Parker Solar Probe analysis across the Alfvénic transition:
velocity shear, magnetic deflection, and switchback formation
การวิเคราะห์ข้อมูลจากยาน Parker Solar Probe ข้ามรอยต่ออัลฟ์เวน :
ความเฉือนในความเร็ว ความเฉียงในทิศของสนามแม่เหล็ก และกำเนิดการย้อนกลับ

(J. Goodwill*, S. Adhikari, D. Payne, R. Bandyopadhyay, S. Badman, F. Pecora, P. Pongkitiwanichakul, R. Pradata, O. Romeo, S. Roy, **D. Ruffolo,** M. Stevens, P. Thepthong, A. Usmanov, J. Wang, M. L. Goldstein, R. Chhiber, and W. H. Matthaeus 2026, Parker Solar Probe Analysis across the Alfvénic Transition: Velocity Shear, Magnetic Deflection and Switchback Formation, *Mon. Not. R. Astron. Soc.,* **547,** 1 (IF=4.8) https://doi.org/10.1093/mnras/stag242)

Close to the Sun, NASA's Parker Solar Probe (PSP) traverses the sub-Alfvénic solar wind, a magnetically controlled plasma (ionized gas) environment. Farther from the Sun, the magnetic field amplitude and plasma density weaken enough to establish a super-Alfvénic environment where kinetic energy and turbulence become more prominent. Switchbacks (i.e. large directional deviations in the magnetic field from its mean) are shown to occur almost exclusively in the super-Alfvénic regime. In this study, we analyse magnetic fluctuations from PSP encounters 8 through 19 to study their relationship to Alfvén Mach number (M_A) and switchback parameter (Z). We find that the fluctuation of the magnetic field magnitude normalized to the mean magnetic field and of the radial velocity normalized to local Alfvén speed increase with both Alfvén Mach number and switchback parameter. However, there is distinct saturation in the increments of the normalized radial velocity fluctuations in the Alfvén Mach number range of ∼4–6. Results are interpreted in terms of the Chandrasekhar criterion for Kelvin–Helmholtz activity. Overall, these findings are in agreement with earlier studies suggesting switchback generation through non-linear shear flow dynamics.

ใกล้ดวงอาทิตย์ ยานอวกาศ Parker Solar Probe (PSP) ขององค์กรนาซ่าผ่านลมสุริยะแบบใต้อัลฟ์เวน ในสิ่งแวดล้อมที่สนามแม่เหล็กควบคุมพลาสมา (แก๊สที่แตกตัวเป็นไอออนและอิเล็กตรอน) แต่ห่างจากดวงอาทิตย์ ความเข้มสนามแม่เหล็กและความหนาแน่นพลาสมาลดลงพอที่จะสร้างสิ่งแวดล้อมแบบเหนืออัลฟ์เวน โดยพลังงานจลน์และความปั่นป่วนมีบทบาทมากขึ้น การย้อนกลับ (กล่าวคือ การเบี่ยงทิศของสนามแม่เหล็กจากค่าเฉลี่ย) เกือบทั้งหมดพบในบริเวณเหนืออัลฟ์เวน ที่นี้ เราวิเคราะห์ความแปรปรวนในสนามแม่เหล็กที่ยาน PSP เมื่อผ่านใกล้ดวงอาทิตย์ครั้งที่ 8 ถึง 19 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์กับเลขมาชอัลฟ์เวน (M_A) และพารามิเตอร์การย้อนกลับ (Z) โดยพบว่า ทั้งความแปรปรวนในแมกนิจูดสนามแม่เหล็กเทียบกับค่าแมกนิจูดเฉลี่ย และความเร็วในทิศจากดวงอาทิตย์เทียบกับการเพิ่มความเร็วอัลฟเวนในท้องถิ่น มีการเพิ่มพร้อม M_A และพร้อม Z แต่มีภาวะอิ่มตัวในอินคริเมนต์ของความเร็วในทิศจากดวงอาทิตย์แบบเทียบนั้น ในช่วง M_A ~4-6 เราตีความผลในเทอมของเงื่อนไขของจันทรเศขรสำหรับกิจกรรมเคลวิน-

เฮล์มโฮลทซ์ โดยรวม ผลลัพธ์เหล่านี้สอดคล้องกับผลงานก่อนหน้าที่ที่เสนอว่าการย้อนกลับกำเนิดจากพลศาสตร์ไม่เชิงเส้นของการไหลแบบเฉือน

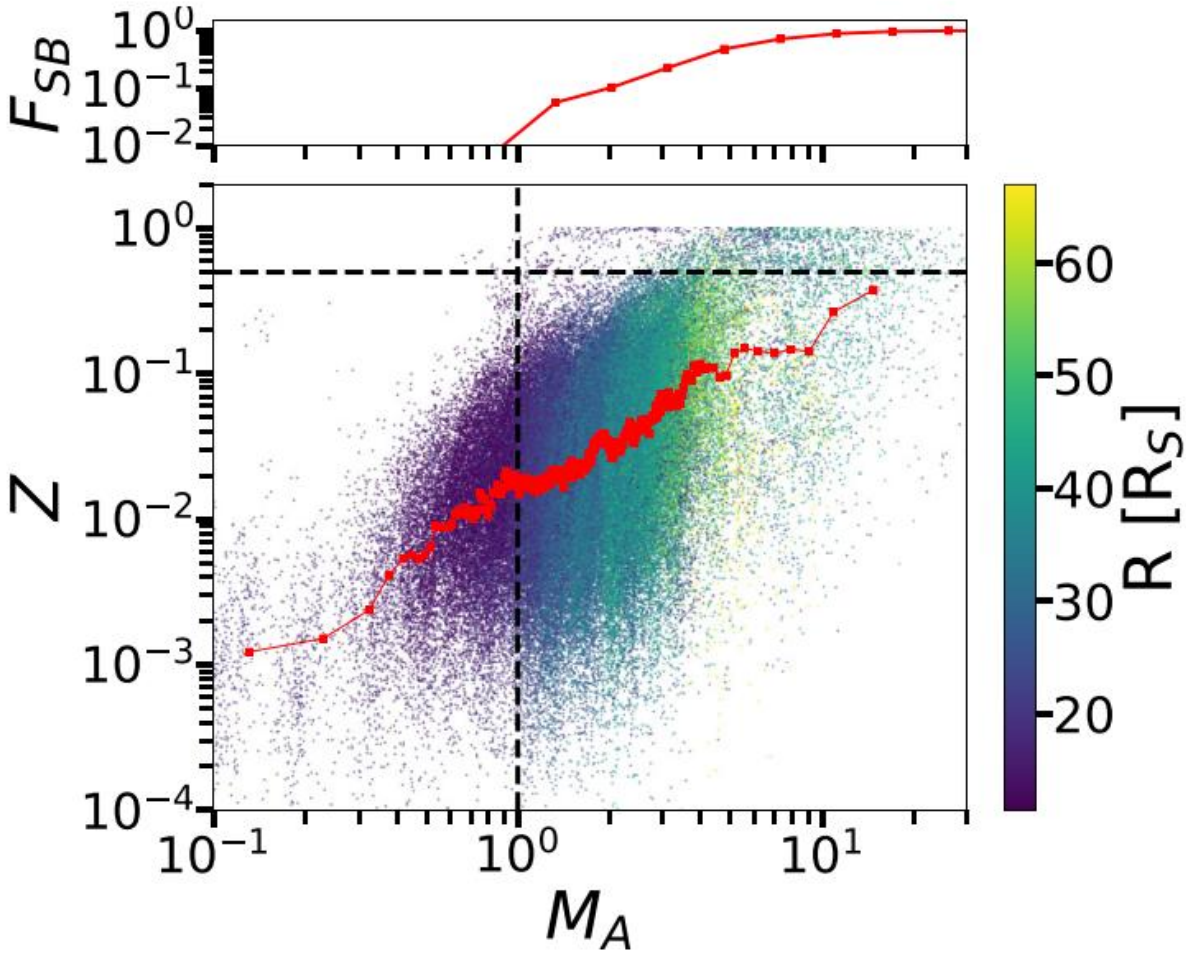

Figure 3. (Bottom) Magnetic switchback parameter (Z) shown as a function of Alfvén Mach number (M_A). (Top) The cumulative fractional number of switchbacks below a given threshold on Alfvén Mach number (F_{SB}).The preponderance of switchbacks are in the super-Alfvénic region. For a similar analysis, see D. Payne et al. (2026).