากเป็นชั้นที่บางมากใน ความสูงนี้จึงยับยั้งไม่ให้เกิดกระบวนการการรวมตัวของอิเล็กตรอนและไอออน เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างกับชั้นอื่นๆใน บรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ พบว่าในชั้นนี้คงสภาพของไอออนตลอดทั้งกลางวันและกลางคืน คุณลักษณะเฉพาะ อีกอย่างหนึ่งของชั้น F คือในช่วงเวลากลางวันมีการแยกออกเป็นสองระดับ โดยระดับล่างเป็นชั้น F1 ส่วนระดับบน เป็นชั้น F2

5.6 การสะท้อนคลื่นวิทยุในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ (Radio Refraction in the Ionosphere)

คลื่นวิทยุจะมีการสะท้อนเมื่อเคลื่อนตัวผ่านชั้นไอโอโนสเฟียร์เช่นเดียวกับการหักเหของคลื่นแสง (โค้งงอ) เมื่อส่องผ่านสื่อที่มีความโปร่งใสเช่นน้ำหรือแก้ว ซึ่งอาจก่อให้เกิดประโยชน์หรืออาจรบกวนสัญญาณคลื่นวิทยุได้ สิ่งสำคัญ คือการชดเชยผลกระทบที่เกิดขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นตัวอย่างเช่นในระหว่างดวงอาทิตย์ ขึ้นหรือตก ความหลากหลายของคลื่นวิทยุและแถบคลื่นสัญญาณเรดาร์ (radar band) มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพื้นผิวโลก บรรยากาศและบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์แตกต่างกัน

5.6.1 คลื่นวิทยุช่วงความถี่ต่ำ (Low frequency: LF) ความถี่ในย่าน 30 -300 กิโลเฮิร์ตซ์ (kHz) บรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ดูดซับคลื่นวิทยุในช่วงความถี่ต่ำไว้อย่างมาก อย่างไรก็ตามคลื่นวิทยุความถี่ต่ำเดินทาง ไปตามพื้นผิวโลกก่อให้เกิดประโยชน์ในด้านเครื่องช่วยนำทาง (Navigation aid) (ตัวอย่างเช่น Long Range Navigation: LORAN) จนกระทั่งเมื่อไม่นานมานี้ได้มีการนำเอาระบบ GPS (Global Positioning System) Navigation มาใช้ทำหน้าที่แทนระบบเดิม

5.6.2 คลื่นวิทยุช่วงความถี่ปานกลาง (MF) มีความถี่ตั้งแต่ 300 กิโลเฮิร์ตซ์ถึง 3 เมกะเฮิร์ตซ์ มีลักษณะเช่นเดียวกับคลื่นวิทยุความถี่ต่ำ กล่าวคือจะเดินทางไปตามพื้นโลก และได้นำมาใช้ในระบบนำทาง (Navigation) พิสัยไกลที่อยู่ใกล้กับพื้นผิวโลกเหมาะสำหรับการเดินเรือและการบินระดับต่ำ (ตัวอย่างเช่น NDB-Non Directional

Beacon; GMDSS- Global Maritime Distress Safety System) ขณะเดียวกันคลื่นวิทยุเอเอ็ม (Amplitude Modulation: AM) อยู่ในช่วงคลื่นนี้เช่นเดียวกัน ในช่วงเวลากลางวันการติดต่อสื่อสารด้วยช่วงคลื่นนี้จะถูกดูดซับโดยชั้น D ในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดเกี่ยวกับขอบเขตหรือระยะทาง ส่วนในเวลากลางคืนคลื่นวิทยุเอเอ็มสามารถส่งคลื่นวิทยุออกไปได้ไกลหลายร้อยกิโลเมตร ทั้งนี้เพราะว่าคลื่นวิทยุช่วงความถี่ปานกลางสะท้อนในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ที่สูงกว่าและมีการดูดซับน้อยกว่า ในช่วงเวลาใกล้ ๆ กับดวงอาทิตย์ขึ้นหรือดวงอาทิตย์ตกพบปัญหาได้อย่างชัดเจนในการติดต่อสื่อสารของสัญญาณคลื่นวิทยุช่วงความถี่ปานกลาง ทั้งนี้เนื่องจากบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาดังกล่าว

5.6.3 คลื่นวิทยุช่วงความถี่สูง (High Frequency: HF) หรือเรียกว่าช่วงคลื่นสั้น (Shortwave) มีช่วงความถี่ระหว่าง 3 - 30 เมกะเฮิร์ตซ์ บรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์สะท้อนช่วงคลื่นสั้นกลับยังพื้นโลกได้โดยง่าย คลื่นวิทยุความถี่สูงนี้มีความสำคัญและมีประโยชน์อย่างมากในการส่งผ่านสัญญาณได้ไกลออกไปนับเป็นพัน ๆ กิโลเมตรตามส่วนโค้งของโลกก่อให้เกิดประโยชน์ในการติดต่อสื่อสารข้ามทวีป ข้ามมหาสมุทรและในพื้นที่ละติจูดสูง (บริเวณขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้) ซึ่งเป็นบริเวณที่การติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียมมีข้อจำกัดหรือแทบจะเป็นไปไม่ได้เลย คลื่นวิทยุช่วงความถี่สูงขึ้นอยู่กับเงื่อนไขต่าง ๆ ของบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์เป็นอย่างมาก และโดยเฉพาะอย่างยิ่งมีความอ่อนไหวต่อการรบกวนของบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์

5.6.4 คลื่นวิทยุช่วงความถี่สูงมาก (Very High Frequency: VHF) มีช่วงความถี่ระหว่าง 30 - 300 เมกะเฮิร์ตซ์ บรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์จะสะท้อนคลื่นวิทยุช่วงความถี่สูงมากได้บางส่วน แต่อาจจะไม่เพียงพอที่จะเชื่อได้ว่า การส่งผ่านสัญญาณไปเหนือเส้นขอบฟ้าแล้วจะสะท้อนกลับมายังพื้นผิวโลก ดังนั้นคลื่นวิทยุความถี่สูงมากจึงมีขอบเขตจำกัดในด้านระยะทางที่สั้นกว่าระหว่างจุดสองจุดบนพื้นโลก นอกจากนี้ช่วงคลื่นดังกล่าวยังใช้สำหรับการติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียม ส่วนด้านการบินได้ใช้คลื่นวิทยุในช่วงความถี่ดังกล่าวด้วย เช่น VOR (VHF Omni-directional Radio Range) DME (Distance Measuring Equipment), TACAN (Tactical Air Navigation System), ILS (Instrument Landing System) และการติดต่อสื่อสารของ ATC (Air Traffic Control) นอกจากนี้คลื่นวิทยุเอฟเอ็ม (Frequency Modulation) และการกระจายคลื่นโทรทัศน์บางส่วนก็จัดอยู่ในช่วงความถี่สูงมากเช่นกัน ซึ่งคลื่นวิทยุทั้งสามที่กล่าวมาข้างต้นอาจกล่าวได้อย่างกว้าง ๆ ว่าอยู่ในช่วงคลื่นไมโครเวฟ

5.6.5 คลื่นวิทยุช่วงความถี่สูง Ultra High Frequency (UHF) มีช่วงความถี่ระหว่าง 300 เมกะเฮิร์ตซ์ ถึง 3 กิกะเฮิร์ตซ์ (GHz) บรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์มีผลกระทบต่อคลื่นวิทยุความถี่ช่วงอัลตราไวโอเล็ตน้อยกว่าคลื่นวิทยุความถี่สูงมาก ดังนั้นแถบคลื่นวิทยุดังกล่าวจึงเป็นที่มาของการส่งผ่านสัญญาณหรือการติดต่อสื่อสารที่เรียกว่า Line - of sight (LOS) ตัวอย่างเช่น การติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียมและระบบ GPS นอกจากนี้การปฏิบัติการด้วยเรดาร์ต่าง ๆ จำนวนมากก็ใช้ย่านความถี่นี้ (ตัวอย่างเช่น L band และ S band) การส่งสัญญาณโทรทัศน์บางส่วนก็ใช้ในย่านความถี่นี้เช่นเดียวกัน

5.6.6 คลื่นวิทยุช่วงความถี่ Super High Frequency (SHF) ความถี่ระหว่าง 3 - 30 GHz ย่านความถี่นี้ใช้กันอย่างแพร่หลายในการติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียม ทั้งนี้เพราะบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์มีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อคลื่นวิทยุย่านความถี่นี้ ในทางกลับกันหากผ่านบริเวณที่มีน้ำฟ้าตกหนัก(ฝน หิมะและลูกเห็บ) จะทำให้สูญเสียพลังงาน ดังนั้นจึงเป็นข้อจำกัดของการส่งผ่านสัญญาณแบบ LOS ระหว่างจุดสองจุดบนพื้นผิวโลก เรดาร์จำนวนมากได้ใช้คลื่นย่านความถี่นี้ในการปฏิบัติการด้วยเช่นกัน (ตัวอย่างเช่น IEEE C-band, X-band, และ K- bands) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการติดตามวัตถุในวงโคจร

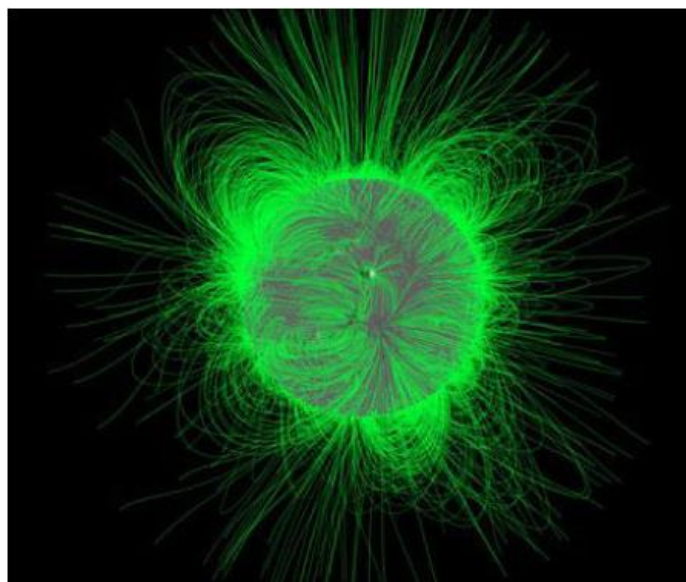
5.6.7 คลื่นวิทยุช่วงความถี่ Extremely High Frequency (EHF) ความถี่ตั้งแต่ 30 - 300 GHz คลื่นความถี่ย่านดังกล่าวเหมาะสำหรับการติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียม เนื่องจากบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ไม่มีผลกระทบต่อคลื่นย่านความถี่นี้ อย่างไรก็ตาม น้ำฟ้า หมอ และไอน้ำในบรรยากาศอาจเป็นสาเหตุทำให้ประสิทธิภาพในการใช้งานคลื่นย่านความถี่นี้ลดลง

6. กิจกรรมของดวงอาทิตย์ (Solar activity)

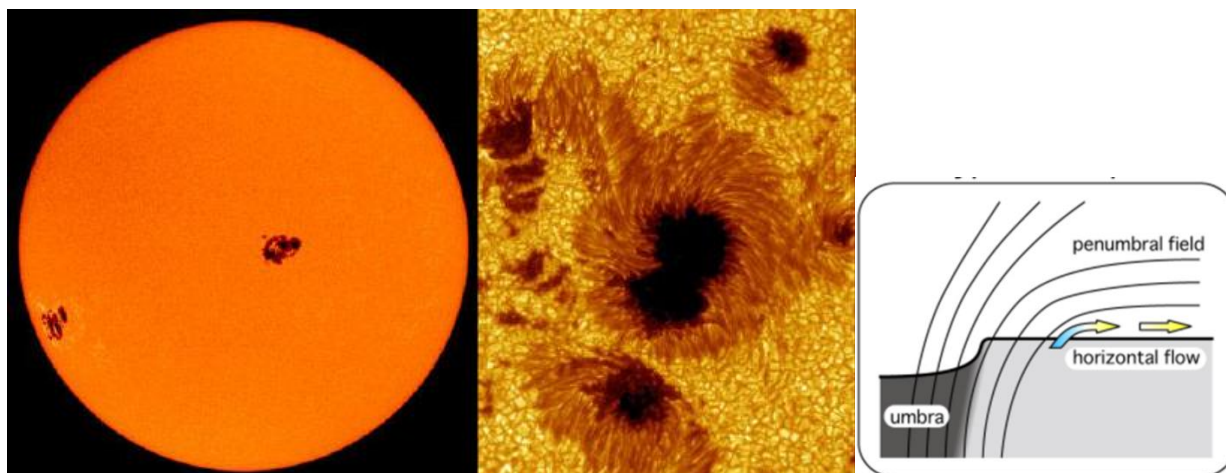
รูปทรงกลมของดวงอาทิตย์ที่ประกอบด้วยพลาสมาไม่คงรูปตลอดเวลา แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามกิจกรรมที่เกิดขึ้นตามห้วงเวลาต่าง ๆ บนดวงอาทิตย์ การหมุนรอบตัวเองของดวงอาทิตย์มีความแตกต่างกันกล่าวคืออัตราเร็วการหมุนไม่เท่ากันเช่นเดียวกับการไหลของของเหลวในอ่างน้ำวน

6.1 บริเวณที่เกิดกิจกรรมของดวงอาทิตย์

บริเวณศูนย์สูตรของดวงอาทิตย์จะหมุนรอบตัวเองหนึ่งรอบใช้เวลาประมาณ 25 วัน และบริเวณขั้วเหนือใต้ของดวงอาทิตย์จะใช้เวลาหมุนรอบตัวเองหนึ่งรอบประมาณ 35 วัน การที่มีอัตราการหมุนรอบตัวเองที่แตกต่างกันทำให้สนามแม่เหล็กที่ระเบิดขึ้นมาจากพื้นผิวของดวงอาทิตย์เกิดการบิดตัว และความเข้มของสนามแม่เหล็กเพิ่มมากขึ้นในบางพื้นที่ รูปที่ 29 แสดงถึงความซับซ้อนของรูปแบบสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น สนามแม่เหล็กที่มีความเข้มมากกว่าในชั้นโฟโตสเฟียร์ผลักดันวัตถุที่ร้อนกว่าของดวงอาทิตย์ออกจากชั้นโฟโตสเฟียร์ ในขณะที่บริเวณเดียวกันที่พื้นผิวของโฟโตสเฟียร์จะเป็นบริเวณที่ยื่นกว่าปรากฏเป็นแถบดำเป็นหย่อม ๆ ซึ่งเรียกว่า จุดมืด (Sun spots) เป็นบริเวณที่บ่งชี้ว่าเป็นบริเวณที่มีการคงอยู่ของความเข้มของสนามแม่เหล็กมากอันเกิดจากการปะทุขึ้นมาจากภายในของดวงอาทิตย์ รูปที่ 30 แสดงจุดที่ดำที่สุดบริเวณศูนย์กลางของจุดมืดบนดวงอาทิตย์เรียกว่า Umbra เป็นบริเวณที่มีความเข้มของสนามแม่เหล็กมากและมีทิศทางในทางตั้งขึ้นไปจากพื้นผิวของดวงอาทิตย์ ส่วนบริเวณโดยรอบจุดมืดที่มีสีดำน้อยกว่าเรียกว่า penumbra เป็นบริเวณที่มีความเข้มสนามแม่เหล็กมากเช่นเดียวกันแต่จะมีทิศทางทอดไปตามแนวขนานกับพื้นผิวของดวงอาทิตย์



รูปที่ 29 สนามแม่เหล็กสุริยะ

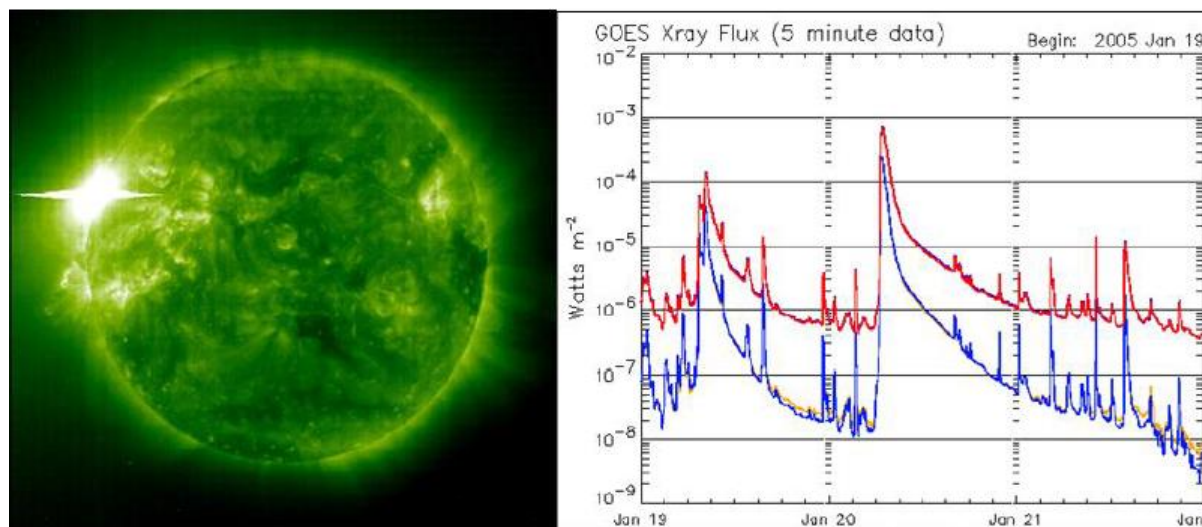


รูปที่ 30 จุดมืดของดวงอาทิตย์บนชั้นโฟโตสเฟียร์ (แสดงภาพดวงอาทิตย์ทั้งดวงและภาพขยายบริเวณจุดมืด)

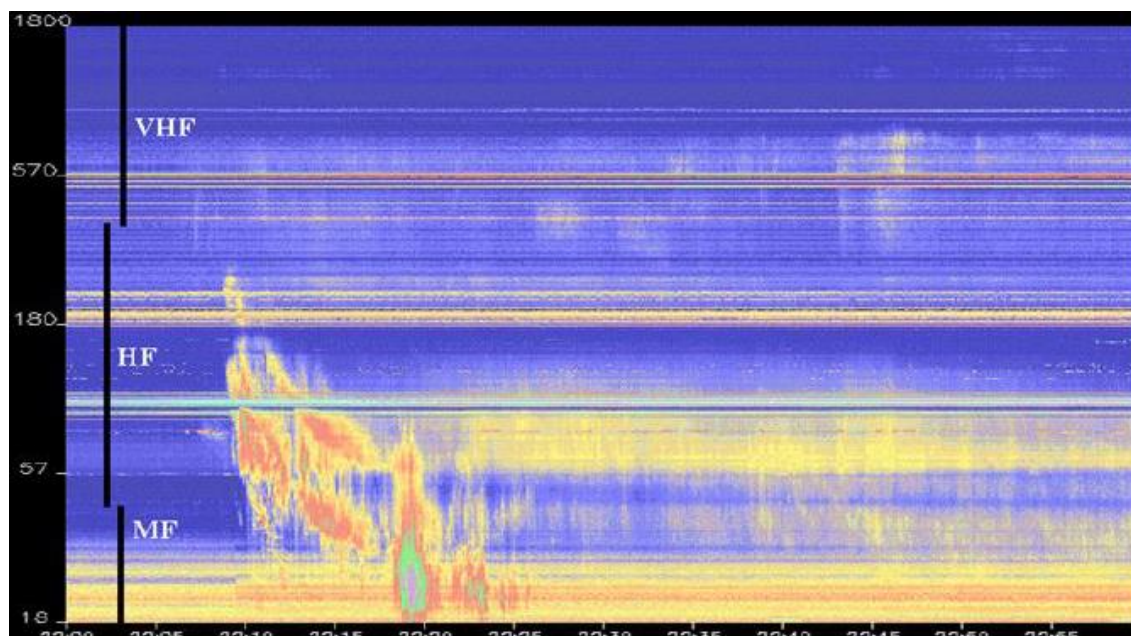
6.2 การลุกจ้าของดวงอาทิตย์ (Solar Flares) (X-ray Flares, Radio Bursts, Energetic Proton Events)

เมื่อสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มสูงที่เกิดบริเวณที่มีกิจกรรมบนดวงอาทิตย์เริ่มเปลี่ยนโครงสร้างที่สลับซับซ้อนและเป็นเงื่อนปมที่ยู่เหยิง สนามแม่เหล็กอาจแตก (snap) ออกอย่างรวดเร็วเพื่อจัดรูปแบบโครงสร้างสนามแม่เหล็กใหม่ที่มีความซับซ้อนลดลง ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า "การลุกจ้าของดวงอาทิตย์" (solar flare) ซึ่งปรากฏเป็นแสงจ้าของรังสีเอ็กซ์ การปะทุของคลื่นวิทยุและอนุภาคพลังงานสูง (energetic charged particles) โดยเฉพาะอนุภาคของโปรตอน และถ้าปรากฏการณ์ที่สำคัญของสภาพอากาศในอวกาศเหล่านี้มีทิศทางมายังโลก

จะมีผลกระทบอย่างมากต่อระบบเทคโนโลยีที่ปฏิบัติการอยู่บนพื้นโลกและในวงโคจรเหนือโลก แสงจ้าของรังสีเอ็กซ์คงอยู่ได้นานนับเป็นสัปดาห์ เช่นเดียวกับการปะทุของคลื่นวิทยุ แต่อนุภาคพลังงานสูงโปรตอนอาจถูกกักไว้ในสนามแม่เหล็กโลกและคงอยู่ได้หลายวันภายหลังที่เกิดการลุกจ้าของดวงอาทิตย์

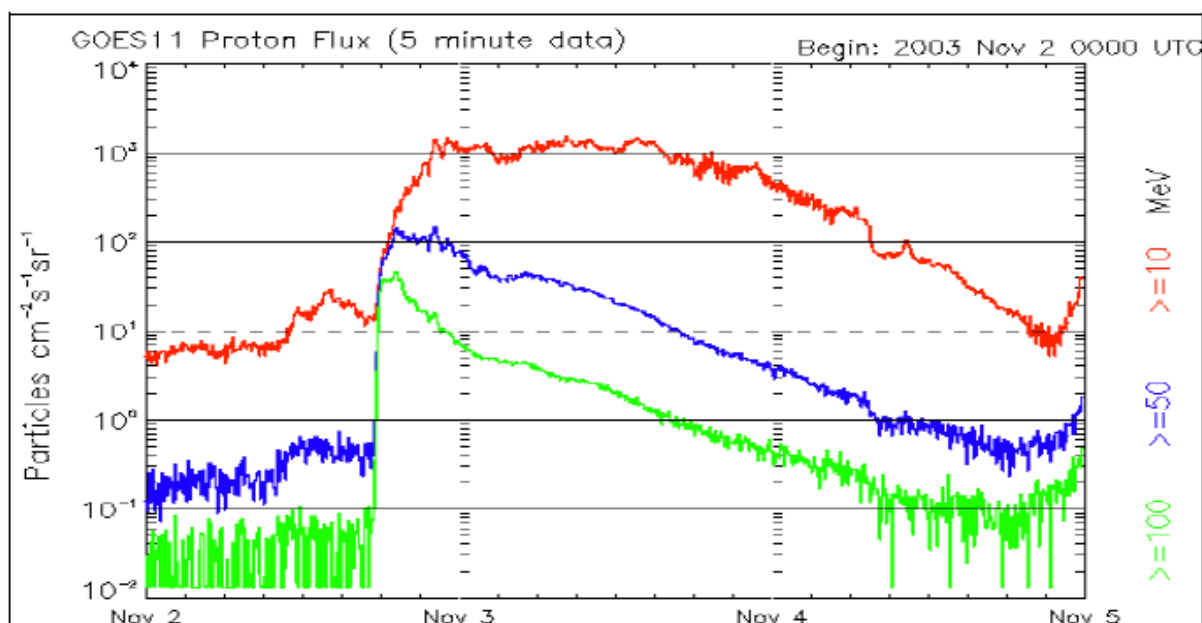


รูปที่ 31 การลุกจ้าของดวงอาทิตย์ (ภาพรังสีเอ็กซ์และค่าฟลักซ์รังสีเอ็กซ์ของสองความยาวคลื่น)



รูปที่ 32 การปะทุของคลื่นวิทยุ

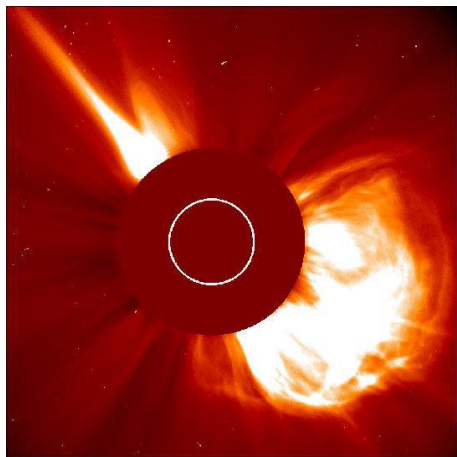
หมายเหตุ การรบกวนสัญญาณอย่างมากในคลื่นวิทยุความถี่สูง (HF) และความถี่ในย่านปานกลาง (MF) และรบกวนเพียงเล็กน้อยบริเวณแถบด้านล่างของคลื่นความถี่ VHF สำหรับเส้นในแนวนอนแสดงถึงสัญญาณคลื่นที่ถูกสร้างขึ้นมา เช่น สถานีวิทยุกระจายเสียง (radio broadcast stations)



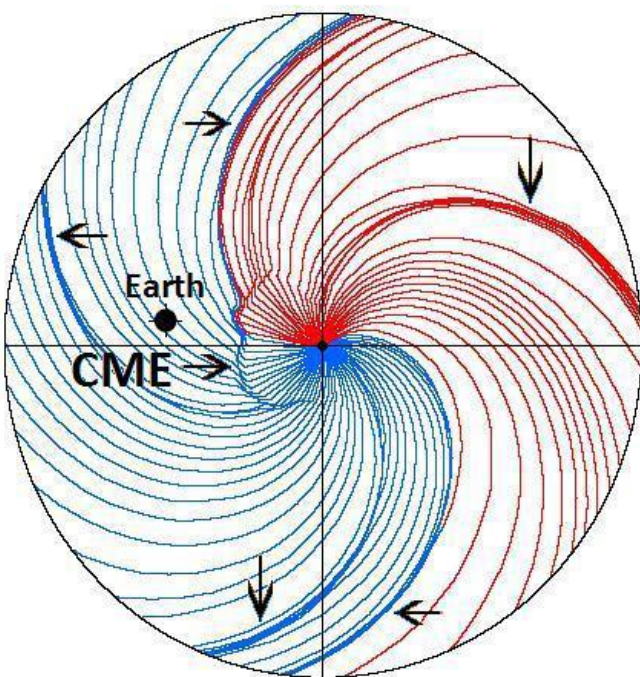
รูปที่ 33 อนุภาคพลังงานสูงโปรตอน (แสดงระดับความแตกต่างของอนุภาคพลังงานสูง 3 ระดับ)

6.3 การปลดปล่อยก้อนมวลจากโคโรนา (Coronal mass ejection : CME) สunamiแม่เหล็กที่ซับซ้อนในชั้นโคโรนาของดวงอาทิตย์เหล่านั้นบางครั้งอาจมีการจัดเรียงตัวใหม่ ด้วยวิธีการดังกล่าวทำให้เกิดการปลดปล่อยกลุ่มของพลาสมาสู่อวกาศ เรียกว่า การปลดปล่อยก้อนมวลจากโคโรนา (Coronal mass ejection : CME) รูปที่ 34 แสดงการปลดปล่อยก้อนมวลจากโคโรนาเหนือแผ่นทรงกลมที่ปิดบังแสงสว่างจ้าของดวงอาทิตย์ (ตำแหน่งของดวงอาทิตย์แสดงโดยวงกลมสีขาว) ส่วนการปลดปล่อยก้อนมวลจากโคโรนาที่มีแสงสีอ่อนกว่าปรากฏในบริเวณด้านล่างทางด้านซ้ายของภาพ การปลดปล่อยก้อนมวลอาจเกิดร่วมกับการลุกจ้าของดวงอาทิตย์(solar flare) แต่ก็ไม่จำเป็นเสมอไป การปลดปล่อยก้อนมวลจากโคโรนาที่แทรกอยู่ในลมสุริยะ (solar wind) โดยทั่วไปมีลักษณะของแนวที่ไม่ต่อเนื่องกัน (discontinuities) ของความหนาแน่น ความเร็ว อุณหภูมิและสนามแม่เหล็ก เช่นเดียวกับแนวที่ไม่มีความต่อเนื่องกันของสนามแม่เหล็กระหว่างดวงดาวดังแสดงในรูปที่ 35 (พร้อมกับแนวที่ไม่มีความต่อเนื่องอื่น ๆ) แนวที่ไม่มีความต่อเนื่องดังกล่าวมีทิศทางการแพร่กระจายออกไปจากดวงอาทิตย์ และหากแนวที่แพร่กระจายออกมามีทิศทางการเคลื่อนตัวเข้าหาโลกก็จะปะทะกับสนามแม่เหล็กโลกและสิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งที่จะเกิดตามมาคือผลกระทบต่อระบบเทคโนโลยีอย่างหลากหลาย

การปลดปล่อยก้อนมวลจากโคโรนาปะทุออกมาจากดวงอาทิตย์นับเป็นเวลาหลายสิบนาทีถึงหลายชั่วโมง อย่างไรก็ตามจะใช้เวลาสองวันหรือมากกว่าที่ผลกระทบจากแนวที่ไม่มีความต่อเนื่องกันของลมสุริยะนี้จะปรากฏที่โลกเราอย่างเต็มที่



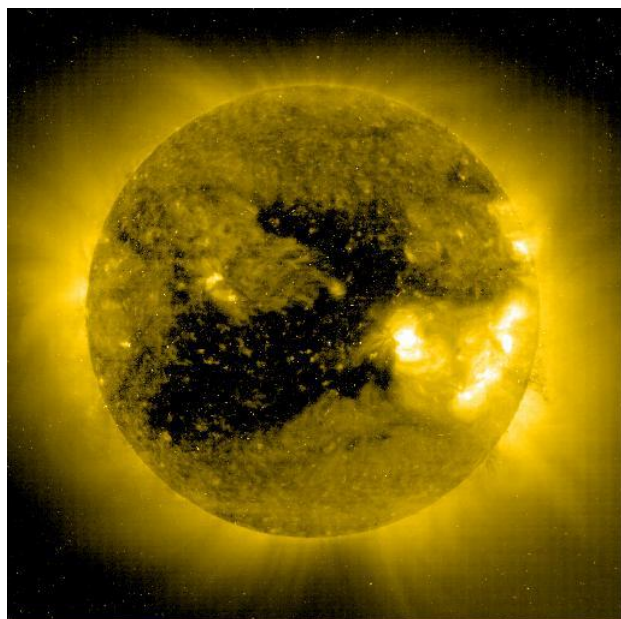
รูปที่ 34 การปลดปล่อยก้อนมวลจากโคโรนา



รูปที่ 35 สนามแม่เหล็กระหว่างดวงดาวอันเนื่องจากการปลดปล่อยก้อนมวลจากโคโรนา

6.4 โคโรนาโฮลส์ (Coronal Holes) การผสมผสานกันของความซับซ้อนของสนามแม่เหล็กภายในดวงอาทิตย์และเหนือพื้นผิวของดวงอาทิตย์ก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กขนาดใหญ่และพวยพุ่งขึ้นไปในอวกาศ บริเวณดังกล่าวส่งผลทำให้อนุภาคที่ประกอบไปด้วยประจุเคลื่อนตัวออกจากดวงอาทิตย์เร็วขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งอิเล็กตรอนมีอัตราเร่งที่จะออกห่างจากดวงอาทิตย์เพิ่มขึ้น ถ้าพิจารณาจากภาพเอ็กซ์เรย์หรือภาพอัลตราไวโอเลตพลังงานสูง (extreme ultraviolet) บริเวณนี้จะค่อนข้างมืดเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่มีแสงซึ่งเป็นบริเวณที่พลาสมาถูกกักไว้ในบริเวณอื่น ๆ ในชั้นโคโรนา ด้วยเหตุนี้จึงเรียกว่า coronal hole มองเห็นได้อย่างชัดเจนในภาพอัลตราไวโอเลตดังแสดงในรูปที่ 36 กลุ่มของอนุภาคที่เคลื่อนที่เร็วที่มีแหล่งกำเนิดจาก coronal holes เป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดแนวที่ไม่มีมีความต่อเนื่องกันของลมสุริยะเคลื่อนที่เข้าใกล้กันและซ้อนทับกันในท้ายที่สุด ดังเช่นรูปแบบที่แสดงเป็นลูกศรสีดำในรูปที่ 35 ลมสุริยะเหล่านี้หากมีทิศทางมายังโลกจะปะทะกับสนามแม่เหล็กโลก ผลลัพธ์ที่สำคัญคือจะส่งผลกระทบต่อระบบเทคโนโลยีอย่างกว้างขวาง

โคโรนาโฮลส์ เกิดขึ้นได้นานนับสัปดาห์ถึงหลายเดือน แต่เนื่องจากดวงอาทิตย์มีการหมุนรอบตัวเอง แนวของอนุภาคความเร็วสูงที่เกิดจาก coronal hole แต่ละแนวจะมีแนวโน้มกวาดผ่านโลกทุก ๆ สัปดาห์โดยประมาณ



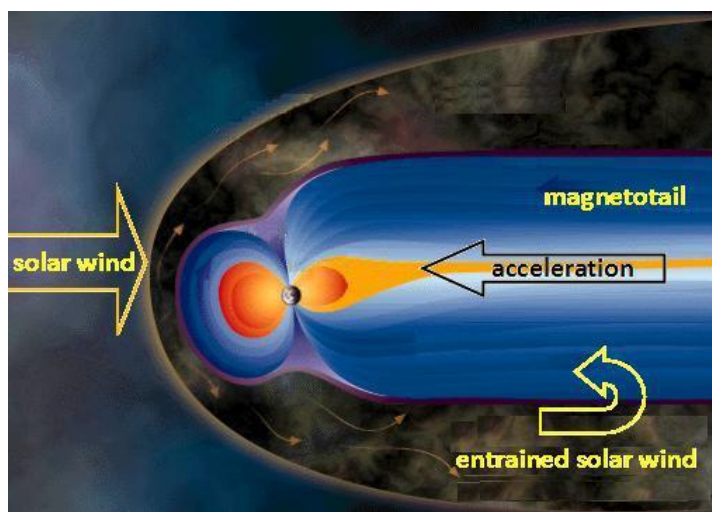
รูปที่ 36 โคโรนาโฮลส์ในภาพอัลตราไวโอเลต (พื้นที่มืดบริเวณศูนย์กลางของดวงอาทิตย์)

6.5 พายุแม่เหล็กโลก (Geomagnetic Storm)

ลมสุริยะจะเป่าเบียดไปรอบโลกโดยจะเบียดอัดกันมากบริเวณสนามแม่เหล็กโลกในด้านที่หันเข้าหาดวงอาทิตย์และไหลออกไปทางด้านข้างทั้งสองด้านก่อนที่จะลากยาวออกไปทางด้านหลังทำให้เกิดเป็นส่วนหางของ

แมกนีโตเทล (magnetotail) แนวที่ไม่มีความต่อเนื่องกันของความหนาแน่น ความเร็ว อุณหภูมิและสนามแม่เหล็กที่ฝังตัวอยู่ในลมสุริยะจะรบกวนสนามแม่เหล็กโลกทำให้เกิดความผันผวนของความเข้มของสนามแม่เหล็กและการปรับเปลี่ยนทิศทาง ซึ่งเรียกว่า พายุแม่เหล็กโลก(Geomagnetic storm) ซึ่งแนวที่ไม่มีความต่อเนื่องของลมสุริยะนี้มีสาเหตุเกิดจากปรากฏการณ์การปลดปล่อยก้อนมวลจากโคโรนา โคโรนาโฮลส์และสนามแม่เหล็กกระหว่างดวงดาว (Interplanetary Magnetic Field : IMF)

เมื่อสนามแม่เหล็กโลกถูกรบกวนด้วยเหตุนี้ ลมสุริยะที่ประกอบด้วยพลาสมา(ส่วนใหญ่เป็นอิเล็กตรอนและโปรตอน)จะเกิดความปั่นป่วนและคลุกเคล้าเข้าไปในส่วนหางของแมกนีโตเทล (magnetotail) การไหลทะลักของอนุภาคความเร็วสูงจะเคลื่อนตัวตามเส้นแรงสนามแม่เหล็กมุ่งสู่โลก ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการคลุกเคล้ากันของไอออนกับอิเล็กตรอนที่กักเก็บอยู่ภายในสนามแม่เหล็กโลก การผันผวนของสนามแม่เหล็กโลกในขณะเกิดพายุแม่เหล็กโลกจะเพิ่มอัตราเร่งให้กับอนุภาคที่ถูกกักไว้ ส่วนใหญ่คืออิเล็กตรอนให้มีพลังงานสูง ซึ่งอนุภาคพลังงานสูงเหล่านี้บางส่วนจะไหลลงสู่บริเวณขั้วโลก (ตามเส้นแรงสนามแม่เหล็กที่รวมกันหนาแน่นบริเวณนั้น) และต่อจากนั้นก็เคลื่อนตัวไปชนกับโมเลกุลของแก๊สในบรรยากาศชั้นเทอร์โมสเฟียร์ ผลกระทบจากการชนกันนี้ทำให้เกิดปรากฏการณ์ออโรรา (aurora) มีลักษณะคล้ายกับผ้าม่านเรืองแสงบริเวณขั้วโลกเหนือ เรียกว่า แสงเหนือ (aurora borealis หรือ northern lights) สำหรับขั้วโลกใต้พบเห็นได้น้อยกว่าแต่มีความรุนแรงและความถี่ในการเกิดเท่ากัน เรียกว่า aurora australis หรือแสงใต้ (southern lights)



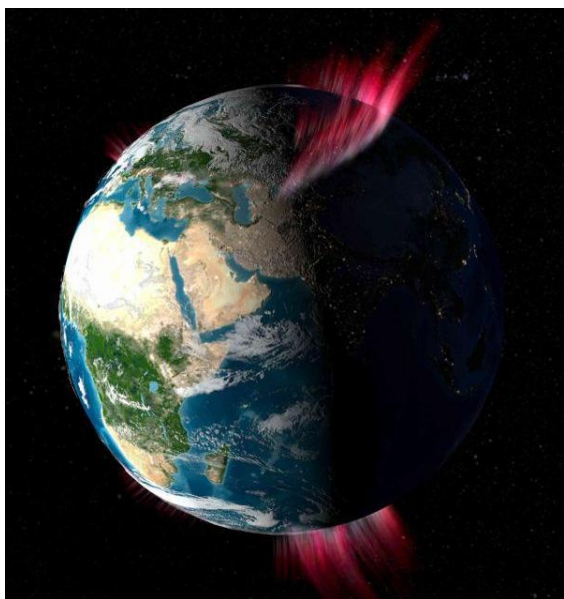
รูปที่ 37 รูปแบบของพายุแม่เหล็กโลก



รูปที่ 38 แสงออโรราที่ถ่ายจากกระสวยอวกาศ

แกนของสนามแม่เหล็กโลกเอียงประมาณ 11 องศาจากแกนการหมุนของโลก ขั้วแม่เหล็กในซีกโลกเหนือ(magnetic north pole) จะอยู่บริเวณด้านตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศแคนาดาในมหาสมุทรแถบขั้วโลกเหนือ และขั้วแม่เหล็กในซีกโลกใต้ (magnetic south pole) อยู่เหนือประเทศออสเตรเลียที่ติดกับแถบขั้วโลกใต้ เชื่อกันว่าการหมุนเวียนอย่างช้า ๆ ของเหล็กหลอมละลายบริเวณแก่นโลกชั้นนอก (Outer core) เป็นสาเหตุทำให้ขั้วแม่เหล็กโลกมีการเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ และไม่มีที่สิ้นสุดเป็นเวลานานนับปี ระหว่างที่เกิดพายุแม่เหล็กโลกออโรราเกิดขึ้นเป็นวงรอบบริเวณขั้วโลกคล้ายกับมงกุฎเรียกว่า auroral oval ซึ่งมีขั้วแม่เหล็กเป็นศูนย์กลางไม่ใช่ขั้วโลกในพิกัดทางภูมิศาสตร์ ด้วยเหตุนี้เองแสงเหนือจึงถูกตรวจพบในอวกาศและแคนาดามากกว่าที่จะพบในแถบสแกนดิเนเวียและไซบีเรียซึ่งจัดอยู่ในแนวละติจูดพิกัดภูมิศาสตร์เดียวกัน หากพายุแม่เหล็กโลกมีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นวงของออโรราจะมีความกว้างเพิ่มมากขึ้น แสงเหนือที่เกิดขึ้นจะแผ่ลึกลงมาทางใต้ ระหว่างที่มีความรุนแรงมากเป็นพิเศษ ออโรราถูกตรวจพบว่าไกลลงมาทางใต้ได้มากที่สุดถึงประเทศเม็กซิโกและคิวบา

โดยปกติการปั่นป่วนของลมสุริยะที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้งสามารถคงอยู่ได้นานนับหลายชั่วโมง อย่างไรก็ตามผลกระทบที่ตกค้างในสนามแม่เหล็กโลกยังคงอยู่ยาวนานได้นับหลายชั่วโมงถึงหลายวัน



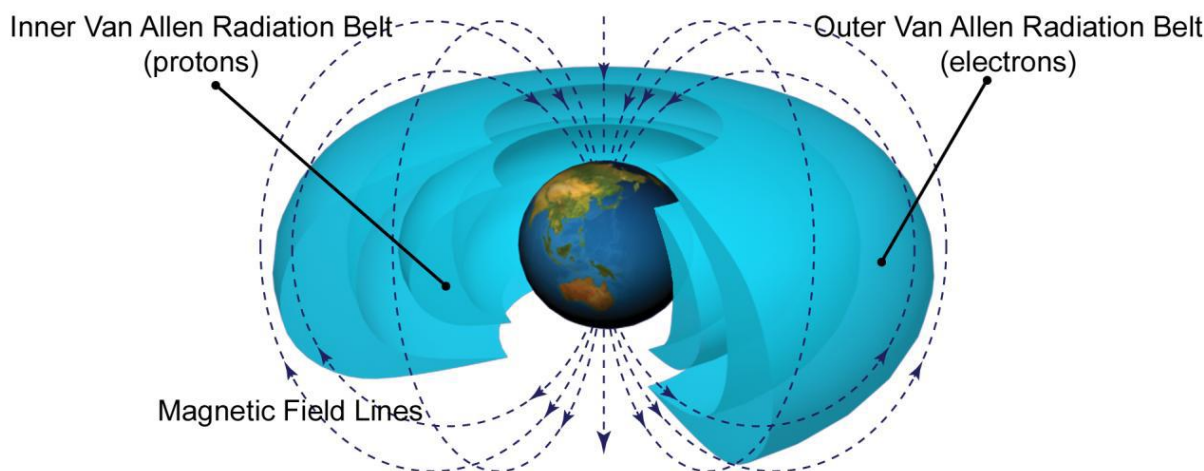
รูปที่ 39 แสงออโรรา (Auroral Ovals) หรือแสงเหนือ แสงใต้

6.6 แถบรังสีแวนแอลเลน (Van Allen Radiation Belts)

อนุภาคพลังงานสูงที่ถูกสนามแม่เหล็กโลกกักไว้จนกระทั่งเคลื่อนตัวลงไปยังปะทะกับบรรยากาศของโลก และจบลงที่ปรากฏการณ์ออรา นั่นนับว่าเป็นสัดส่วนเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่หลุดเข้าสู่บรรยากาศในแถบละติจูดสูง ส่วนที่เหลือจะถูกกักไว้เป็นเวลานานนับเดือนจนถึงปีก็อาจเป็นไปได้ อันที่จริงอนุภาคที่ถูกกักในสนามแม่เหล็กโลกเคลื่อนที่วนไปมาระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กที่รวบเข้าหากัน (converging magnetic field lines) ในบริเวณแถบขั้วโลกก่อให้เกิดรูปทรงคล้ายโดนัทรอบโลกเรียกว่าแถบรังสีแวนแอลเลน (Van Allen Radiation Belts) เรียกตามชื่อของผู้ค้นพบเป็นคนแรกที่น่าเสนอและพิสูจน์ว่ามีการเกิดขึ้นจริง อนุภาคที่ถูกกักเหล่านี้เป็นอนุภาคพลังงานสูงมากจึงจัดเป็นอนุภาคที่แผ่รังสีได้ (particle radiation) สามารถทะลุทะลวงและมีปฏิสัมพันธ์กับวัสดุที่ใช้สร้างยานอวกาศหรือแม้แต่ร่างกายของมนุษย์เช่นเดียวกับการกระทำของรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา

แถบรังสี (radiation belts) จำแนกออกได้สองแถบ คือ แถบรังสีแวนแอลเลนชั้นนอก (Outer van allen radiation belt) ประกอบไปด้วยสสารของลมสุริยะที่สนามแม่เหล็กโลกกักไว้จากบริเวณส่วนหางของแมกนีโตเทล (magnetotail) ความเข้มและรูปทรงของสนามแม่เหล็กในแถบรังสีชั้นนอกช่วยเสริมอัตราเร่งให้กับอิเล็กตรอน สำหรับแถบที่สองเรียกว่าแถบรังสีแวนแอลเลนชั้นใน (Inner belt) (บริเวณด้านล่างจะมีปฏิสัมพันธ์กับส่วนบนของบรรยากาศของโลก) ประกอบไปด้วยอนุภาคพลังงานสูงเช่นเดียวกัน แต่แหล่งที่มาเป็นที่น่าสนใจอย่างมาก โดยเกือบทุกครั้งที่เกิดฝนชูของรังสีคอสมิก (shower of cosmic rays) ตกลงสู่โลกซึ่งมาทุกทิศทางและชนกับโมเลกุลของบรรยากาศ

การจัดกระจายของนิวเคลียสอะตอม อนุภาคของโปรตอนที่เกิดจากชนกันถูกปลดปล่อยให้เป็นอิสระและเคลื่อนที่ไปตามแนวของเส้นแรงแม่เหล็กไปสู่อวกาศและเป็นอนุภาคที่อยู่ในแถบรังสีแวนแอลเลนชั้นใน



รูปที่ 40 แถบรังสีแวนแอลเลน (Van Allen Radiation Belts)

6.7 วงรอบการหมุนรอบตัวเองของดวงอาทิตย์ในรอบ 27 วัน (The 27 days Solar Rotation Cycle)

หากมองจากโลกที่กำลังโคจรรอบดวงอาทิตย์ในทิศทางเดียวกับการหมุนรอบตัวเองของดวงอาทิตย์ จะพบว่าบริเวณศูนย์สูตรของดวงอาทิตย์ใช้เวลาหมุนรอบตัวเองประมาณ 27 วันของเวลาในโลก ในขณะที่ละติจูดที่สูงกว่าจะใช้เวลานานกว่า ดังนั้นรูปแบบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนดวงอาทิตย์มีแนวโน้มที่จะปรากฏในช่วงระยะเวลา 27 วัน

ตัวอย่างเช่น บริเวณที่มีกิจกรรมเกิดขึ้นใกล้กับขอบด้านข้างของดวงอาทิตย์เป็นเวลาสองสัปดาห์และเคลื่อนที่หมุนออกไปจนไม่สามารถสังเกตเห็นได้ สามารถคาดได้ว่ากิจกรรมดังกล่าวจะปรากฏให้เห็นอีกครั้งในสองสัปดาห์ถัดมา หากกิจกรรมนั้นยังเกิดขึ้นอยู่

อนุภาคความเร็วสูงในกระแสลมสุริยะที่เกิดจากโคโรนาโฮลส์เป็นปรากฏการณ์อีกอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นในลักษณะที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

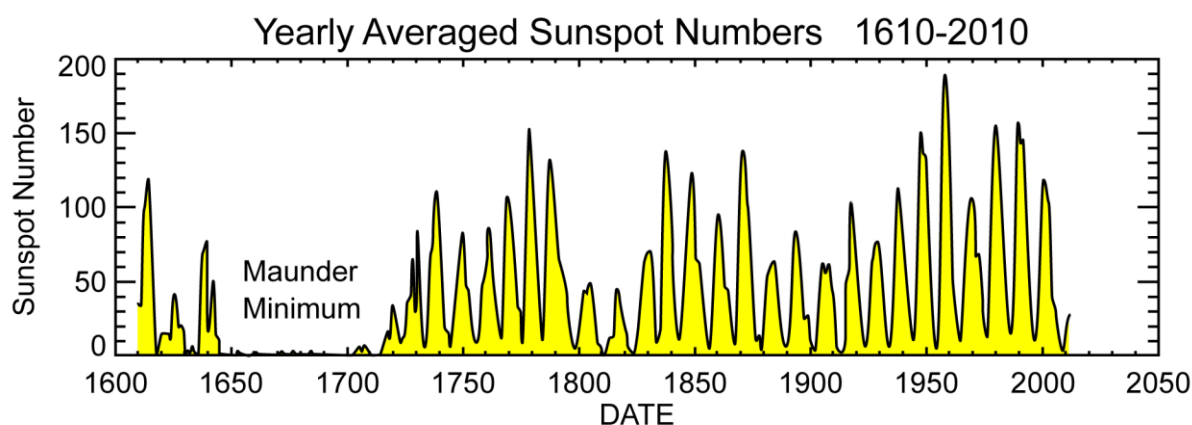
6.8 วัฏจักรกิจกรรมดวงอาทิตย์ในวงรอบ 11 ปี (The 11-year Solar Activity Cycle)

การปรากฏพื้นที่กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับจุดมืด (Sunspots) การลุกจ้า (flares) และ การปลดปล่อยก้อนมวลจากโคโรนาไม่ได้คงที่ตลอดเวลา แต่ปรากฏการณ์ต่าง ๆ เหล่านี้จะเกิดเป็นวัฏจักรในวงรอบประมาณ 11 ปี ซึ่งเราสังเกตเห็นวัฏจักรดังกล่าวมาแล้วเป็นเวลานานนับทศวรรษ ในระหว่างช่วงครึ่งหลังของศตวรรษที่ 17 กิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นขาดหายไปหรือแตกต่างไปจากค่าปกติมาก เช่นการเกิดจุดมืด ซึ่งเรียกว่า ช่วงต่ำสุดมอนเดอร์ (Maunder Minimum)

ในช่วงที่เกิดกิจกรรมบนดวงอาทิตย์ต่ำสุด (Solar minimum) เป็นช่วงเริ่มต้นของวัฏจักร กิจกรรมโดยมีคุณลักษณะของพื้นที่การเกิดกิจกรรม (active region) และเกี่ยวข้องกับจุดมืดเพียงเล็กน้อย การลุกจ้าของดวงอาทิตย์ (Solar flares) เกิดขึ้นค่อนข้างน้อยและความถี่ของการเกิดการปลดปล่อยก้อนมวลจากโคโรนาก็มีค่อนข้างน้อย อย่างไรก็ตามโคโรนาโฮลส์จะเป็นบริเวณกว้างและคงอยู่ได้นานกว่า

สองสามปีถัดจากช่วงที่เกิดกิจกรรมบนดวงอาทิตย์ต่ำสุดแล้ว พื้นที่การเกิดกิจกรรม จุดมืด และการลุกจ้าของดวงอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นทั้งความถี่และความรุนแรง ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของอัตราการหมุนรอบตัวเองของดวงอาทิตย์ทำให้สนามแม่เหล็กที่อยู่ใต้พื้นผิวของดวงอาทิตย์ม้วนบิดตัวขึ้น จนในที่สุดจะทะลุผ่านชั้นโฟโตสเฟียร์เกิดเป็นบริเวณที่มีกิจกรรม (active region) ขึ้น ซึ่งเกี่ยวข้องกับจุดมืดบนดวงอาทิตย์ กิจกรรมเหล่านี้จะเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนสูงที่สุด (กล่าวโดยทั่วไปคือจำนวนของการสังเกตเห็นจุดมืดบนดวงอาทิตย์มีมากที่สุด) เรียกว่า ช่วงที่เกิดกิจกรรมบนดวงอาทิตย์มากที่สุด (Solar maximum) ซึ่งอาจยาวนานหลายเดือนหรือสองถึงสามปี ดังนั้นตลอดช่วงเวลาหลาย ๆ ปีของการเกิดกิจกรรมบนดวงอาทิตย์มากที่สุดจะเปลี่ยนกลับลงสู่ช่วงที่เกิดกิจกรรมบนดวงอาทิตย์ต่ำสุดอีกครั้ง ก่อนที่จะวงจรรอบใหม่จะเกิดต่อเนื่องกันไป

วัฏจักรกิจกรรมดวงอาทิตย์ในวงรอบ 11 ปี แสดงดังรูปที่ 41 ช่วงที่เกิดกิจกรรมบนดวงอาทิตย์ต่ำสุดเกิดในระหว่างปี ค.ศ.2008-2009 คาดได้ว่าช่วงที่เกิดกิจกรรมบนดวงอาทิตย์มากที่สุดจะเกิดขึ้นราว ๆ ปี ค.ศ. 2012 หรือ 2013 นั่นคือมีโอกาสเกิดการลุกจ้า การปลดปล่อยก้อนมวลจากโคโรนาและโปรตอนพลังงานสูงจะมีความถี่เพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 41 วัฏจักรกิจกรรมดวงอาทิตย์ในวงรอบ 11 ปี (ณ ปัจจุบันเดือนธันวาคม 2010)

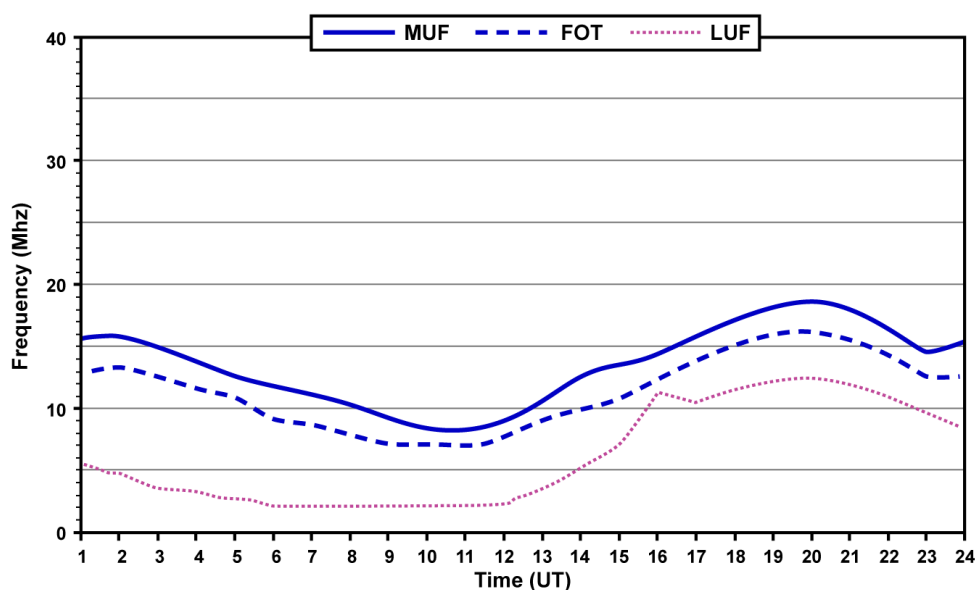
7. ผลกระทบของสภาพอากาศในอวกาศ (Space Weather Impacts)

ผลกระทบโดยตรงจากสภาพอากาศในอวกาศต่อการบินประกอบด้วยการลดทอนสัญญาณคลื่นวิทยุหลายย่านความถี่และอันตรายจากรังสี สำหรับสัญญาณคลื่นวิทยุรวมทั้งที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร เรดาร์และการทำงานของระบบนำทาง (navigation functions)

7.1 ผลกระทบต่อคลื่นสัญญาณความถี่สูง (HF Signal impacts)

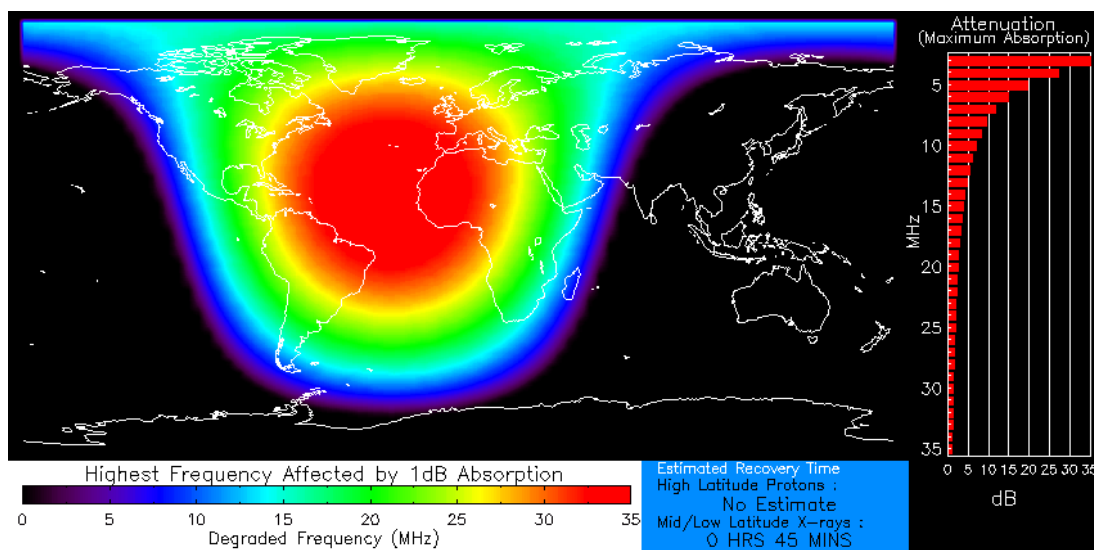
การติดต่อสื่อสารและการทำงานของเรดาร์ในช่วงคลื่นวิทยุย่านความถี่สูงค่อนข้างจะอ่อนไหวต่อการรบกวนที่เกิดขึ้นในบรรยากาศในชั้นไอโอโนสเฟียร์ ทั้งนี้คลื่นวิทยุย่านความถี่สูงโดยปกตินำมาประยุกต์ใช้ในการติดต่อสื่อสารระยะไกล (long range application) ซึ่งนับว่ามีความสำคัญอย่างมากและไม่สามารถเพิกเฉยต่อผลกระทบที่เกิดขึ้นได้เลยเพราะผลกระทบต่อคลื่นวิทยุย่านความถี่สูงอาจเกิดขึ้นได้ทุกแห่งตามแนวที่ส่งสัญญาณ ไม่ใช่จะมีแต่ผลกระทบต่อสถานีส่งสัญญาณหรือสถานีรับสัญญาณเท่านั้น

ช่วงรุ่งอรุณและพลบค่ำ ซึ่งเป็นช่วงเวลาใกล้กับดวงอาทิตย์ขึ้นและดวงอาทิตย์ตก นับว่าเป็นช่วงที่มีความทำลายอย่างมากต่อการทำงานของคลื่นวิทยุย่านความถี่สูง เพราะว่าในช่วงเวลาดังกล่าวระดับที่อยู่ต่ำ ๆ ในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์จะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ บ่อยครั้งที่สถานีส่งสัญญาณคลื่นวิทยุย่านความถี่สูงจะใช้ความถี่ที่แตกต่างกันระหว่างกลางวันและกลางคืนเพื่อให้เหมาะกับเงื่อนไขของบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยปกติการส่งสัญญาณในช่วงเวลากลางวันจะใช้น่านความถี่สูงกว่าในช่วงกลางคืนเพื่อประสิทธิภาพในการรับสัญญาณที่ดี ระหว่างช่วงรุ่งอรุณและพลบค่ำมักจะก่อปัญหาให้กับผู้ใช้ว่าจะเลือกใช้น่านความถี่ใดระหว่างย่านความถี่ที่ใช้ในช่วงกลางวันหรือย่านความถี่ที่ใช้ระหว่างเวลากลางคืน เพื่อที่จะได้รับประสิทธิภาพสูงสุดในการรับจนกว่าจะเข้าสู่ช่วงกลางวันหรือกลางคืน แต่ในช่วงเวลาดังกล่าวจะต้องเลือกเพียงสัญญาณคลื่นวิทยุย่านความถี่ใดความถี่หนึ่งเท่านั้น กราฟในรูปที่ 42 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงคลื่นวิทยุย่านความถี่สูงที่ใช้งานได้ตลอดทั้งวันของจานรับสัญญาณเฉพาะแบบ โดยแสดงให้เห็นอยู่ในช่วงความถี่สูงสุดที่สามารถใช้งานได้ (Maximum useable frequency : MUF) ช่วงความถี่ต่ำสุดที่สามารถมาใช้งานได้ (Lowest useable frequency : LUF) และแสดงย่านความถี่ที่เหมาะสมในการส่งคลื่นสัญญาณวิทยุ (Frequency of optimum transmission : FOT)



รูปที่ 42 ขอบเขตของคลื่นย่านความถี่สูงในรอบวัน (HF window Throughout the Day)

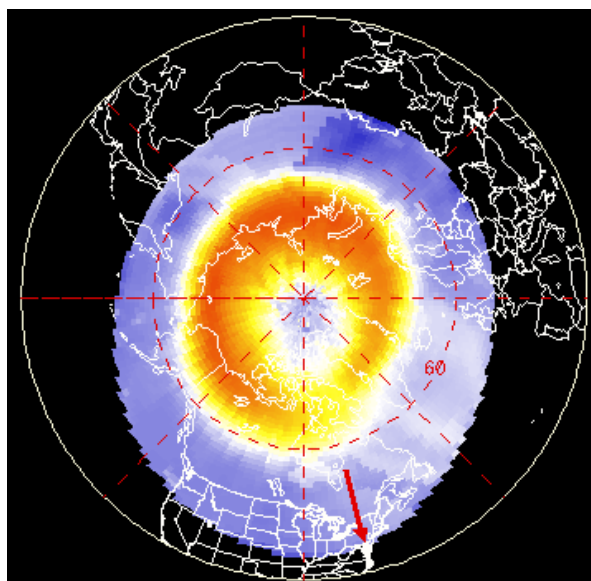
การลุกจ้าของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Flares) เมื่อดวงอาทิตย์ก่อให้เกิดการลุกจ้าของรังสีเอ็กซ์จะส่งผลทำให้ชั้นไอโอโนสเฟียร์ในซีกโลกที่เป็นเวลากลางวันถูกรบกวน ชั้นไอโอโนสเฟียร์ที่อยู่ในระดับต่ำ (ชั้น D) มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นสามารถดูดซับสัญญาณคลื่นวิทยุย่านความถี่สูงได้ หากการลุกจ้าของรังสีเอ็กซ์มีกำลังอ่อนอาจทำให้ชั้น D ดูดซับคลื่นสัญญาณคลื่นวิทยุย่านความถี่สูงได้เพียงบางส่วนโดยเฉพาะบริเวณแถบด้านล่างของคลื่นวิทยุความถี่สูง และถ้าหากรังสีเอ็กซ์มีกำลังปานกลางก็จะเพิ่มการดูดซับบริเวณแถบตอนกลางของคลื่นวิทยุความถี่สูง และถ้ารังสีเอ็กซ์มีกำลังแรงก็จะดูดซับสัญญาณคลื่นวิทยุความถี่สูงได้ทั้งหมดและสามารถดูดซับแถบตอนล่างของคลื่นวิทยุ VHF ได้อีกด้วย ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า การขาดหายของคลื่นสัญญาณวิทยุความถี่สูง (HF blackout or Shortwave fade) ซึ่งขึ้นอยู่กับความรุนแรงและความยาวนานของรังสีเอ็กซ์ คลื่นวิทยุความถี่สูงอาจถูกดูดซับเป็นเวลานานหลายสิบนาที่ถึงหลายชั่วโมง แต่พึงระลึกไว้เสมอว่าผลกระทบที่มีต่อการติดต่อสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุความถี่สูงเกิดขึ้นเฉพาะเวลากลางวันเท่านั้น ขณะที่บรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์สัมผัสกับรังสีจากดวงอาทิตย์ รูปที่ 43 แสดงขอบเขตพื้นที่ของผลกระทบจากการลุกจ้าของรังสีเอ็กซ์ต่อคลื่นวิทยุความถี่สูงรอบโลก การลดทอนสัญญาณคลื่นวิทยุแสดงด้วยค่าการสูญเสียพลังงาน (attenuation) มีหน่วยเป็นเดซิเบล (decibels)



รูปที่ 43 แผนที่การดูดซับสัญญาณคลื่นวิทยุในชั้น D ระหว่างการเกิดการลุกจ้าของรังสีเอ็กซ์

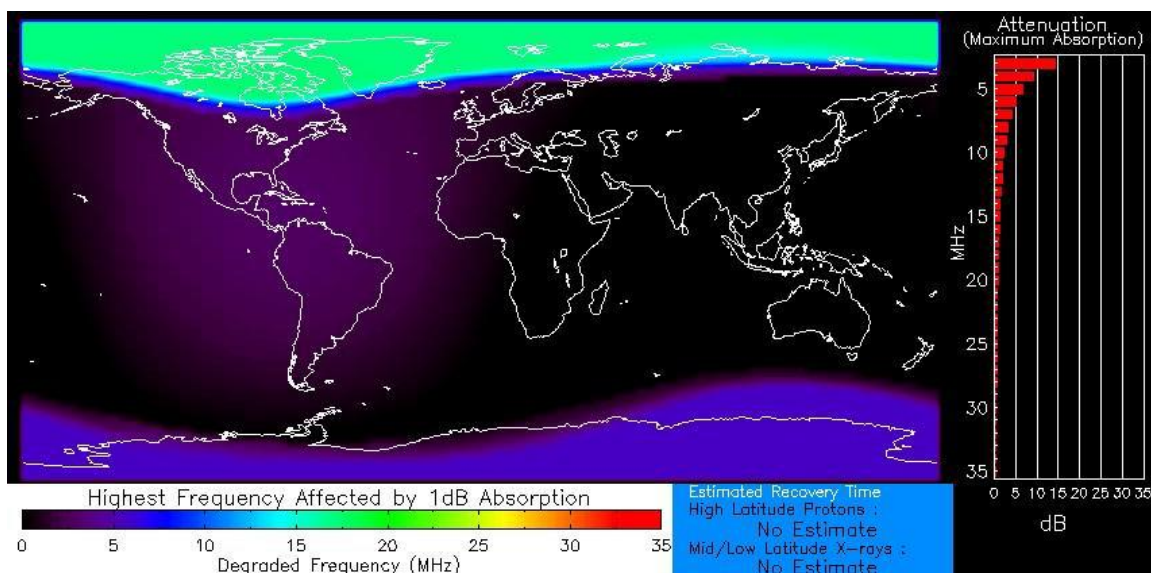
พายุแม่เหล็กโลก (Geomagnetic storms) ทำให้เกิดออโรราที่สวยงาม แต่ก็ก่อให้เกิดปัญหาอย่างสำคัญต่อผู้ใช้การติดต่อสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุในย่านความถี่สูงเช่นกัน อนุภาคพลังงานสูง (energetic particles) ที่เข้ามาในชั้นบรรยากาศก่อให้เกิดการปั่นป่วนและรบกวนโครงสร้างในทางตั้งของบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์เป็นสาเหตุที่ทำให้คลื่นวิทยุความถี่สูงเกิดการแยกออกและหักเหไปในทุกทิศทาง มีการดูดซับสัญญาณและการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคลื่น (Scintillation : คือ การเปลี่ยนแปลงแบบสุ่มอย่างรวดเร็วของความแรงของสัญญาณ ทิศทาง เฟส และ

ความถี่) ซึ่งเป็นผลกระทบที่ไม่พึงประสงค์ การรบกวนบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ในระหว่างการเกิดพายุแม่เหล็กโลกอาจนานนับหลายชั่วโมงถึงสองหรือสามวัน สิ่งสำคัญที่จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องรู้คือ ชั้นไอโอโนสเฟียร์ที่อยู่ในพื้นที่ที่เกิดออโรรา มีแนวโน้มที่ได้รับผลกระทบของความผิดปกติเหล่านี้อย่างน้อยในชั้นความรุนแรงเล็กน้อยเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 44 พื้นที่วงออโรราที่มีผลกระทบต่อบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ระหว่างการเกิดกิจกรรมพายุแม่เหล็กโลก โดยประมาณ (ลูกศรสีแดงแสดงทิศทางของดวงอาทิตย์) ดังนั้นถึงแม้ว่าจะอยู่ในช่วงที่ปราศจากพายุแม่เหล็กโลกก็ตาม การแพร่กระจายสัญญาณบริเวณแถบขั้วโลกก็มีแนวโน้มที่สัญญาณจะถูกกลืนทอนเสมอ

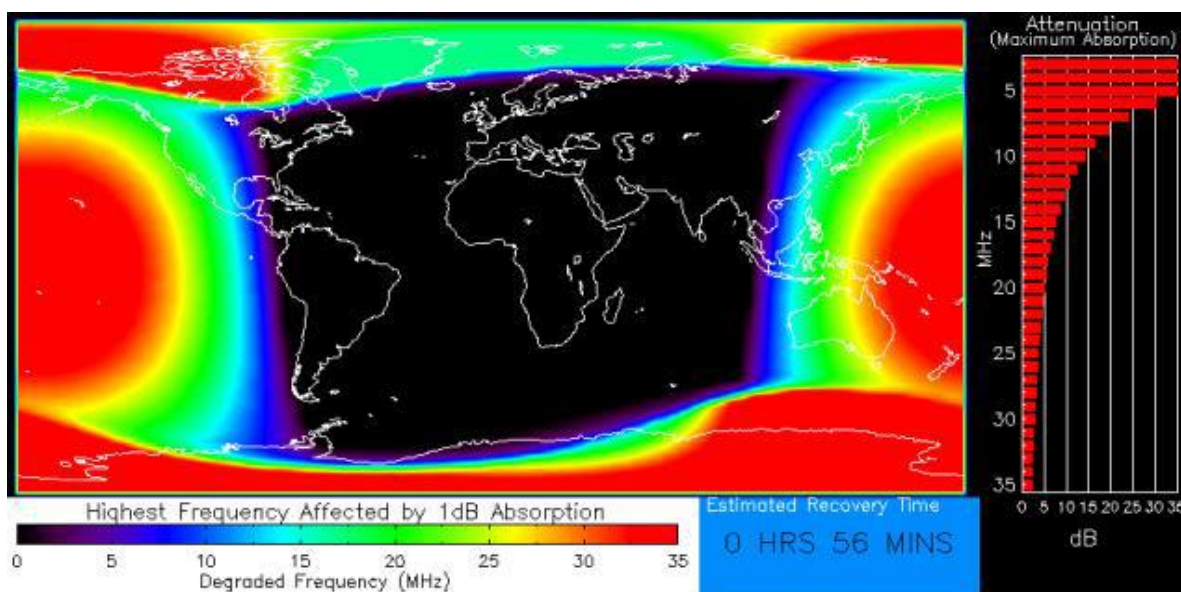


รูปที่ 44 พื้นที่วงออโรราที่มีผลกระทบต่อบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์

ปรากฏการณ์โปรตอน (Proton Events) นอกจากการก่อให้เกิดการลุกจ้าของรังสีเอ็กซ์และการปะทุของคลื่นวิทยุแล้ว การลุกจ้าของดวงอาทิตย์ (Solar flare) ยังทำให้มีการปลดปล่อยโปรตอนพลังงานสูงเข้าสู่ลมสุริยะด้วยเช่นกัน โปรตอนพลังงานสูงเหล่านี้มีความเร็วใกล้เคียงกับความเร็วแสงและเดินทางมายังโลกประมาณหนึ่งชั่วโมงเป็นอย่างน้อยหลังจากที่เกิดการลุกจ้าของดวงอาทิตย์ ดังนั้นโปรตอนพลังงานสูงเข้าสู่สนามแม่เหล็กโลกบริเวณใกล้กับขั้วแม่เหล็ก (Polar cusps) และปะทะกับบรรยากาศบริเวณขั้วโลก ปรากฏการณ์ดังกล่าวไม่ได้เป็นสาเหตุของการเกิดออโรรา แต่จะเพิ่มความหนาแน่นของไอโอโนสเฟียร์ระดับต่ำ (ชั้น D) เพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกับการเกิดการลุกจ้าของรังสีเอ็กซ์ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นสาเหตุของการดูดซับคลื่นวิทยุย่านความถี่สูงในบริเวณละติจูดสูงเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Polar cap absorption (PCA) รูปที่ 45 แสดงผลกระทบของพื้นที่ระหว่างที่เกิดปรากฏการณ์ Polar cap absorption (บริเวณพื้นที่สีม่วงอ่อนเหนือประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นช่วงเวลากลางวันที่ชั้น D มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น) ส่วนรูปที่ 46 แสดงผลของการลุกจ้าของดวงอาทิตย์ขนาดใหญ่ที่ก่อให้เกิดการลุกจ้าอย่างรุนแรงของรังสีเอ็กซ์ (บริเวณรูปดาวเหนือมหาสมุทรแปซิฟิก) และปรากฏให้เห็นปรากฏการณ์ PCA (เหนือบริเวณแอนตาร์กติกและแอนตาร์กติกา)



รูปที่ 45 แผนที่แสดงการดูดซับในชั้น D ระหว่างการเกิด Polar cap absorption กำลังปานกลาง

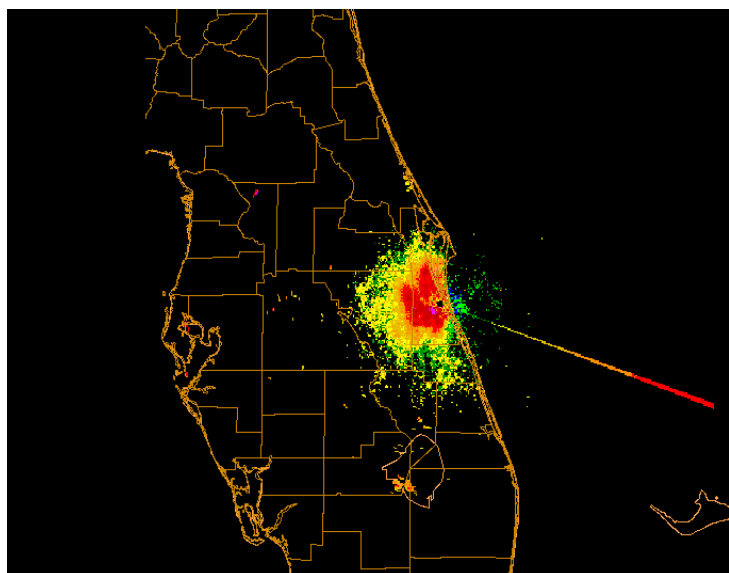


รูปที่ 46 แผนที่แสดงการดูดซับในชั้น D ระหว่างการเกิดการลุกจ้าของรังสีเอ็กซ์อย่างรุนแรงมากและปรากฏการณ์ Polar cap absorption อย่างรุนแรง (เปรียบเทียบกับรูปที่ 43 และ 45)

7.2 การรบกวนจากคลื่นวิทยุของดวงอาทิตย์ (Solar Radio Interference)

ในชั้นโคโรนาของดวงอาทิตย์และบริเวณที่มีกิจกรรมบนดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของคลื่นวิทยุของดวงอาทิตย์ ทิศทางหรือมุม (Geometry) มีบทบาทสำคัญอย่างมากที่คลื่นวิทยุของดวงอาทิตย์จะส่งผลกระทบต่อสัญญาณ การวางตำแหน่งของอุปกรณ์ส่งสัญญาณและอุปกรณ์ภาครับสัญญาณที่ทำมุมกับดวงอาทิตย์อาจก่อให้เกิด

ความล้มเหลวอย่างสิ้นเชิง (wash out) ในการส่ง-รับสัญญาณวิทยุได้ ตัวอย่างเช่น การพยายามที่จะดักรับสัญญาณดาวเทียมในขณะที่ดวงอาทิตย์วางแนวอยู่ตรงด้านหลังของดาวเทียมจะไม่สามารถรับสัญญาณได้เลย อย่างไรก็ตามเนื่องจากโลกมีการหมุนรอบตัวเอง ด้วยเหตุนี้โอกาสที่เหตุการณ์ดังกล่าวจึงไม่เกิดขึ้นมากนักหรือหากเกิดก็จะเป็นช่วงไม่กี่นาทีเท่านั้น ในทางตรงกันข้ามเรดาร์ค่อนข้างจะอ่อนไหวต่อการถูกรบกวนสัญญาณคลื่นวิทยุจากดวงอาทิตย์เป็นอย่างมาก ทั้งนี้เพราะการส่งและรับสัญญาณมีทิศทางที่กว้างมากและตำแหน่งของดวงอาทิตย์ก็อยู่ในทิศทางนั้นได้บ่อยครั้ง รูปที่ 47 แสดงภาพเรดาร์ที่มีลักษณะเป็นแนวยาวของผลการสะท้อนที่ผิดพลาด (ภาพลวง) อันเนื่องมาจากการรบกวนของคลื่นวิทยุของดวงอาทิตย์ ในย่านความถี่ของเรดาร์ซึ่งในกรณีนี้อยู่ในย่านความถี่ 2800 MHz ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Sun spike บริเวณดังกล่าวไม่ได้เป็นสารประกอบกอบทางอุตุนิยมวิทยา (น้ำฟ้า) ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ โดยทั่วไประบบเรดาร์ประสบกับปัญหาการรบกวนจากคลื่นวิทยุของดวงอาทิตย์อยู่เป็นประจำซึ่งถือว่าเป็นปกติจึงไม่จัดเป็นผลกระทบอย่างแท้จริง



รูปที่ 47 การรบกวนสัญญาณเรดาร์ในภาพเรดาร์ตรวจอากาศจากคลื่นวิทยุของดวงอาทิตย์(แนวยาวไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้)

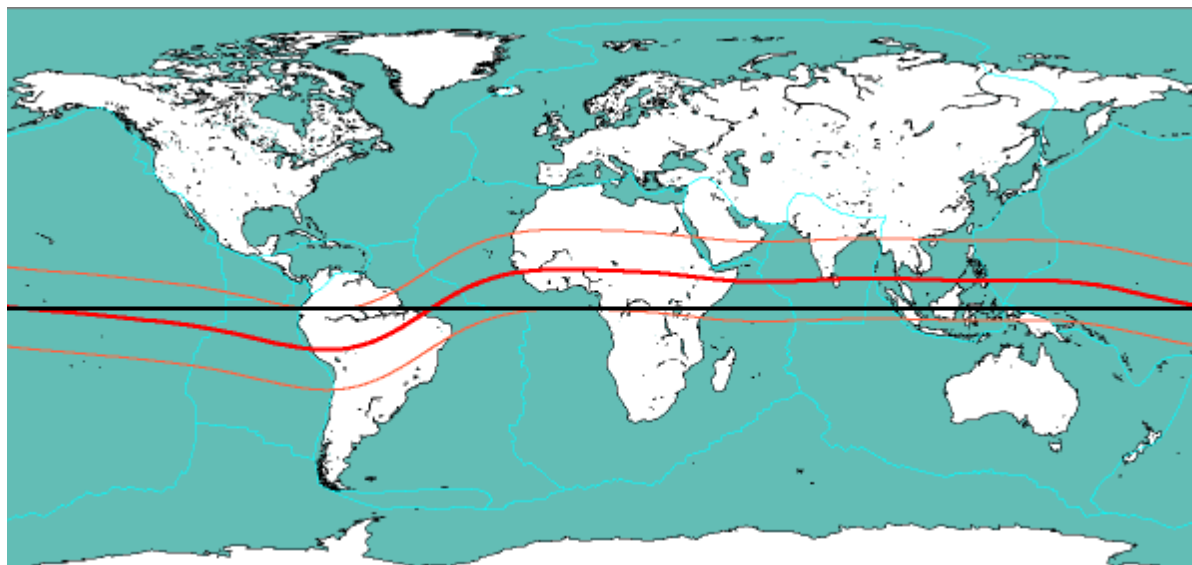
ในทางตรงกันข้ามการลุกจ้าของดวงอาทิตย์(Solar flare) การปลดปล่อยก้อนมวลในชั้นโคโรนา (CME) และกิจกรรมอื่น ๆ ในชั้นโคโรนาของดวงอาทิตย์ก่อให้เกิดการปะทุของคลื่นวิทยุของดวงอาทิตย์เพิ่มมากขึ้น ส่งผลกระทบต่อระบบการติดต่อสื่อสาร ระบบนำทางและสัญญาณเรดาร์ในย่านความถี่ HF ถึงย่าน SHF การรบกวนสัญญาณวิทยุก็จะรุนแรงมากยิ่งขึ้นโดยปรากฏเป็น Side lobe ในภาครับของจานรับสัญญาณเรดาร์ ถึงแม้ว่าการออกแบบจานรับสัญญาณและมีวงจรอิเล็กทรอนิกส์กรองสัญญาณ (electronic filters) ช่วยลดทอนการรบกวนสัญญาณได้ แต่ไม่สามารถลดทอนการรบกวนสัญญาณได้ทั้งหมดเพราะการรบกวนของคลื่นวิทยุเกิดขึ้นในหลาย ๆ ย่านความถี่ (Radio

frequency interference :RFI) ระหว่างเกิดการปะทะคลื่นวิทยุของดวงอาทิตย์ จานรับสัญญาณที่อยู่ทางด้านซีกโลกที่เป็นเวลากลางวันจะประสบกับปัญหาถูกรบกวนจากความเข้มของสัญญาณคลื่นวิทยุที่เพิ่มมากขึ้น (radio whiteout) ผลกระทบที่ตามมาจะทำให้ไม่สามารถตรวจจับเป้าหมายได้เป็นเวลานานนับสิบนาทีหรือหลายชั่วโมงต่อการถูกรบกวนในแต่ละครั้ง

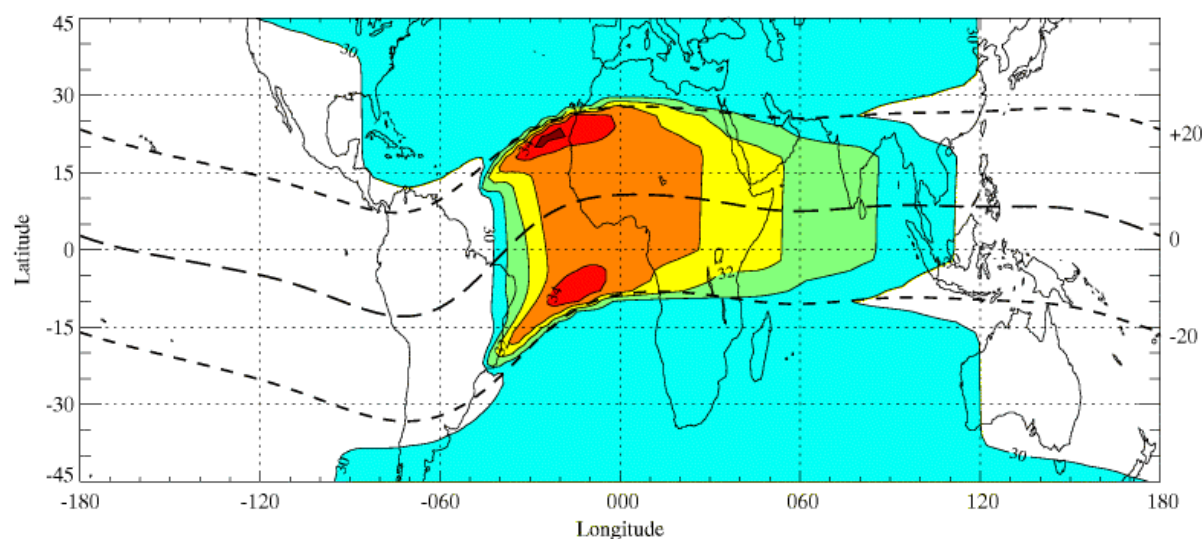
7.3 ผลกระทบต่อสัญญาณวิทยุย่าน VHF/UHF

การติดต่อสื่อสารและการปฏิบัติการของเรดาร์ที่อยู่ในคลื่นวิทยุย่าน VHF และ UHF ได้รับผลกระทบจากการที่บรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ถูกรบกวนน้อยกว่าที่ปฏิบัติการในคลื่นวิทยุย่านความถี่สูง(HF) อย่างไรก็ตามย่านความถี่เหล่านี้จะพบกับปัญหาเฉพาะแต่ละย่านความถี่ในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์เช่นเดียวกัน

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคลื่นแถบศูนย์สูตร (Equatorial Scintillation) นอกจากการรบกวนคลื่นวิทยุในหลาย ๆ ย่านความถี่อื่นเป็นผลมาจากการปะทะของคลื่นวิทยุของดวงอาทิตย์แล้ว สัญญาณคลื่นวิทยุย่านความถี่ VHF และ UHF ที่ส่งผ่านบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ไปยังดาวเทียมก็ได้รับผลกระทบเช่นเดียวกันโดยเฉพาะบริเวณละติจูดต่ำ ๆ บริเวณเหนือแม่เหล็กแถบศูนย์สูตร (magnetic equator : บริเวณที่สนามแม่เหล็กโลกวางตัวอยู่ในแนวระนาบขนานไปกับพื้นผิวโลก) แสดงดังรูปที่ 48 ในเวลากลางวันบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์จะมีความเข้มเพิ่มขึ้นและเลื่อนสูงขึ้นไปในขณะที่เกิดปรากฏการณ์อันซับซ้อนนี้ ซึ่งเรียกว่า Equatorial anomaly เมื่อดวงอาทิตย์ตกชุดของพลาสมาเหล่านี้จะเลื่อนต่ำลงมา แต่เนื่องจากการถูกจำกัดให้เคลื่อนที่ไปตามเส้นแรงแม่เหล็กที่วางตัวอยู่ในแนวระนาบจึงมีการถ่ายเทไปในแนวเหนือใต้แทน ซึ่งเป็นบริเวณที่เส้นแรงแม่เหล็กลาดเอียงลงสู่พลาสมาที่มีอยู่เดิมในชั้นไอโอโนสเฟียร์ ความปั่นป่วนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ดังกล่าวในชั้นไอโอโนสเฟียร์ก่อให้เกิดฟองว่างเปล่าของพลาสมา (bubbles of plasma voids) ขณะเดียวกันก็เป็นการเพิ่มความเข้มของพลาสมาด้วยเช่นเดียวกัน ซึ่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ (Scintillation) ของคลื่นวิทยุย่านความถี่ VHF และ UHF กล่าวคือมีการปรับเปลี่ยนแบบสุ่มอย่างรวดเร็วของสัญญาณความถี่ ความแรง (strength) ทิศทางและเฟส (Phase) ผลกระทบดังกล่าวเกิดขึ้นอย่างมากบริเวณละติจูดที่ 15-20 องศาเหนือ/ใต้ของสนามแม่เหล็กแถบศูนย์สูตร ตามแนวของแถบ Equatorial Scintillationนี้ผู้ใช้จะประสบกับปัญหาการติดต่อสื่อสารกับดาวเทียมย่านความถี่ UHF เริ่มตั้งแต่ประมาณหนึ่งชั่วโมงหลังจากดวงอาทิตย์ตกจนถึงเที่ยงคืนหรือนานกว่านั้น สิ่งสำคัญที่ควรทราบอย่างหนึ่งคือ Equatorial Scintillation ไม่ได้เกิดขึ้นทุกคืน แต่ถ้าเกิดขึ้นอาจเป็นแบบฉับพลันและรุนแรงพอที่จะทำให้เกิดการสูญเสียการควบคุมดาวเทียมได้อย่างสิ้นเชิง รูปที่ 49 แสดงตำแหน่งที่ตั้ง แนวที่เกิดและความรุนแรงของ Scintillation ซึ่งเป็นช่วงที่ดวงอาทิตย์ตกที่ประเทศบราซิล (2300 GMT) สังเกตพบว่าแถบอเมริกาเหนือไม่ได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์ดังกล่าว



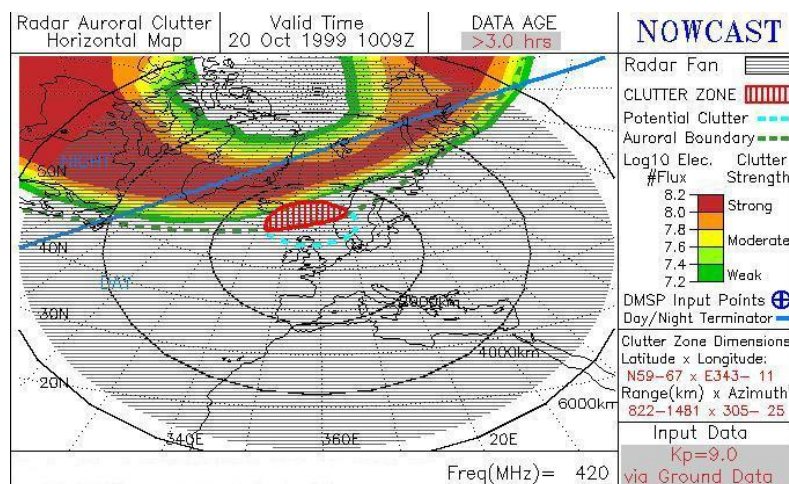
รูปที่ 48 สนามแม่เหล็กโลกแถบศูนย์สูตร(Earth's Magnetic Equator)และแถบที่จะเกิด Scintillation (แสดงพื้นที่ที่เบี่ยงเบนไปจากเส้นศูนย์สูตรตามพิกัดภูมิศาสตร์ซึ่งเป็นเส้นสีดำ)



รูปที่ 49 รูปแบบของ Scintillation เวลา 2300 UTC

พายุแม่เหล็กโลก (ออโรรา) ออโรราก่อให้เกิดปัญหาอย่างมากต่อการกระจายสัญญาณคลื่นวิทยุ HF และยังก่อให้เกิดปัญหากับสัญญาณคลื่นวิทยุในช่วงคลื่น VHF และ UHF เช่นเดียวกันโดยเฉพาะอย่างยิ่งเรดาร์ เมื่ออนุภาคพลังงานสูงเหล่านั้นเข้ามาในบรรยากาศก่อให้เกิดการปั่นป่วนและรบกวนโครงสร้างทางตั้งของชั้นไอโอโนสเฟียร์ ทำให้เกิดภาพอันไม่พึงประสงค์ (radar clutter) บนจอเรดาร์ ระบบเรดาร์ส่วนใหญ่มีซอฟต์แวร์ที่ลดทอนหรือแม้แต่ลบภาพอันไม่พึงประสงค์ออกได้จึงไม่มีความกังวลในปัญหาดังกล่าวมากนัก อย่างไรก็ตามมีบางระบบที่ได้รับ

ผลกระทบจากปรากฏการณ์นี้ หากมีความรุนแรงมากจะส่งผลทำให้เรดาร์ไม่สามารถรับสัญญาณได้ (Blind spot) การรบกวนบรรยากาศในชั้นไอโอโนสเฟียร์และอโรราในขณะเกิดพายุแม่เหล็กโลกเกี่ยวข้องกับการเกิดภาพอันไม่พึงประสงค์บนจอเรดาร์ (radar clutter) อาจเป็นเวลายาวนานนับชั่วโมงถึงหลายวัน รูปที่ 50 แสดงช่วงเวลาเกิดพายุแม่เหล็กโลกที่ส่งผลกระทบต่อเรดาร์ที่ทำงานในย่านความถี่ 420 MHz แสดงเป็นแถบที่เกิดขึ้นบนจอเรดาร์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของงานรับสัญญาณและมุมในการส่งผ่านพลังงานออกไปด้วย



รูปที่ 50 Auroral clutter บนภาพเรดาร์

7.4 ผลกระทบต่อระบบนำทางด้วย GPS (Global Position system)

ประสิทธิภาพของระบบนำทางด้วย GPS ขึ้นอยู่กับการจับเวลาที่แม่นยำของสัญญาณดาวเทียม ขณะที่บรรยากาศและชั้นไอโอโนสเฟียร์ ทำให้เกิดความล่าช้าของสัญญาณ GPS ในย่านความถี่ UHF (L band) เพียงเล็กน้อย แต่ก็เพียงพอที่จะให้การระบุตำแหน่งเกิดความคลาดเคลื่อนได้อย่างมีนัยสำคัญ อันที่จริงความล่าช้าเพียงหนึ่งในล้านของวินาทีก่อให้เกิดความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งถึง 300 เมตร เพื่อเป็นการลดค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าว ระบบ GPS ซึ่งติดตั้งอุปกรณ์เกี่ยวกับการวิเคราะห์ข้อมูลบรรยากาศและชั้นไอโอโนสเฟียร์ที่ตัวดาวเทียมด้วย ถึงแม้ว่าผลกระทบจะสัมพันธ์กับปัจจัยดังกล่าวแล้วยังต้องพิจารณาถึงปัจจัยด้านความเร็วของดาวเทียม GPS และแรงดึงดูดของโลกด้วยเช่นกัน

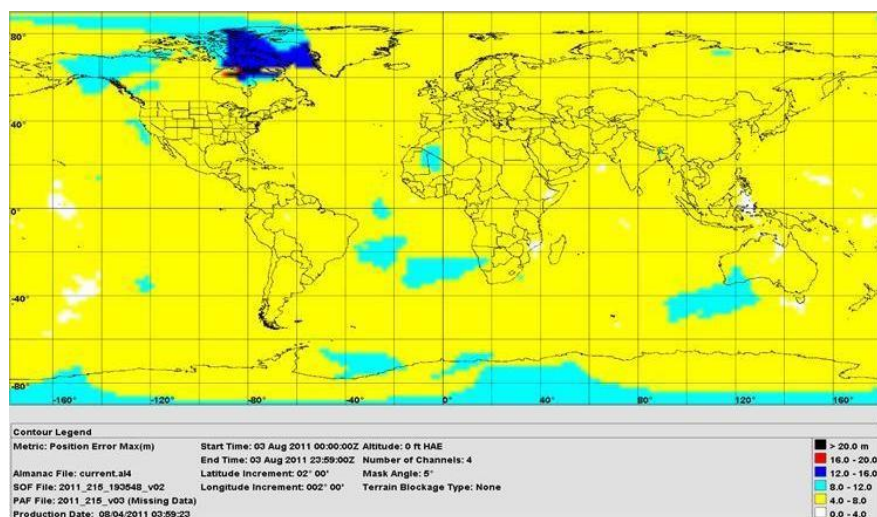
ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากบรรยากาศอาจปรับแก้ให้ลดลงได้โดยให้ระบบ GPS นำเอาค่าความกดอากาศที่ผิวพื้นมาคำนวณร่วมด้วย แต่การขจัดความคลาดเคลื่อนของชั้นไอโอโนสเฟียร์เป็นสิ่งที่ยากต่อการแก้ปัญหา เพราะการคำนวณต้องรวมตัวแปรต่างๆ หลากหลาย ค่าตัวแปรบางค่าที่ได้นั้นเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลอง เช่น เวลาวันที่ ละติจูด ลองจิจูด กิจกรรมของสนามแม่เหล็ก วงรอบของดวงอาทิตย์ รวมทั้งกิจกรรมต่าง ๆ บนดวงอาทิตย์ ถึงกระนั้นก็ตามความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในชั้นไอโอโนสเฟียร์ที่น้อยกว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองเล็กน้อยและการเปลี่ยนแปลง

ที่ไม่ได้คาดหมายไว้เกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด หากไม่ได้นำไปคำนวณร่วมด้วยก็เป็นจุดเริ่มต้นของความผิดพลาดในกระบวนการลดความคลาดเคลื่อนของระบบ

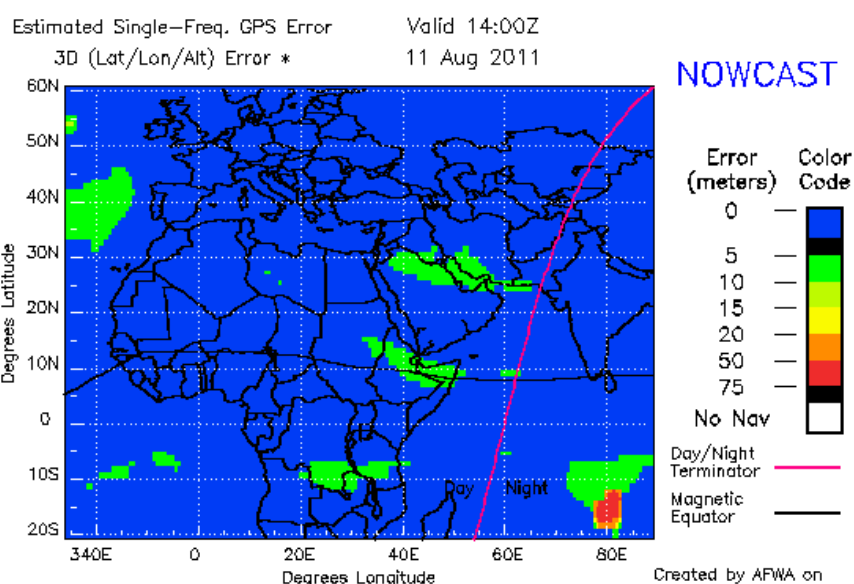
ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาเครื่องรับสัญญาณ GPS ได้ปรับปรุงการบริการระบบนำทางให้ดีขึ้น โดยผสมผสานที่หลากหลายระหว่างวิธีการทางสถิติและอัลกอริทึมขั้นสูง ซึ่งแบ่งประเภทการให้บริการเป็น 2 ระบบ คือ Standard Positioning Service (SPS) และ Precise Positioning Service (PPS) ระบบ SPS ให้บริการระบบนำทางแบบย่านความถี่เดียว (Single frequency) เพื่อใช้ในกิจการการรักษาความสงบ การพาณิชย์และทางวิทยาศาสตร์ ส่วนระบบ PPS ให้บริการระบบนำทางที่เกี่ยวข้องกับความแม่นยำ ซึ่งมีทั้งระบบย่านความถี่เดียวและหรือย่านความถี่คู่ (dual frequency) เครื่องรับระบบนำทางที่ใช้ย่านความถี่เดียว (ไม่ว่าจะเป็นแบบ SPS หรือ PPS) มีการชดเชยความล่าช้าในชั้นไอโอโนสเฟียร์จากแบบจำลอง ขณะที่เครื่องรับย่านความถี่คู่ (เฉพาะระบบ PPS เท่านั้น) ใช้หลักการเปรียบเทียบความถี่ในการคำนวณความล่าช้าในชั้นไอโอโนสเฟียร์อย่างต่อเนื่องเป็นปัจจุบัน

ด้านกิจการการบินและระบบอาวุธใช้ประโยชน์จากระบบ PPS เป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามต้องเข้าใจด้วยเช่นกันว่าสถานีภาคพื้นยังคงใช้เครื่องรับระบบ PPS แบบย่านความถี่เดียว เช่น Precision Lightweight GPS Receiver (PLUGGER) ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตามระบบดังกล่าวจะเริ่มถูกแทนที่ด้วย Defense Advanced GPS Receiver (DAGGER) ซึ่งเป็นเครื่องรับแบบย่านความถี่คู่

รูปที่ 51 แสดงตัวอย่างของแผนที่ความคลาดเคลื่อนของเครื่องรับ GPS ที่ใช้ย่านความถี่คู่ซึ่งใช้ดาวเทียม 4 ดวงที่เหมาะสมที่สุด (เหมาะสมที่สุด หมายถึงตำแหน่งในท้องฟ้าและความสัมพันธ์กันระหว่างตำแหน่งของดาวเทียม โดยที่ดาวเทียม GPS ที่มีตำแหน่งอยู่เหนือพื้นที่นั้นจะมีความถูกต้องของสัญญาณมากกว่าเพราะทำมุมค่อนข้างชันและมีช่วงเวลาสั้นที่สุดในการผ่านชั้นไอโอโนสเฟียร์ และหากมีดาวเทียมกระจายออกไปมากผลการนำทางก็จะมี ความถูกต้องเพิ่มขึ้นเช่นกัน) ระบบ GPS คลาดเคลื่อน 16-20 เมตรในเขตอาร์กติกเนื่องจากพายุแม่เหล็กโลกและเกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ออโรรา รูปที่ 52 แสดงแผนที่ความคลาดเคลื่อนของเครื่องรับระบบ GPS แบบ PPS ย่านความถี่เดียว พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อน 5-10 เมตรบริเวณพื้นที่ตรงกลางของแม่เหล็กแถบศูนย์สูตร (เส้นลายคลื่นสีดำ) บริเวณเหนืออาฟริกาด้านตะวันออกและด้านตะวันตกเฉียงใต้ของเอเชีย ทั้งนี้เนื่องจากความผิดปกติเขตศูนย์สูตร ความคลาดเคลื่อน 75 เมตรในมหาสมุทรอินเดีย (ประมาณหนึ่งชั่วโมงหลังจากดวงอาทิตย์ตก) ทั้งนี้เนื่องจาก Equatorial scintillation ของสัญญาณคลื่นวิทยุย่าน UHF



รูปที่ 51 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Dual Frequency



รูปที่ 52 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Single Frequency

7.5 อันตรายจากรังสีในระดับสูงและละติจูดสูง (Radiation Hazards- High Latitude and High Altitude)

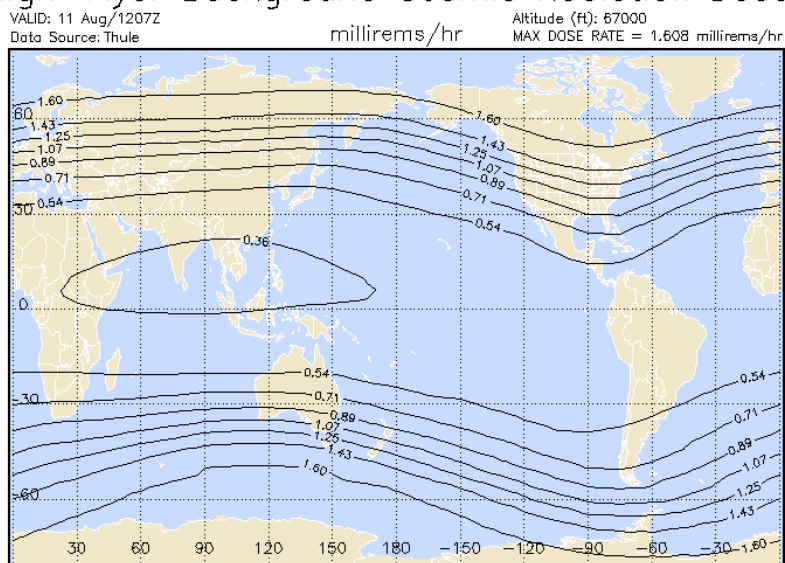
รังสีคอสมิกและโดยเฉพาะอย่างยิ่งการกระจายของอนุภาคพลังงานสูง ซึ่งเกิดจากการที่รังสีคอสมิกชนกับโมเลกุลของอากาศในบรรยากาศระดับบนก่อให้เกิดการแผ่รังสีที่อันตรายต่อการบิน ขณะที่อนุภาคโปรตอนพลังงานสูงจากการลุกจ้าของดวงอาทิตย์ก็เพิ่มการแผ่รังสีที่เป็นอันตรายมากขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน อันตรายนดังกล่าวเพิ่มขึ้นตามความสูงและละติจูด

ทั้งนี้เพราะอนุภาคแผ่รังสีสามารถที่จะทะลุทะลวงเข้าไปในอากาศยานและมีผลกระทบต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ตัวอย่างเช่น โปรตอนพลังงานสูงอาจแทรกเข้าไปในเมมโมรี่คอมพิวเตอร์และแยกอิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่โดยรอบออกจากอะตอม ทำให้อิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดเล็กมากเกิดการลัดวงจร ส่งผลให้เกิดการรบกวนข้อมูล การเปลี่ยนแปลงคำสั่ง หรือแม้กระทั่งทำลายองค์ประกอบของคอมพิวเตอร์ ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า SEE (single event effect) ความซ้ำซ้อนของระบบและซอฟต์แวร์ที่ติดตั้งบนอากาศยานมีการจัดปรากฏการณ์ SEE แม้กระนั้นก็ตามก็มีโอกาสที่จะเกิดขึ้นเช่นเดียวกัน

ภัยคุกคามที่เห็นได้ชัดเจนของอนุภาคที่แผ่รังสีเหล่านี้คือภัยที่มีต่อร่างกายมนุษย์ (เช่นลูกเรือและผู้โดยสาร) อนุภาคที่แผ่รังสีมีผลกระทบต่อการบินเชิงพาณิชย์เช่นเดียวกับการปฏิบัติทางอากาศของทหาร โดยเฉพาะหากทำการบินในระดับสูง ๆ ตัวอย่างเช่นเมื่อเกิดปรากฏการณ์อนุภาคโปรตอนพลังงานสูง Federal Aviation Administration (FAA) จะกำหนดระยะเวลาในการบิน และความสูงของเพดานบินตามเส้นทางบินเชิงพาณิชย์ (commercial air routes) โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณเหนือหรือใกล้กับแถบขั้วโลก การปฏิบัติทางอากาศของทหารจะได้รับการประกาศแจ้งเตือนรังสีต่าง ๆ จากหน่วยงานที่รับผิดชอบในพื้นที่เช่นเดียวกัน

การพิจารณาอันตรายที่ผลต่อสุขภาพจากการที่ได้รับพลังงานรังสี ตามปกติจะบ่งบอกเป็น โดส (dose) ซึ่งเป็นค่าแสดงผลกระทบจากปริมาณรังสีทั้งหมดที่ร่างกายดูดซับไว้ ตารางเปรียบเทียบค่าโดสอธิบายถึงความแตกต่างในการตอบสนองของส่วนต่าง ๆ ของร่างกายและเนื้อเยื่อที่มีต่อพลังงานรังสี โดยมีหน่วยเป็น rem (Roentgen Equivalent in Man) และ millirem (mrem, 1 ใน 1000 ส่วนของ rem) เพื่อแสดงอันตรายที่เกิดจากรังสี รูปที่ 53 แสดงแผนที่ของค่าการแผ่รังสีรอบโลกสำหรับลูกเรือที่ทำการบินที่ระดับความสูง 67,000 ฟุต ค่าโดสเริ่มตั้งแต่ 0.35 ถึง 1.608 mrem ต่อชั่วโมง โดยทั่วไปเพิ่มขึ้นตามละติจูดซึ่งจะมีค่าสูงสุดแถบขั้วโลก โดยมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าประมาณ 5 เท่าตามแนวแม่เหล็กแถบศูนย์สูตร

High-Flyer Background Cosmic Radiation Dosage



รูปที่ 53 แสดงโดสของรังสีบริเวณเส้นทางบินในระดับสูง

สำหรับการเปรียบเทียบค่าปริมาณรังสีอันเนื่องมาจากสิ่งต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและจากการกระทำของมนุษย์ (แสดงค่าเฉลี่ยรายปี) ข้อสังเกตการบินในระดับสูง ๆ ปริมาณรังสีอยู่ในอันดับที่สูงกว่าผลรวมปริมาณรังสีทั้งหมดจากแหล่งต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตบนพื้นโลก ปริมาณรังสีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและจากการกระทำของมนุษย์มีดังนี้

อากาศ (ส่วนมากเป็นแก๊สเรดอนที่ปลดปล่อยจากเปลือกโลก)	0.0020-0.1000 mrem/ชั่วโมง
อาหาร(ส่วนมากจากคาร์บอน 14 และ โพตัสเซียม-40 ไอโซโทป)	0.0020-0.0100 mrem/ชั่วโมง
พื้นผิวโลก (พื้นดินและวัสดุสิ่งปลูกสร้าง)	0.0030-0.0100 mrem/ชั่วโมง
รังสีคอสมิก (ผิวพื้น - 10,000 ฟุต)	0.0030-0.0100 mrem/ชั่วโมง
การแพทย์ (x-ray)	0.0003-0.0200 mrem/ชั่วโมง

7.6 ผลกระทบต่อสนามแม่เหล็ก

พายุแม่เหล็กโลก(Geomagnetic Storm)เป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดความผันผวนของความเข้มและทิศทางของสนามแม่เหล็กที่พื้นผิวโลก ก่อให้เกิดวิกฤตต่ออุตสาหกรรมระบบนำทางหรือการสำรวจซึ่งเกี่ยวข้องกับสนามแม่เหล็กโลก ถึงแม้ว่าหลายๆ ระบบได้มีการปรับปรุง GPS ให้ทันสมัยและมีเทคนิคต่าง ๆ ที่ดีขึ้น แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าระบบการบินดั้งเดิมยังใช้ระบบนำทางที่ต้องพึ่งพาทิศทางของสนามแม่เหล็กจึงมีความเสี่ยงที่จะเกิดข้อผิดพลาดร้ายแรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ระบบดังกล่าวในละติจูดที่สูงซึ่งบริเวณดังกล่าวสนามแม่เหล็กเกือบจะเป็นแนวตั้ง การเคลื่อนไปอย่างไร้จุดหมายอย่างช้า ๆ ของขั้วแม่เหล็กโลกต่อหนึ่งเวลาอันเนื่องมาจากความผันผวนของสนามแม่เหล็กระหว่างการเกิดพายุแม่เหล็ก ส่งผลต่อความผิดปกติอย่างมากของทิศทางในแนวระนาบบริเวณใกล้เคียงกับขั้วแม่เหล็ก อันที่จริงบริเวณดังกล่าวนี้จะมีการแจ้งเตือนเกี่ยวกับปัญหานี้ใน Air chart

7.7 ผลกระทบทางอ้อม

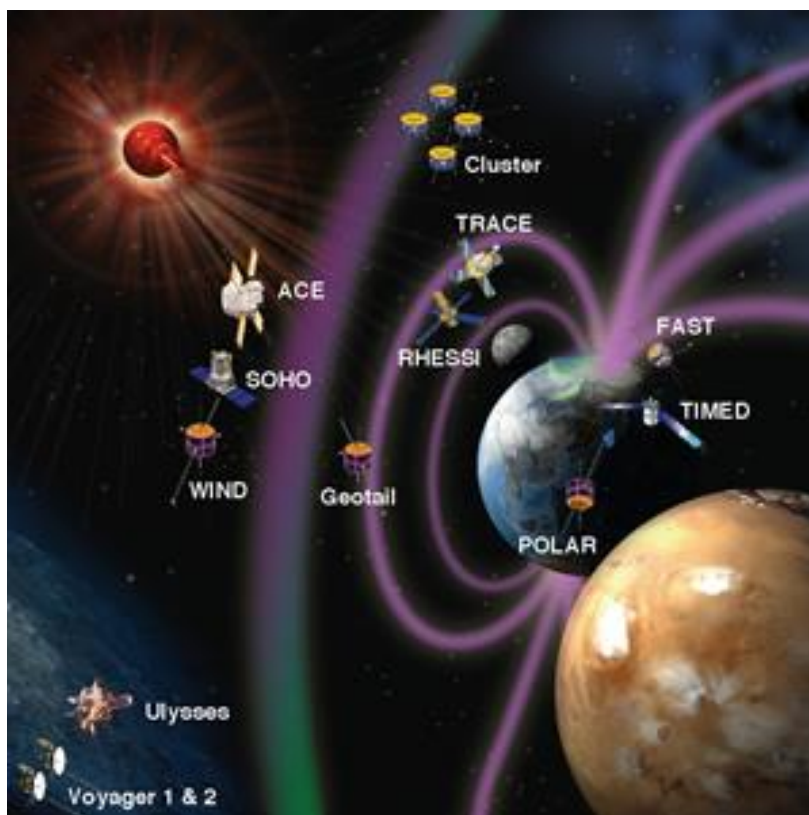
ถึงแม้ว่าสภาพอากาศในอวกาศมีผลกระทบต่อระบบต่าง ๆ หลายระบบที่อาจจะไม่เกี่ยวข้องโดยตรงต่อการบินก็ตาม แต่อาจส่งผลกระทบทางอ้อมต่อการบินได้เช่นกัน ตัวอย่างเช่น สภาพแวดล้อมที่ไม่ดีในอวกาศย่อมหมายถึงยานอวกาศจะได้รับความเสียหายหรือได้รับผลกระทบนั้น หากการปฏิบัติทางอากาศต้องใช้ยานอวกาศนั้นเพื่อการนำทางหรือการติดต่อสื่อสารก็必将ได้รับผลกระทบนั้นไปด้วย หรืออีกตัวอย่างหนึ่ง พายุแม่เหล็กโลกที่รุนแรงทำให้กระแสไฟฟ้าในระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าเกินขนาด เป็นผลทำให้ไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้และเกิดไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้าง ซึ่งจะไม่มีการไฟฟ้าไปใช้ในการบิน

8. การตรวจสอบสภาพอากาศในอวกาศ

การตรวจสอบสภาพอากาศในอวกาศเกิดขึ้นเพื่อการสำรวจทางวิทยาศาสตร์และการนำมาประยุกต์ใช้ โดยการสำรวจทางวิทยาศาสตร์ก่อให้เกิดวิวัฒนาการขององค์ความรู้เกี่ยวกับสภาพอากาศในอวกาศ ขณะที่การประยุกต์ใช้อันเนื่องมาจากการตรวจสอบสภาพอากาศในอวกาศเป็นการขยายวงกว้างของการนำข้อมูลเหล่านั้นไปใช้ให้

เกิดประโยชน์ ในการตรวจสภาพอากาศในอวกาศแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ การตรวจของสถานีภาคพื้น (Ground based) และการตรวจจากดาวเทียม (Satellite based)

การตรวจของสถานีภาคพื้นเป็นการตรวจการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กโลกในห้วงเวลาเป็นวินาทีจนถึงวัน ด้วยการสำรวจพื้นผิวของดวงอาทิตย์และการสำรวจสัญญาณรบกวนคลื่นวิทยุ (radio noise) ที่เกิดขึ้นในบรรยากาศของดวงอาทิตย์ สำหรับการตรวจจากดาวเทียมเป็นการติดตามการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวดวงอาทิตย์ ตลอดจนกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนดวงอาทิตย์เช่นพายุสุริยะ เขตการแผ่รังสี (Radiation belts) พายุแม่เหล็กโลก รังสีอัลตราไวโอเล็ตพลังงานสูงซึ่งไม่สามารถตรวจที่พื้นผิวโลกได้ โดยเริ่มจากความร่วมมือกันระหว่าง NASA และ ESA ในปี 1995 ได้มีการปล่อยยานอวกาศชื่อ SOHO (Solar and Heliospheric Observatory) และได้มีการให้ข้อมูลภาพรังสีอัลตราไวโอเล็ตพลังงานสูง นับได้ว่าเป็นแหล่งข้อมูลที่สำคัญที่ให้ข้อมูลของดวงอาทิตย์ที่ค่อนข้างเป็นปัจจุบัน (real time)เหมาะสำหรับการศึกษาวิจัยและนำไปคาดการณ์สภาพอากาศในอวกาศได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังมีดาวเทียมดวงอื่น ๆ อีกเป็นจำนวนมากที่ส่งขึ้นไปเพื่อสำรวจและตรวจสอบสภาพอากาศในอวกาศ เช่น GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) , DSCOVR (Deep Space Climate Observatory) เป็นต้น



รูปที่ 54 ดาวเทียมสำรวจสภาพอากาศในอวกาศ

นอกจากการศึกษาวิถีสภาพอากาศในอวกาศแล้ว นักวิทยาศาสตร์ยังได้มีการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในอนาคตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้พัฒนาขึ้นเป็นเวลานานนับสองศตวรรษอันเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรม GEM (Geospace Environmental Model), ของ National Science Foundation และมีศูนย์ในการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สองหน่วยใหญ่คือ CSEM (Center for Space Environment Modeling) และ CISM (Center for Integrated Space Weather Modeling) นอกจากนี้ยังมีศูนย์ CCMC (The community Coordinated Modeling Center) ของ NASA Goddard Space Flight Center ที่ทำหน้าที่ในการพัฒนาและทดสอบผลของโมเดลที่ได้จากการวิจัยเพื่อพัฒนาและเตรียมการและนำไปประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์สภาพอากาศในอวกาศ

9. พายุจากดวงอาทิตย์ (Solar Storms)

โดยปกติดวงอาทิตย์จะปลดปล่อยพลังงานตลอดเวลา ซึ่งมีอยู่ในหลายรูปแบบ ในขณะที่เกิดกิจกรรมบนดวงอาทิตย์ที่มีความรุนแรงมากส่งผลทำให้การปลดปล่อยพลังงานออกมาอย่างรุนแรงและรวดเร็วดุจดังพายุ เช่น จากลมสุริยะเปลี่ยนเป็นพายุสุริยะเป็นต้น รูปแบบของพายุจากดวงอาทิตย์ที่มีผลกระทบต่อโลกแบ่งออกได้ 3 รูปแบบ คือ

9.1 พายุแม่เหล็กโลก (Geomagnetic Storm)

พายุแม่เหล็กโลกเป็นการปั่นป่วนอย่างมากของสนามแม่เหล็กโลก ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีการแลกเปลี่ยนพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพจากลมสุริยะเข้าสู่สภาวะแวดล้อมในอวกาศรอบ ๆ โลก พายุแม่เหล็กโลกเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในลมสุริยะอันเป็นผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนกระแสไฟฟ้า พลาสมาและสนามแม่เหล็กโลก เจ็อนไซของลมสุริยะที่ส่งผลให้เกิดพายุแม่เหล็กโลกจำเป็นต้องคงอยู่(หลายต่อหลายชั่วโมง)ในช่วงเวลาหนึ่ง และที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือทิศทางเคลื่อนที่ลงใต้ของสนามแม่เหล็กของลมสุริยะ (ทิศทางตรงข้ามกับสนามแม่เหล็กโลก) ด้วยเจ็อนไซดังกล่าวส่งผลทำให้มีการส่งผ่านพลังงานจากลมสุริยะเข้าสู่สนามแม่เหล็กโลก

พายุที่ใหญ่ที่สุดซึ่งเป็นผลมาจากเจ็อนไซเหล่านี้เกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยก้อนมวลโคโรนา (coronal mass ejections :CMEs) จากดวงอาทิตย์อันประกอบด้วยพลาสมาจำนวนนับเป็นพัน ๆ ล้านตันหรือมากกว่าซึ่งฝังตัวอยู่ในสนามแม่เหล็กและเดินทางมายังโลก ตามปกติการปลดปล่อยก้อนมวลโคโรนาจะใช้เวลาหลายวันจึงจะมาถึงโลก แต่จากการสังเกตและตรวจพบ ในกรณีที่มีความรุนแรงมากที่สุดใช้เวลาเดินทางมาถึงโลกเร็วที่สุดภายใน 18 ชั่วโมง นอกจากนี้การปั่นป่วนของลมสุริยะที่จะทำให้เกิดพายุแม่เหล็กโลกได้นั้นต้องเป็นกระแสลมสุริยะที่มีความเร็วสูง (high speed solar wind stream : HSS) กระแสลมสุริยะที่มีความเร็วสูงจะเคลื่อนตัวเข้าหาแนวของลมสุริยะที่เคลื่อนที่ช้ากว่าที่อยู่ด้านหน้าทำให้เกิดบริเวณปฏิริยาการควรวมการหมุน (co-rotating) หรือ CIRs บริเวณเหล่านี้สัมพันธ์กับพายุแม่เหล็กโลกแต่รุนแรงน้อยกว่าพายุที่เกิดจากการปลดปล่อยก้อนมวลโคโรนา แต่การตกค้างของพลังงานในสนามแม่เหล็กโลกจะมากกว่าและยาวนานกว่า

พายุยังส่งผลให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่รุนแรงในสนามแม่เหล็ก การเปลี่ยนแปลงแถบการแผ่รังสี (radiation belts) และการเปลี่ยนแปลงในชั้นไอโอโนสเฟียร์ รวมทั้งการร้อนขึ้นของชั้นไอโอโนสเฟียร์และบรรยากาศชั้นบนที่เรียกว่า เทอร์โมสเฟียร์ด้วย กระแสไฟฟ้าวงแหวนรอบโลกทางด้านตะวันตกในอวกาศก่อให้เกิดการปั่นป่วนของสนามแม่เหล็กที่ผิวพื้น การวัดกระแสไฟฟ้านี้นำมาสร้างเป็นตัวชี้วัด เรียกว่า Disturbance storm time index เพื่อนำมาใช้อธิบายขนาดหรือความรุนแรงของพายุแม่เหล็กโลกตั้งแต่อดีตเป็นต้นมา นอกจากนี้การที่มีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นในสนามแม่เหล็กโลก (magnetosphere) ที่เคลื่อนในสนามแม่เหล็กนี้เรียกว่า field aligned current ซึ่งกระแสไฟฟ้าเหล่านี้เชื่อมต่อกับกระแสไฟฟ้าที่รุนแรงของออโรราในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ กระแสไฟฟ้าของออโรราเรียกว่า auroral electrojets ซึ่งมีส่วนทำให้เกิดการปั่นของสนามแม่เหล็กเป็นวงกว้าง กระแสไฟฟ้าต่าง ๆ เหล่านี้รวมทั้งการเปี่ยงเบนของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนพื้นดินถูกนำมาสร้างตัวชี้วัด เรียกว่า Planetary geomagnetic disturbance index หรือ Kp ซึ่งเป็นพื้นฐานหนึ่งในสามของสเกล NOAA Space weather สำหรับพายุแม่เหล็กโลกเรียกว่า สเกล G อธิบายสภาพอากาศในอวกาศซึ่งสามารถรบกวนระบบต่าง ๆ บนพื้นโลก

ในช่วงการเกิดพายุแม่เหล็กโลก กระแสไฟฟ้าในชั้นไอโอโนสเฟียร์และอนุภาคพลังงานสูงเป็นตัวเร่งเติมพลังงานในรูปของความร้อนในชั้นไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นและมีการกระจายความหนาแน่นไปยังบรรยากาศที่เหนือกว่าเป็นผลทำให้เพิ่มแรงดูดที่กระทำต่อดาวเทียมโดยเฉพาะดาวเทียมวงโคจรต่ำ นอกจากนี้การร้อนขึ้นเฉพาะแห่งยังก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นในแนวระดับของชั้นไอโอโนสเฟียร์ด้วยเช่นกัน ซึ่งจะเกิดการดัดแปลงเส้นทางของสัญญาณคลื่นวิทยุก่อให้เกิดข้อผิดพลาดในการระบุข้อมูลตำแหน่งของ GPS ในขณะเดียวกันก็ก่อให้เกิดแสงออโรราที่สวยงาม พายุแม่เหล็กโลกก่อให้เกิดการรบกวนระบบนำทาง เช่น Global Navigation satellite System (GNSS) และอันตรายจากการเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กโลก (geomagnetic induced currents : GICs) ในระบบส่งไฟฟ้า (Power grid) และท่อทางนำส่งต่าง ๆ

9.2 พายุรังสีสุริยะ (Solar radiation Storm)

พายุรังสีสุริยะเกิดขึ้นในขณะที่มีการปะทุของสนามแม่เหล็กขนาดใหญ่ อันเป็นเหตุให้มีการปลดปล่อยก้อนมวลจากโคโรนา (Coronal mass ejection :CME) และอาจเกี่ยวข้องกับการลุกจ้าของดวงอาทิตย์ (Solar flare) พายุจะเป็นตัวเร่งให้อนุภาค (charge particles) ในบรรยากาศของดวงอาทิตย์มีความเร็วสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งอนุภาคโปรตอน ซึ่งสามารถเพิ่มอัตราเร่งได้ใกล้เคียงกับความเร่งแสงและด้วยความเร็วขนาดนี้อนุภาคโปรตอนเคลื่อนตัวข้ามระยะทาง 150 ล้านกิโลเมตรจากดวงอาทิตย์มาถึงโลกภายในระยะเวลา 10 นาทีหรือน้อยกว่า เมื่ออนุภาคเหล่านั้นมาถึงโลกก็จะแทรกเข้าไปในแมกนีโตสเฟียร์ซึ่งเป็นโล่ป้องกันเฉพาะอนุภาคที่มีพลังงานต่ำกว่าของโลก ทันทีที่เข้ามาในแมกนีโตสเฟียร์อนุภาคของโปรตอนจะเคลื่อนลงไปตามเส้นแรงแม่เหล็กทะลุทะลวงเข้าสู่บรรยากาศที่อยู่ใกล้กับขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้

NOAA ได้กำหนดสเกลเพื่อใช้ในการจำแนกพายุรังสีสุริยะ โดยแบ่งออกเป็น 5 ระดับเริ่มตั้งแต่ S1 – S5 โดยพิจารณาจากการวัดอนุภาคโปรตอนพลังงานสูง (energetic protons) จากดาวเทียม GOES ซึ่งเป็นดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า

(geosynchronous orbit) การเริ่มต้นของพายุรังสีสุริยะเมื่อวัดค่าฟลักซ์ของโปรตอนที่มีค่าพลังงานมากกว่าหรือเท่ากับ 10 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ (Mega (Million) Electron-Volts : MeV) มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 10 หน่วยโปรตอนฟลักซ์ (proton flux units) ($1 \text{ หน่วยของโปรตอนฟลักซ์} = 1 \text{ particle} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ster}^{-1}$)

สำหรับห้วงจุดสิ้นสุดของพายุรังสีสุริยะขึ้นอยู่กับความยาวนานหรือเวลาล่าสุดในการวัดค่าฟลักซ์โปรตอนที่มีค่าพลังงานมากกว่าหรือเท่ากับ 10 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ (Mega (Million) Electron-Volts : MeV) มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 10 หน่วยฟลักซ์โปรตอนนั้น ข้อพิจารณาดังกล่าวใช้ร่วมกับการปลดปล่อยอนุภาคโปรตอนจากปรากฏการณ์การลุกจ้า (Flare) และ คลื่นกระแทกกระหว่างดวงดาว (interplanetary shock) ที่เกิดขึ้นโดยรอบ อันเป็นผลมาจากการเกิดพายุรังสีสุริยะในหนึ่งครั้ง พายุรังสีสุริยะคงอยู่ได้นานในช่วงเวลานับเป็นชั่วโมง ๆ จนถึงหลายวัน

พายุรังสีสุริยะก่อให้เกิดผลกระทบหลากหลายใกล้ ๆ กับโลก เมื่ออนุภาคโปรตอนพลังงานสูงชนกับดาวเทียมหรือมนุษย์อวกาศในอวกาศ อนุภาคเหล่านี้สามารถทะลุทะลวงเข้าไปในวัตถุที่อนุภาคนี้นำพาทำให้เกิดความเสียหายต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรือโครงสร้าง DNA ของสิ่งมีชีวิต ในระหว่างการเกิดพายุรังสีสุริยะที่รุนแรงมากนั้น ผู้โดยสารและลูกเรือที่ทำการบินในระดับสูงๆ ในแถบละติจูดสูงจะมีความเสี่ยงต่อการได้รับรังสี และเมื่อโปรตอนพลังงานสูงพุ่งชนกับบรรยากาศของโลกจะก่อให้เกิดการแตกตัว (ionize) ของอะตอมและโมเลกุลทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระ (free electrons) โดยที่อิเล็กตรอนอิสระเหล่านี้จะรวมตัวกันเป็นชั้นใกล้กับบริเวณตอนล่างของบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งจะดูดซับคลื่นวิทยุความถี่สูง (High Frequency radio wave : HF) ทำให้การติดต่อสื่อสารเป็นไปด้วยความลำบากหรืออาจไม่สามารถติดต่อสื่อสารกันได้

ปัจจุบัน Space Weather Prediction Center (SWPC) ได้พยากรณ์โอกาส(probability)เกิดพายุรังสีสุริยะของ S1 (พายุรังสีสุริยะที่มีความรุนแรงเล็กน้อย (Minor)) ไว้ในการพยากรณ์ล่วงหน้า 3 วัน พร้อมกับข้อถกแถลงผลการพยากรณ์ (forecast discussion) และจะทำการแจ้งเตือน(warning) เมื่อขึ้นความรุนแรงเล็กน้อยหรือมากกว่า ทั้งนี้จะแจ้งเตือนต่อเมื่อคาดว่าจะ (expected) ระดับโปรตอนได้ 100 MeV จะมีค่าถึง 1 pfu นอกจากนี้ SWPC จะประกาศการเตือนภัย (Alert) เมื่อตรวจพบขึ้นความรุนแรงของพายุรังสีสุริยะเข้าเกณฑ์ S1-S5 นั้นและหรือค่าพลังงานโปรตอน 100 MeV มีค่าถึง 1 pfu

9.3 การลุกจ้าของดวงอาทิตย์ (Solar Fare หรือ Radio Blackout)

การลุกจ้าของดวงอาทิตย์ (Solar fare) คือ การปะทุขนาดใหญ่ของการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์นานนับนาที่ถึงชั่วโมง การปะทุอย่างฉับพลันของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นจะเดินทางด้วยความเร็วแสง ดังนั้นผลกระทบใดที่เกิดขึ้นทางด้านรับแสงจากดวงอาทิตย์ของโลกที่ปรากฏนอกเขตบรรยากาศแทบจะเกิดขึ้นทันทีที่การลุกจ้าของดวงอาทิตย์นั้นตรวจพบได้ การเพิ่มระดับขึ้นของรังสีเอ็กซ์และอัลตราไวโอเล็ตพลังงานสูง (extreme ultraviolet : EUV) ส่งผลต่อการแตกตัวของไอออนชั้นล่างชั้นไอโอโนสเฟียร์ทางด้านรับแสงของโลก ซึ่งโดยสภาวะทั่วไปแล้ว คลื่นวิทยุความถี่สูง (High frequency : HF) สามารถทำให้การติดต่อสื่อสารได้เป็นระยะ

ทางไกล ๆ ด้วยการสะท้อนตอนบนของชั้นไอโอโนสเฟียร์ แต่เมื่อมีการลุกจ้าที่รุนแรงมากพอเกิดขึ้น ส่งผลให้การแตกตัวของไอออนที่เกิดขึ้นในตอนล่างเพิ่มขึ้น ทำให้ชั้นไอโอโนสเฟียร์มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะชั้น D และเมื่อคลื่นวิทยุทำปฏิกิริยากับอิเล็กตรอนในชั้นนี้จะสูญเสียพลังงาน เนื่องจากความถี่ในการชนกันเพิ่มขึ้นซึ่งเกิดขึ้นในขณะที่ชั้น D มีสถานะแวดล้อมที่มีความหนาแน่นมากกว่าปกติ จึงเป็นเหตุลดทอนสัญญาณหรือดูดซับสัญญาณไว้ทั้งหมดเรียกว่า radio blackout (การขาดหายของสัญญาณคลื่นวิทยุความถี่สูงในการติดต่อสื่อสาร โดยเฉพาะในแถบช่วงคลื่น 3 – 30 MHz) ผลผลิตที่คาดการณ์การดูดซับของชั้น D เรียกว่า D-RAP(D-Region Absorption Prediction) เกี่ยวข้องกับความรุนแรงของการลุกจ้า (fare) กับความเข้มในการดูดซับของชั้น D และการแผ่ขยายออกไป

การลุกจ้าของดวงอาทิตย์ปกติเกิดขึ้นในพื้นที่ที่เกิดกิจกรรม (active region) บนดวงอาทิตย์ที่บ่งชี้ถึงบริเวณที่สนามแม่เหล็กมีความเข้มสูง โดยปกติจะเกี่ยวข้องกับกลุ่มจุดมืด (sunspot) บนดวงอาทิตย์ ในขณะที่สนามแม่เหล็กค่อย ๆ พัฒนาขึ้นอาจถึงจุดที่เสียการทรงตัว (instability) และปลดปล่อยพลังงานออกมาหลากหลายรูปแบบรวมทั้งแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งตรวจพบได้ในขณะเกิดการลุกจ้าของดวงอาทิตย์

ความเข้มการลุกจ้าของดวงอาทิตย์ครอบคลุมขอบเขตค่อนข้างกว้างมาก ดังนั้น NOAA/GOES XRS ได้จัดแบ่งโดยพิจารณาจากค่าสูงสุดการแผ่รังสีในแถบ 0.1-0.8 nm(soft x-ray) โดยที่ ฟลักซ์พลังงานรังสีเอ็กซ์เริ่มที่ ระดับ A (10^{-8} W/m²) ระดับถัดไปจะมีค่าสูงขึ้นไปเป็น 10 เท่า คือ ระดับ B ($\geq 10^{-7}$ W/m²) ตามด้วยระดับ C (10^{-6} W/m²), ระดับ “M” flares (10^{-5} W/m²), และระดับ X (10^{-4} W/m²).

Radio blackout แบ่งออกเป็น 5 ระดับ ตามสเกล Space Weather ของ NOAA ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับค่าสูงสุดของ soft X ray ตามเกณฑ์ที่กำหนดหรือคาดว่าจะถึงเกณฑ์ ปัจจุบัน space weather prediction center พยากรณ์ความเป็นไปได้ของโอกาสเกิดการลุกจ้าของดวงอาทิตย์ (fare) ในระดับ C M และ X ซึ่งสัมพันธ์กับความรุนแรง R1 R2 และ R3 หรือมากกว่าไว้ในพยากรณ์ล่วงหน้า 3 วัน พร้อมกับข้อถกแถลงผลการพยากรณ์ (forecast discussion) และเตือนภัย (alert) เมื่อเกิดปรากฏการณ์การลุกจ้านั้นอยู่ในระดับ M5 (R2)

ตารางข้างล่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง radio blackouts การลุกจ้าของดวงอาทิตย์ ฟลักซ์ พลังงาน (วัดต่อตารางเมตร)และชั้นความรุนแรงของปรากฏการณ์

Radio Blackout.....	X-ray Flare.....	Flux (W/m2).....	Severity Descriptor
R1	M1	0.00001	Minor
R2	M5	0.00005	Moderate
R3	X1	0.0001	Strong
R4	X10	0.001	Severe
R5	X20	0.002	Extreme

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง radio blackouts การลุกจ้าของดวงอาทิตย์ ฟลักซ์ พลังงาน และ ชั้นความรุนแรงของปรากฏการณ์

10. สเกลวัดความรุนแรงของพายุจากดวงอาทิตย์ของ NOAA (NOAA Space Weather Scales)

NOAA ได้จัดทำสเกลวัดความรุนแรงของพายุต่าง ๆ ที่มาจากดวงอาทิตย์เพื่อสื่อสารและสร้างความเข้าใจกับสาธารณชนเกี่ยวกับเงื่อนไขต่าง ๆ ของสภาพอากาศในอวกาศทั้งที่เป็นปัจจุบันและแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นในอนาคต รวมทั้งความเป็นไปได้ของผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อมนุษย์และระบบต่าง ๆ ผลผลิตต่าง ๆ ที่ Space Weather Prediction Center มีความหลากหลายแต่ส่วนใหญ่อธิบายสภาวะแวดล้อมของอวกาศมีเพียงส่วนน้อยที่จะกล่าวถึงผลกระทบที่มนุษย์ที่จะประสบกับผลของการปั่นป่วนนั้น สเกลเหล่านี้จึงเป็นประโยชน์อย่างมากต่อผู้ใช้ผลผลิตจาก Space Weather Prediction Center รวมทั้งผู้ที่สนใจถึงผลกระทบดังกล่าว

สเกลที่อธิบายความรุนแรงของความปั่นป่วนของพายุจากดวงอาทิตย์ทั้ง 3 รูปแบบ โดยให้ระดับความรุนแรงเป็นตัวเลข เช่นเดียวกับระดับความรุนแรงของพายุทอร์นาโดและแผ่นดินไหว ซึ่งในแต่ละระดับจะแสดงถึงความเป็นไปได้ของผลกระทบ

7.1 สเกลวัดความรุนแรงของพายุแม่เหล็กโลก (Geomagnetic Storm)

Space Weather Prediction Center ระบุว่าพายุแม่เหล็กโลกจะส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า (Power systems) การปฏิบัติการของยานอวกาศ (Spacecraft operations) และระบบอื่น ๆ ที่ระบุไว้ในแต่ละระดับความรุนแรง โดยใช้อักษรตัว “G” หมายถึง Geomagnetic Storm และตามด้วยตัวเลขระดับความรุนแรง ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ระดับดังนี้

ประเภท		ผลกระทบ	การวัดทางกายภาพ	เฉลี่ยความถี่ของการเกิด (1 รอบ/11ปี)
สเกล	ชั้นความรุนแรง	ระยะเวลาของปรากฏการณ์ที่ส่งผลกระทบต่อความรุนแรงของผลกระทบ		
พายุแม่เหล็กโลก (Geomagnetic Storms)			ค่า Kp* ตรวจวัดทุก 3 ชั่วโมง	จำนวนเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นตามระดับของ Kp (จำนวนวันที่เกิดพายุ)
G5	รุนแรงสูงสุด	ระบบไฟฟ้า (Power systems) ก่อให้เกิดปัญหาการควบคุมแรงดันไฟฟ้า (Voltage) และระบบป้องกันไฟฟ้าเป็นบริเวณกว้าง ซึ่งบางระบบกริด (โครงข่ายในการจ่ายกระแสไฟฟ้า) อาจประสบความเสียหายหรือไม่สามารถทำงานได้ รวมทั้งอาจสร้างความเสียหายให้กับหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformers) การปฏิบัติการของยานอวกาศ (Spacecraft operations) อาจประสบกับปัญหาการสะสมประจุที่พื้นผิวของยานอวกาศเป็นวงกว้าง ปัญหาเกี่ยวกับการกำหนดทิศทางหรือตำแหน่ง การส่งสัญญาณเชื่อมต่อไปยังยานอวกาศหรือจากยานอวกาศมายังสถานีภาคพื้นและการติดตามดาวเทียม	Kp=9	4 ครั้งต่อวงรอบ (4วันต่อวงรอบ)

		ระบบอื่น ๆ อาจเกิดกระแสไฟฟ้าในท่อส่ง (Pipeline currents) นับเป็นหลายร้อย แอมแปร์ การกระจายคลื่นวิทยุย่าน HF (high frequency) อาจไม่สามารถที่กระทำได้ในหลายพื้นที่นับเป็นเวลาหนึ่งถึงสองวัน ประสิทธิภาพของระบบนำทางด้วยดาวเทียมลดลงเป็นเวลาหลายวัน ระบบนำทางโดยคลื่นวิทยุ LF (Low frequency) อาจขาดหายเป็นเวลาหลายชั่วโมง และอาจพบออโรราต่ำลงมาปกคลุมบริเวณฟลอริดาและตอนใต้ของเท็กซัส (โดยเฉพาะละติจูด 40 องศาเหนือแม่เหล็ก (geomagnetic latitude))		
G4	รุนแรงมาก	ระบบไฟฟ้า (Power systems) มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดปัญหาการควบคุมแรงดันไฟฟ้าเป็นวงกว้าง และระบบป้องกันบางส่วนทำงานผิดพลาดอาจไม่สามารถเชื่อมต่อกันในระบบกริดได้ การปฏิบัติการของยานอวกาศ (Spacecraft operations) อาจประสบประจุไฟฟ้าบนพื้นผิวของยานอวกาศและปัญหาเกี่ยวกับการติดตาม อาจมีความต้องการที่จะปรับแก้เกี่ยวกับทิศทางและตำแหน่ง ระบบอื่น ๆ กระแสเหนี่ยวนำในท่อส่งมีผลกระทบต่อการวัดค่า, มีผลต่อการกระจายคลื่นวิทยุในช่วงคลื่น HF เป็นบางครั้ง ลดทอนประสิทธิภาพของระบบนำทางด้วยดาวเทียมนานับหลายชั่วโมง เกิดการรบกวนระบบนำทางด้วยคลื่นวิทยุในช่วงความถี่ LF และปรากฏการณ์ออโรราจะพบอยู่ต่ำที่สุดบริเวณรัฐ Alabama และ ทางตอนเหนือของ California (บริเวณละติจูดที่ 45 องศาเหนือแม่เหล็ก)	Kp=8	100 ครั้งต่อวงรอบ (60วันต่อวงรอบ)
G3	รุนแรง	ระบบไฟฟ้า (Power systems) อาจมีความจำเป็นที่ต้องแก้ไขค่าแรงดันไฟฟ้า, อุปกรณ์ระบบป้องกันบางอย่างอาจแจ้งเตือนผิดพลาด การปฏิบัติการของยานอวกาศ (Spacecraft operations) อาจเกิดประจุไฟฟ้าตามส่วนประกอบต่าง ๆ ของดาวเทียม, แร่ธาตุที่มีต่อดาวเทียมที่อยู่ในวงโคจรระดับต่ำรอบโลกเพิ่มขึ้น และต้องมีการปรับแก้ปัญหาเกี่ยวกับทิศทางและตำแหน่ง ระบบอื่น ๆ อาจก่อให้เกิดปัญหาเป็นครั้งคราวในระบบนำทางด้วยดาวเทียมและระบบนำทางด้วยคลื่นวิทยุย่านความถี่ LF รวมทั้งคลื่นวิทยุในย่าน HF ด้วยเช่นเดียวกัน ปรากฏการณ์ออโรราจะพบในบริเวณที่ต่ำลงมาในแถบรัฐ Illinois และ Oregon (ประมาณละติจูดที่ 50 องศาเหนือแม่เหล็ก)	Kp=7	200 ครั้งต่อวงรอบ (130วันต่อวงรอบ)
G2	ปานกลาง	ระบบไฟฟ้า (Power systems) ระบบควบคุมแรงดันไฟฟ้าในแถบละติจูดสูงอาจแจ้งเตือน หากช่วงเวลาการเกิดพายุแม่เหล็กโลกยาวนานอาจเป็นผลทำให้หม้อแปลงไฟฟ้าเสียหายได้ การปฏิบัติการของยานอวกาศ (Spacecraft operations) อาจจำเป็นต้องทำการปรับแก้เกี่ยวกับทิศทางและตำแหน่งโดยสถานีภาคพื้น, ความเป็นไปได้ของแรงดูดที่เปลี่ยนแปลงไปจะมีผลต่อการคาดการณ์วิถีวงโคจร ระบบอื่น ๆ การแพร่กระจายสัญญาณคลื่นวิทยุย่าน HF ในแถบละติจูดสูงลดทอนลง และปรากฏการณ์ออโรราพบต่ำลงมาบริเวณ New York และ Idaho (บริเวณละติจูดที่ 55 องศาเหนือแม่เหล็ก)	Kp=6	600 ครั้งต่อวงรอบ (360วันต่อวงรอบ)
G1	เล็กน้อย	ระบบไฟฟ้า (Power systems) ระบบไฟฟ้าอาจเกิดการผันผวนเล็กน้อย การปฏิบัติการยานอวกาศ (Spacecraft operations) มีความเป็นไปได้ที่จะส่งผลกระทบต่อปฏิบัติการของดาวเทียมเล็กน้อย ระบบอื่น ๆ ส่งผลการอพยพย้ายถิ่นของสัตว์ที่ผิวพื้นและในระดับที่สูงกว่า, ปรากฏการณ์ออโรราพบในละติจูดสูงเป็นประจำ (บริเวณตอนเหนือของ Michigan และ Maine)	Kp=5	1700 ครั้งต่อวงรอบ (900วันต่อวงรอบ)

10.2 สเกลวัดความรุนแรงของพายุรังสีสุริยะ (Solar Radiation Storm)

พายุรังสีสุริยะมีผลกระทบต่อระบบชีววิทยา (Biological) การปฏิบัติการของดาวเทียม (Satellite operations) และระบบอื่น ๆ โดยเฉพาะคลื่นวิทยุ โดยใช้อักษรตัว “S” หมายถึง Solar Radiation Storm และตามด้วยตัวเลขระดับความรุนแรง ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ระดับดังนี้

ประเภท		ผลกระทบ	การวัดทางกายภาพ	เฉลี่ยความถี่ของการเกิด (1 รอบ/11ปี)
สเกล	ชั้นความรุนแรง	ระยะเวลาของปรากฏการณ์ที่ส่งผลกระทบต่อความรุนแรงของผลกระทบ		
พายุรังสีสุริยะ (Solar Radiation Storms)			ระดับฟลักซ์ของ > 10 MeV particles (ions)	จำนวนเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นตามระดับของฟลักซ์(จำนวนวันที่เกิดพายุ)
S5	รุนแรงสูงสุด	ระบบชีววิทยา นักบินอวกาศที่ปฏิบัติการภายนอกยานอวกาศไม่สามารถหลีกเลี่ยงอันตรายอย่างมากจากรังสี นักบินหรือลูกเรือและผู้โดยสารที่ทำการบินในระดับสูง ๆ แถบละติจูดสูงอาจมีความเสี่ยงที่จะสัมผัสกับรังสี การปฏิบัติการของดาวเทียม ดาวเทียมอาจใช้งานไม่ได้, ผลกระทบกับหน่วยความจำเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้สูญเสียการควบคุม, อาจเป็นสาเหตุสำคัญอย่างยิ่งที่ก่อให้เกิดการสัญญาณรบกวนอันไม่พึงประสงค์ในภาพดาวเทียม, Star tracker (อุปกรณ์นำทาง ซึ่งใช้วัดการแบ่งดวงดาวเชิงมุม (angular separation of stars) กับจุดอ้างอิงเพื่อทำให้ทราบเวลาและสถานที่ เพื่อให้ได้มาซึ่งความถูกต้องของระบบนำทาง) อาจไม่สามารถระบุแหล่งที่ตั้งได้ แผงโซลาร์เซลล์มีความเป็นไปได้ที่จะถูกทำลายอย่างถาวร ระบบอื่น ๆ การติดต่อสื่อสารคลื่นวิทยุในย่าน HF ในแถบขั้วโลกทั้งหมดขาดหายอย่างสิ้นเชิง, และความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งทำให้การปฏิบัติการของเครื่องนำทางเป็นไปด้วยความยากลำบากอย่างยิ่ง	10 ⁵	น้อยกว่า 1 ครั้งต่อวงรอบ
S4	รุนแรงมาก	ระบบชีววิทยา นักบินอวกาศที่ปฏิบัติการภายนอกยานอวกาศไม่สามารถหลีกเลี่ยงอันตรายจากรังสี นักบินหรือลูกเรือและผู้โดยสารที่ทำการบินในระดับสูง ๆ แถบละติจูดสูงอาจมีความเสี่ยงที่จะสัมผัสกับรังสี การปฏิบัติการของดาวเทียม ดาวเทียมอาจประสบปัญหาเกี่ยวกับอุปกรณ์ความจำและสัญญาณรบกวนอันไม่พึงประสงค์ในระบบภาพถ่ายดาวเทียม, Star tracker อาจใช้งานไม่ได้, ผลกระทบหน่วยความจำเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้สูญเสียการควบคุม, อาจเป็น สาเหตุสำคัญอย่างยิ่งที่ก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนอันไม่พึงประสงค์ในภาพดาวเทียม ปัญหา Star tracker อาจก่อให้เกิดปัญหาในการบอกทิศทางและตำแหน่ง และประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ลดลง ระบบอื่น ๆ การติดต่อสื่อสารคลื่นวิทยุในย่าน HF ในแถบขั้วโลกทั้งหมดขาดหายอย่างสิ้นเชิง, และเพิ่มความคลาดเคลื่อนของเครื่องนำทางนานนับหลายวัน	10 ⁴	3 ครั้งต่อวงรอบ

S3	รุนแรง	ระบบชีววิทยา แนะนำให้นักบินอวกาศที่ปฏิบัติการภายนอกยานอวกาศหลีกเลี่ยงอันตรายจากรังสีนักบินหรือลูกเรือและผู้โดยสารที่ทำการบินในระดับสูง ๆ แถบละติจูดสูงอาจมีความเสี่ยงที่จะสัมผัสกับรังสี การปฏิบัติการของดาวเทียม เกิดปรากฏการณ์ single event upsets (SEU- คือสถานะของการถูกทำลายโดยอนุภาคไอออนหนึ่งตัวที่เกิดจากการแตกตัว (ionizing) ซึ่งอาจเป็นโปรตอน หรืออิเล็กตรอนพุ่งชนจุดที่ประบางและไวต่อการเปลี่ยนแปลงเช่นในไมโครอิเล็กทรอนิกส์, อุปกรณ์กึ่งตัวนำ (semiconductors) หน่วยความจำ หรืออุปกรณ์ทรานซิสเตอร์กำลัง (Power transistors)), มีแนวโน้มที่ประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ลดลงเล็กน้อย ระบบอื่น ๆ ลดทอนการแพร่สัญญาณคลื่นวิทยุในช่วงคลื่น HF ทั่วบริเวณขั้วโลก และมีแนวโน้มที่ตำแหน่งระบบนำทางคลาดเคลื่อน	10^3	10 ครั้งต่อวงรอบ
S2	ปานกลาง	ระบบชีววิทยา นักบินหรือลูกเรือและผู้โดยสารที่ทำการบินในระดับสูง ๆ แถบละติจูดสูงอาจมีความเสี่ยงที่จะสัมผัสกับรังสี การปฏิบัติการของดาวเทียม มีโอกาสเกิดปรากฏการณ์ single event upsets ได้เป็นบางครั้ง ระบบอื่น ๆ ลดทอนการแพร่สัญญาณคลื่นวิทยุในช่วงคลื่น HF ทั่วบริเวณขั้วโลกเพียงเล็กน้อย และระบบนำทางบริเวณแถบขั้วโลกอาจได้รับผลกระทบ	10^2	25 ครั้งต่อวงรอบ
S1	เล็กน้อย	ระบบชีววิทยา ไม่ได้รับผลกระทบ การปฏิบัติการของดาวเทียม ไม่ได้รับผลกระทบ ระบบอื่น ๆ มีผลกระทบต่อคลื่นวิทยุในช่วงคลื่น HF บริเวณแถบขั้วโลก	10	50 ครั้งต่อวงรอบ

10.3 สเกลวัดความรุนแรงของการลุกจ้าของดวงอาทิตย์ (Solar Flare) หรือ Radio Blackout

การลุกจ้าของดวงอาทิตย์หรือ Radio Blackout มีผลกระทบระบบคลื่นวิทยุความถี่สูง (HF Radio)ระบบนำทาง (Navigation) โดยใช้อักษรตัว “R” หมายถึง Radio Blackout และจะตามด้วยตัวเลขระดับความรุนแรง ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ระดับดังนี้

ประเภท		ผลกระทบ	การวัดทางกายภาพ	เฉลี่ยความถี่ของการเกิด (1 รอบ/11ปี)
สเกล	ชั้นความรุนแรง	ระยะเวลาของปรากฏการณ์ที่ส่งผลต่อความรุนแรงของผลกระทบ		
การลุกจ้าของดวงอาทิตย์ (Solar Flare) หรือ Radio Blackout			GOES X-ray peak brightness by class and by flux*	จำนวนเหตุการณ์ที่เกิดตามระดับของฟลักซ์(จำนวนวันที่เกิดพายุ)

R5	รุนแรง สูงสุด	ระบบคลื่นวิทยุความถี่สูง สัญญาณคลื่นวิทยุความถี่สูงที่อยู่ทางด้านรับแสงของโลกขาดหายทั้งหมดนานนับหลายชั่วโมงเป็นผลทำให้นักเดินเรือและนักบินไม่สามารถใช้คลื่นวิทยุความถี่สูงในการติดต่อสื่อสารได้ ระบบนำทาง ระบบนำทางที่ใช้สัญญาณในช่วงคลื่นความถี่ต่ำที่ใช้ในการเดินเรือหรือระบบการบินทั่วไป (General aviation) ประสบกับ Sun outages (เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ เมื่อโลก ดาวเทียม และดวงอาทิตย์ โคจรมาอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน ทำให้จานสายอากาศของสถานีภาคพื้นดิน รับสัญญาณจากดวงอาทิตย์(ที่เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีกำลังงานขนาดมหาศาล) ซึ่งจะผลิตสัญญาณทุกย่านความถี่ เกิดขึ้นเป็นสัญญาณรบกวน ปะปนเข้ามาับสัญญาณสื่อสารข้อมูลทีสถานีภาคพื้นดินนั้นๆรับจากดาวเทียม ทำให้สถานีสื่อสารภาคพื้นดิน ไม่สามารถติดต่อสื่อสารได้อย่างถูกต้อง ซึ่งเหตุการณ์ sun outage จะเกิดขึ้นปีละ 2 ครั้ง แต่ละครึ่งจะใช้เวลานาน 5-10 วัน วันละประมาณ 15 นาที และการเกิดปรากฏการณ์ sun outage นี้จะเกิดกับสถานีดาวเทียมที่ติดตั้งในพื้นที่ต่าง ๆ ไม่พร้อมกันขึ้นอยู่กับตำแหน่งของสถานีภาคพื้นดินบนพื้นโลกทางด้านรับแสงของโลกเป็นเวลากหลายชั่วโมง) ซึ่งทำให้ทำให้ระบบตำแหน่งไม่ได้ ความคลาดเคลื่อนของระบบนำทางในการระบุตำแหน่งเพิ่มขึ้นและนานนับหลายชั่วโมงซึ่งอาจแผ่ขยายเข้ามาในด้านที่ได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ของโลกได้	X20 (2×10^{-3})	น้อยกว่า 1 ครั้งต่อ วงรอบ
R4	รุนแรงมาก	ระบบคลื่นวิทยุความถี่สูง การติดต่อสื่อสารคลื่นวิทยุความถี่สูงที่อยู่ทางด้านรับแสงขาดหายเกือบทั้งหมดเป็นเวลานานหนึ่งถึงสองชั่วโมง ทำให้ขาดการติดต่อในช่วงเวลาดังกล่าว ระบบนำทาง ระบบนำทางที่ใช้คลื่นความถี่ต่ำสัญญาณขาดหายเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่งเพิ่มมากขึ้นเป็นเวลานานหนึ่งถึงสองชั่วโมง อาจรบกวนการทำงานของระบบนำทางด้วยดาวเทียมที่อยู่บนพื้นโลกทางด้านรับแสงของดวงอาทิตย์เล็กน้อย	X10 (10^{-3})	8 ครั้งต่อวงรอบ (8วันต่อวงรอบ)
R3	รุนแรง	ระบบคลื่นวิทยุความถี่สูง การติดต่อสื่อสารคลื่นวิทยุความถี่สูงขาดหายเป็นบริเวณกว้าง ขาดการติดต่อโดยคลื่นวิทยุเป็นเวลาประมาณหนึ่งชั่วโมง โดยเฉพาะทางด้านรับแสงของโลก ระบบนำทาง สัญญาณระบบนำทางในย่านความถี่ต่ำลดทอนลงเป็นเวลาประมาณหนึ่งชั่วโมง	X1 (10^{-4})	175 ครั้งต่อวงรอบ (140วันต่อวงรอบ)
R2	ปานกลาง	ระบบคลื่นวิทยุความถี่สูง การติดต่อสื่อสารคลื่นวิทยุความถี่สูงขาดหายจำกัดเฉพาะในด้านที่รับแสงจากดวงอาทิตย์ สูญเสียการติดต่อโดยคลื่นวิทยุประมาณนานนับสิบนาที ระบบนำทาง ลดทอนสัญญาณของระบบนำร่องความถี่ต่ำเป็นเวลาหลายสิบนาที	M5 (5×10^{-5})	350 ครั้งต่อวงรอบ (300วันต่อวงรอบ)
R1	เล็กน้อย	ระบบคลื่นวิทยุความถี่สูง ลดทอนการติดต่อสื่อสารคลื่นวิทยุความถี่สูงในด้านรับแสงของโลกเพียงเล็กน้อย เกิดการสูญเสียการติดต่อทางคลื่นวิทยุเป็นบางช่วง ระบบนำทาง ลดทอนสัญญาณนำร่องความถี่ต่ำในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ	M1 (10^{-5})	2000 ครั้งต่อ วงรอบ (950วันต่อวงรอบ)

11. บทสรุป

สภาพอากาศในอวกาศ (Space weather) อธิบายปรากฏการณ์ในอวกาศที่ส่งผลกระทบต่อโลก อันเป็นผลมาจากกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนดวงอาทิตย์ซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบ นักวิทยาศาสตร์ได้ทำการศึกษาวิจัย และสร้างเครื่องมือในการตรวจติดตามปรากฏการณ์ต่าง ๆ เหล่านั้นมาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน ตลอดจนได้มีการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือช่วยในการพยากรณ์สภาพอากาศในอวกาศและแจ้งเตือนอันตรายหรือผลกระทบที่จะอาจเกิดขึ้น ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยและหาแนวทาง เตรียมการการป้องกันหรือลดอันตรายที่เกิดขึ้นต่อมนุษย์และระบบเทคโนโลยีต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

Air Force Handbook 11-203 Vol I, Flying Operations Weather For Aircrews, 12 Jan 2012, 194-222 .

<http://www.thaispaceweather.com>

<https://www.swpc.noaa.gov/>

<https://soho.nascom.nasa.gov/spaceweather/>

<https://www.nasa.gov/content/goddard/heliophysics-system-observatory-hso>