

หน้าสรุปโครงการ (Executive Summary)

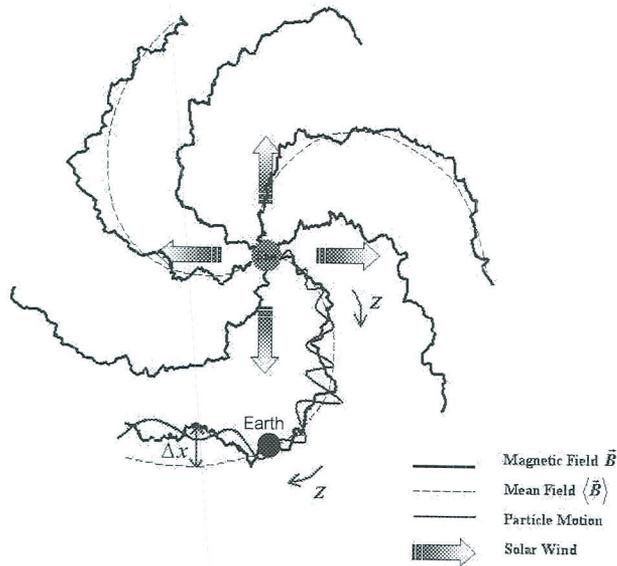
ทุนพัฒนาศักยภาพในการทำงานวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ดวงอาทิตย์ประกอบไปด้วยสนามแม่เหล็ก และก๊าซร้อนที่แตกตัวเป็นไอออนซึ่งเราเรียกว่าพลาสมา (plasma) พลาสมาบนดวงอาทิตย์นี้ส่วนหนึ่งถูกกักด้วยเส้นสนามแม่เหล็กวงปิดบนดวงอาทิตย์ พลาสมาอีกส่วนมีพลังงานเพียงพอที่จะไหลออกมาอย่างต่อเนื่องสู่ตัวกลางระหว่างดาวเคราะห์ (interplanetary space) ด้วยความเร็วโดยเฉลี่ยประมาณ 400 km/s ซึ่งเราเรียกพลาสมาส่วนนี้ว่าลมสุริยะ (solar wind) การไหลของลมสุริยะมีลักษณะปั่นป่วนและในขณะเดียวกันได้ลากเอาสนามแม่เหล็กออกมาสู่ตัวกลางระหว่างดาวเคราะห์ด้วย เนื่องจากการหมุนของดวงอาทิตย์และความปั่นป่วนของลมสุริยะ ลักษณะของสนามแม่เหล็กระหว่างดาวเคราะห์จึงมีลักษณะเป็นเกลียวกันหอยและมีความปั่นป่วน ดังแสดงในรูปที่ 1 นอกจากนี้ดวงอาทิตย์มีการประทุและปลดปล่อยอนุภาคพลังงานสูง (solar energetic particles) สู่ตัวกลางระหว่างดาวเคราะห์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า ที่มีค่าตั้งแต่ระดับพลังงาน keV ถึงระดับ GeV ซึ่งอนุภาคเหล่านี้มีผลต่อชั้นบรรยากาศของโลก เมื่อเกิดการปะทุอย่างรุนแรงที่ดวงอาทิตย์หรือที่เราเรียกว่าพายุสุริยะ โดยทั่วไปตามทฤษฎีฟิสิกส์พื้นฐานทางแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่ออนุภาคที่มีประจุอยู่ในสนามแม่เหล็กจะเคลื่อนที่เป็นเกลียวรอบสนามแม่เหล็ก โดยลักษณะการเกลียวขึ้นอยู่กับความเข้มของสนามแม่เหล็ก ความเร็วของอนุภาค และมุมระหว่างทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคกับทิศของสนามแม่เหล็ก ดังนั้นอนุภาคพลังงานสูงที่ปลดปล่อยออกมาจากดวงอาทิตย์จึงเคลื่อนที่เป็นเกลียวรอบสนามแม่เหล็กเช่นเดียวกัน แต่เนื่องจากสนามแม่เหล็กระหว่างดาวเคราะห์มีลักษณะปั่นป่วน การเคลื่อนที่ของอนุภาคจึงมีลักษณะซับซ้อนกว่าการเคลื่อนที่แบบทั่วไป เนื่องจากสนามแม่เหล็กเป็นสิ่งที่กำหนดทิศทางการขนส่งอนุภาคสู่ตัวกลางระหว่างดาวเคราะห์ ดังนั้นการศึกษาอิทธิพลของสนามแม่เหล็กปั่นป่วนต่ออนุภาคที่เคลื่อนที่ในอวกาศ จึงมีความสำคัญในการนำไปสู่การอธิบายกลไกและปรากฏการณ์ต่างๆที่มีการสังเกตและเก็บข้อมูลจากยานอวกาศ เช่น ปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงความเข้มอย่างรวดเร็วของอนุภาคพลังงานสูง (dropouts) และการลดลงของรังสีคอสมิกในกาแลกซีเนื่องจากลมสุริยะ (solar modulation) นอกจากนี้งานวิจัยนี้จะทำให้เราเกิดองค์ความรู้ใหม่ทางฟิสิกส์ จึงคาดว่าผลที่ได้จากการวิจัยยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามแม่เหล็กปั่นป่วนในห้องทดลอง เช่น ในการพยายามผลิตพลังงานจากการควบคุมปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน และในสถานการณ์อื่นๆได้อีกด้วย

จากการศึกษาที่ผ่านมา นักวิทยาศาสตร์ได้ให้ความสนใจที่จะอธิบายกลไกการเคลื่อนที่หรือการขนส่งอนุภาคในอวกาศและแบ่งได้เป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ กลุ่มแรกคือศึกษาถึงสิ่งที่ป็นสาเหตุให้อนุภาคเคลื่อนที่นั่นคือสนามแม่เหล็กปั่นป่วนเนื่องจากทางเดินของอนุภาคมีลักษณะเกลียวรอบสนามแม่เหล็ก ดังนั้นจึงประมาณได้ว่าศูนย์กลางการเกลียวรอบสนามแม่เหล็กของอนุภาค (guiding center) มีเส้นทางประมาณหรือใกล้เคียงกับเส้นสนามแม่เหล็ก ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์กลุ่มนี้จึงมุ่งที่จะเข้าใจเส้นทางเดินของสนามแม่เหล็ก ก่อนที่จะศึกษาการเคลื่อนที่ของอนุภาคโดยตรง จึงหันมาศึกษาปัญหาการพุ่งของเส้นทางเดินของสนามแม่เหล็กจากแนวสนามแม่เหล็กเฉลี่ยซึ่งมีลักษณะปัญหาที่ซับซ้อนน้อยกว่าศึกษาการเคลื่อนที่ของอนุภาคโดยตรง จึงได้มีการสร้างแบบจำลองสนามแม่เหล็กแบบปั่นป่วน และสร้างทฤษฎีต่างๆเพื่อที่จะเข้าใจและอธิบายเส้นทางเดินของอนุภาค แต่เราพบว่าการศึกษาเพียงการพุ่งของเส้นสนามแม่เหล็กทำให้เราเข้าใจการเคลื่อนที่ของอนุภาคเพียงแค่บางส่วนเท่านั้น และเมื่อเปรียบเทียบกับ การขนส่งหรือการพุ่งของอนุภาคโดยตรงยังมีความแตกต่างอยู่มาก เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคมีกลไกที่ซับซ้อนมากกว่าเส้นสนามแม่เหล็ก ส่วนนักวิทยาศาสตร์อีกกลุ่มมุ่งศึกษาการเคลื่อนที่ของอนุภาคโดยตรง โดยพยายามทำการจำลองและสร้างทฤษฎีที่สามารถประยุกต์ได้กับอนุภาคโดยตรง แต่เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมายังไม่เข้าใจกลไกที่เกิดเนื่องจากลักษณะสนามแม่เหล็กปั่นป่วนโดยตรงที่ชัดเจน จึงทำให้ทฤษฎีที่

ได้มาในปัจจุบันยังไม่สมบูรณ์ และไม่ครอบคลุมปัญหาโดยทั่วไป ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาและหาความสัมพันธ์ระหว่างเส้นสนามแม่เหล็ก และเส้นทางเดินของอนุภาคโดยใช้การจำลองเชิงตัวเลขและปรับปรุงทฤษฎีที่อธิบายและนำไปประยุกต์ใช้กับการขนส่งของอนุภาคในอวกาศให้สมบูรณ์และครอบคลุมปัญหาโดยทั่วไปมากขึ้น นอกจากนี้เรายังสนใจปัญหาทั้งที่เป็นแบบสนามแม่เหล็กปั่นป่วนที่ไม่ขึ้นกับเวลา (static turbulent magnetic field) และแบบที่ขึ้นกับเวลา (dynamical turbulent magnetic field) ซึ่งในแบบหลังจะใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงมากขึ้น



รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างสนามแม่เหล็กและลมสุริยะ

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุและเส้นสนามแม่เหล็กปั่นป่วน
- 2.2 เพื่อหาผลกระทบของการลอยเลื่อนและการเคลื่อนที่ข้ามเส้นแม่เหล็กของอนุภาคที่มีประจุเนื่องจากความปั่นป่วนของเส้นสนามแม่เหล็กทั้งในเชิงวิเคราะห์และเชิงตัวเลข
- 2.3 เพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับสนามแม่เหล็กแบบปั่นป่วนที่ขึ้นกับเวลาและศึกษาการเดินสุ่มของเส้นสนามแม่เหล็กปั่นป่วนที่เคลื่อนที่
- 2.4 เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กที่ขึ้นกับเวลาและการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุ

3. ระเบียบวิธีวิจัย

โครงการนี้มีการศึกษาแบ่งได้เป็นสองส่วนคือ

3.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเส้นสนามแม่เหล็กและเส้นทางเดินของอนุภาค

ระเบียบวิธีการวิจัยในส่วนนี้จะแบ่งออกเป็นกรจำลองเชิงตัวเลขด้วยชุดคอมพิวเตอร์ที่ต่อแบบขนาน (parallel computing) เพื่อให้มีประสิทธิภาพการทำงานสูง และอีกส่วนคือการคำนวณเชิงวิเคราะห์เพื่อสร้างทฤษฎีมาอธิบายผลที่ได้จากการจำลองเชิงตัวเลข การสร้างทฤษฎีนี้จะช่วยนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยในอนาคตได้ง่ายขึ้น ในส่วนที่เป็นการจำลอง

เชิงตัวเลขจะเป็นการจำลองเส้นทางเดินสนามแม่เหล็กปั่นป่วนและการจำลองเส้นทางเดินของอนุภาคในสนามแม่เหล็กปั่นป่วนชุดเดียวกับที่ทำเส้นทางเดินของสนามแม่เหล็ก โดยเราจะใช้แบบจำลองสนามแม่เหล็กแบบสององค์ประกอบเพื่อสร้างชุดของสนามแม่เหล็กในอวกาศ จากนั้นแก้สมการเชิงอนุพันธ์ของเส้นสนามแม่เหล็ก (field line equations) เพื่อหาเส้นทางเดินของสนามแม่เหล็ก โดยทำการกำหนดจุดเริ่มต้นของเส้นสนามแม่เหล็กในบริเวณต่าง ๆ จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณเส้นทางเดินของสนามแม่เหล็กซึ่งมีจำนวนมากและใช้เนื้อที่ในการเก็บข้อมูลมากเพื่อให้ได้สถิติที่ดีเมื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูล จากนั้นทำการจำลองอีกครั้งโดยใช้สนามแม่เหล็กชุดเดียวกับที่ทำกรจำลองหาเส้นสนามแม่เหล็ก แต่หาเส้นทางเดินของอนุภาคที่มีตำแหน่งเริ่มต้นที่เดียวกับจุดเริ่มต้นของสนามแม่เหล็กดังกล่าวข้างต้น แก้สมการเชิงอนุพันธ์นิวตัน-ลอเรนซ์ (Newton-Lorentz equation) ผลที่ได้จะเป็นตำแหน่งเส้นทางเดินของอนุภาคที่เคลื่อนที่อยู่ใกล้เคียงกับเส้นสนามแม่เหล็กที่เราหามาได้ข้างต้น จากนั้นจะวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของเส้นทางเดินทั้งสองโดยใช้สถิติแบบต่าง ๆ สุดท้ายสร้างทฤษฎีเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ของเส้นสนามแม่เหล็กและเส้นทางเดินของอนุภาค

3.2 การสร้างแบบจำลองสนามแม่เหล็กปั่นป่วนที่ขึ้นกับเวลาและศึกษาการเดินทางสุ่ม

เช่นเดียวกับการศึกษาใน ส่วนแรก ระเบียบวิธีการวิจัยในส่วนนี้จะแบ่งออกเป็น การจำลองเชิงตัวเลขด้วยชุดคอมพิวเตอร์ที่ต่อแบบขนานและอีกส่วนคือการคำนวณเชิงวิเคราะห์เพื่อสร้างทฤษฎีมาอธิบายผลที่ได้จากการจำลองเชิงตัวเลข เราจะใช้หลักการคำนวณหาเส้นสนามแม่เหล็กเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.1 เพียงแต่เราจะทำการปรับปรุงฟังก์ชันในการสร้างชุดสนามแม่เหล็กปั่นป่วนแบบสององค์ประกอบให้ขึ้นกับเวลา ซึ่งแบบจำลองของสนามแม่เหล็กปั่นป่วนที่อยู่กับเวลาที่ เราจะทำการศึกษาในโครงการวิจัยนี้มีอยู่สองแบบคือแบบ random sweeping และ แบบ damping ดังนั้นเราจึงต้องออกแบบการสร้างชุดสนามแม่เหล็กที่ขึ้นกับเวลาเชิงตัวเลข เพื่อให้เข้ากับแบบจำลองดังกล่าว ในการศึกษาในส่วนนี้เราจะเก็บข้อมูลของเส้นสนามแม่เหล็กที่เวลาและตำแหน่งต่าง ๆ แล้วมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการเคลื่อนที่ของอนุภาคในอวกาศ ซึ่งในการศึกษาส่วนนี้จะมีลักษณะใกล้เคียงกับธรรมชาติมากขึ้นเนื่องจากแท้จริงแล้วสนามแม่เหล็กในอวกาศมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

4. แผนการดำเนินงานวิจัยตลอดโครงการในแต่ละช่วง 6 เดือน

4.1 แผนงานเดือนที่ 1-6

- 4.1.1 ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูล เพื่อที่จะทราบแนวทางในปัจจุบัน และนำมาประยุกต์ ออกแบบงานวิจัยที่กำลังจะดำเนินการ
- 4.1.2 จัดซื้ออุปกรณ์ และสร้างชุดการคำนวณเชิงตัวเลข ได้อุปกรณ์พร้อมสำหรับทำวิจัย
- 4.1.3 ออกแบบเงื่อนไขค่าเริ่มต้นและค่าคงที่ต่าง ๆ เพื่อนำไปคำนวณเชิงตัวเลข และทำการจำลองเส้นสนามแม่เหล็กปั่นป่วนและการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่เส้นสนามแม่เหล็กนั้น เก็บข้อมูล เพื่อให้ได้ข้อมูลเส้นทางเดินสนามแม่เหล็กและอนุภาคที่มีความสัมพันธ์กัน

4.2 แผนงานเดือนที่ 7-12

- 4.2.1 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างเส้นสนามแม่เหล็กปั่นป่วนกับการเคลื่อนที่ของอนุภาค เพื่อเข้าใจถึงกลไกทางฟิสิกส์ของอนุภาคในเส้นสนามแม่เหล็กปั่นป่วน
- 4.2.2 เผยแพร่ผลงาน และเรียบเรียงผลงานเพื่อการตีพิมพ์สำหรับบทความแรก

4.3 แผนงานเดือนที่ 13-18

- 4.3.1 ออกแบบการคำนวณเชิงตัวเลขเพื่อสร้างฟังก์ชันสนามแม่เหล็กที่ขึ้นกับเวลา เพื่อให้ได้ชุดสนามแม่เหล็กปั่นป่วนที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา
- 4.3.2 จำลองเส้นสนามแม่เหล็กปั่นป่วนที่ขึ้นกับเวลา และเก็บข้อมูล เพื่อนำไปวิเคราะห์ทางสถิติ

4.4 แผนงานเดือนที่ 19-24

- 4.4.1 วิเคราะห์ข้อมูลและสร้างทฤษฎีการฟุ้งของสนามแม่เหล็กปั่นป่วนที่ขึ้นกับเวลา และนำผลที่ได้เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ขึ้นกับเวลาและการเคลื่อนที่ของอนุภาค เพื่อเข้าใจถึงกลไกทางฟิสิกส์ของการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของเส้นสนามแม่เหล็กปั่นป่วน และการเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามแม่เหล็กปั่นป่วนที่ขึ้นกับเวลา
- 4.4.2 เผยแพร่ผลงาน และเรียบเรียงผลงานเพื่อการตีพิมพ์บทความที่สอง

5. ผลงานหัวข้อเรื่องที่สำคัญที่คาดว่าจะตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติในแต่ละปี

ปีที่ 1: ชื่อเรื่องที่สำคัญที่คาดว่าจะตีพิมพ์:

Separation of charged particle trajectories from turbulent magnetic field lines
ชื่อวารสารที่สำคัญที่คาดว่าจะตีพิมพ์: Astrophysical Journal (impact factor = 6.405)

ปีที่ 2: ชื่อเรื่องที่สำคัญที่คาดว่าจะตีพิมพ์:

Dynamical magnetic field turbulence and implications for the transport of charged particles in interplanetary space
ชื่อวารสารที่สำคัญที่คาดว่าจะตีพิมพ์: Astrophysical Journal (impact factor = 6.405)