Properties of Magnetic Switchbacks in the Near-Sun Solar Wind

สมบัติของการย้อนกลับของสนามแม่เหล็กในลมสุริยะใกล้ดวงอาทิตย์

(S. T. Badman, N. Fargette, L. Matteini*, O. V. Agapitov, M. Akhavan-Tafti, S. D. Bale, S. B. Das, N. Bizien, T. A. Bowen, T. Dudok de Wit, C. Froment, T. Horbury, J. Huang, V. K. Jagarlamudi, A. Larosa, M. S. Madjarska, O. Panasenco, E. Pariat, N. E. Raouafi, A. P. Rouillard, **D. Ruffolo**, N. Sioulas, S. L. Soni, L. Sorriso-Valvo, G. H. H. Suen, M. Velli, and J. Verniero 2026, Properties of Magnetic Switchbacks in the Near-Sun Solar Wind, *Space Sci. Rev.,* **222,** 14 (IF=7.4) https://doi.org/10.1007/s11214-026-01267-w)

Magnetic switchbacks are fluctuations in the solar wind in which the interplanetary magnetic field sharply deflects away from its background direction so as to create folds in magnetic field lines while remaining of roughly constant magnitude. The magnetic field and velocity fluctuations are extremely well correlated in a way corresponding to Alfvénic fluctuations propagating away from the Sun. For a background field that is nearly radial this causes an outwardly propagating jet to form. Switchbacks and their characteristic velocity jets have recently been observed to be nearly ubiquitous by NASA's Parker Solar Probe with *in situ* measurements in the inner heliosphere within 0.3 AU and outside the Alfvén surface. Their prevalence, substantial energy content, and potentially fundamental role in the dynamics of the outer corona and solar wind motivate the significant research efforts into their understanding. Here we review the *in situ* measurements of these structures (primarily by Parker Solar Probe). We discuss how they are identified and measured, and present an overview of the primary observational properties of these structures, both in terms of individual switchbacks and their collective arrangement into "patches". We identify both properties for which there is a strong consensus and those that have limited or qualified support and require further investigation. We identify and collate several open questions and recommendations for future studies.

การย้อนกลับของสนามแม่เหล็กเป็นความแปรปรวนในลมสุริยะ โดยสนามแม่เหล็กระหว่างดาวเคราะห์เปลี่ยนทิศทางกะทันหันและสร้างรอยพับในเส้นสนามแม่เหล็ก โดยแมกนิจูดค่อนข้างคงที่ ความแปรปรวนในสนามแม่เหล็กและความเร็วมีคอริเลชันที่ดีมาก ในลักษณะที่สอดคล้องกับความแปรปรวนอัลฟ์เวนิกที่แผ่ออกจากดวงอาทิตย์ เมื่อสนามแม่เหล็กดั้งเดิมเกือบอยู่ในทิศรัศมี จะทำให้เกิดเจ็ท (การไหลที่รวดเร็ว) ที่แผ่ออกจากดวงอาทิตย์เช่นกัน ยาน Parker Solar Probe ขององค์กรนาซ่า ได้พบการย้อนกลับและเจ็ทบ่อยมากในฮีลิโอสเฟียร์ส่วนใน ที่อยู่ระหว่าง 0.3 AU จากดวงอาทิตย์แต่นอกผิวอัลฟ์เวน แรงจูงใจที่จะศึกษาการย้อนกลับ รวมถึงการที่พบบ่อย มีพลังงานมากพอสมควร และอาจมีบทบาทพื้นฐานในพลวัตของบรรยากาศส่วนนอกของดวงอาทิตย์และลมสุริยะ ที่นี้ เราทบทวนการวัดโครงสร้างเหล่านี้ในลมสุริยะ โดยเฉพาะด้วย Parker Solar Probe เราปรึกษาการระบุและวัดการ

ย้อนกลับ และเสนอภาพกว้างของสมบัติที่สังเกตเกี่ยวกับโครงสร้างเหล่านี้ ทั้งของการย้อนกลับทีละครั้ง และในการรวมกลุ่มเป็น “patches” เราระบุทั้งสมบัติที่เป็นที่ยอมรับ และที่มีหลักฐานสนับสนุนที่จำกัดและต้องได้รับการศึกษาเพิ่มขึ้น เราระบุและเรียบเรียงคำถามที่ยังไม่มีคำตอบ และคำแนะนำสำหรับการศึกษาเพิ่มเติม

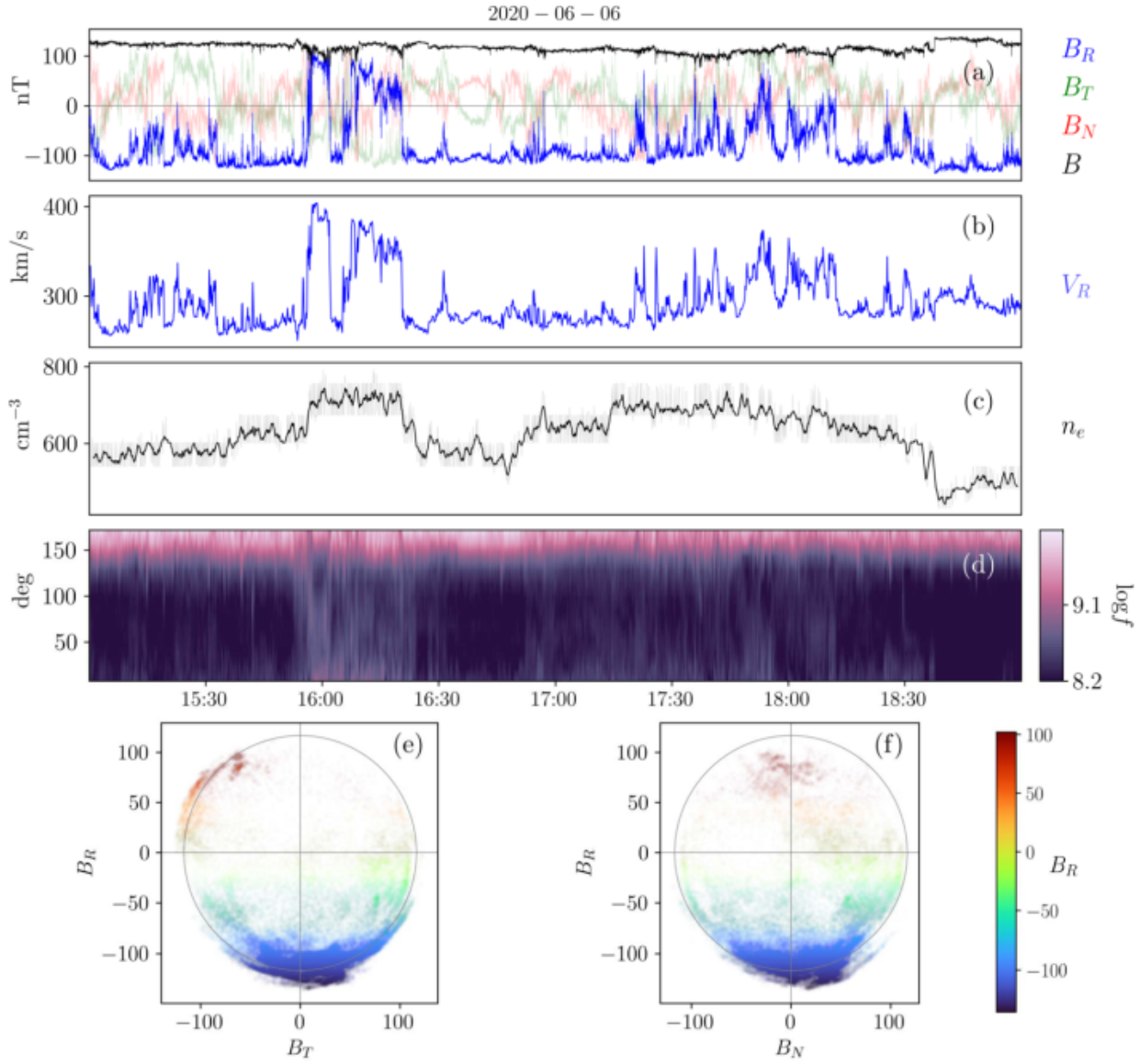

Fig. 3 Magnetic switchbacks observed by Parker at 28 $R_\odot$ during E5. The top panels display timeseries of (a) the magnetic field vector, (b) the radial solar wind velocity from SPAN, (c) the 1-minute average of the electron density from QTN, and (d) the PAD of suprathermal electrons (314 eV). The bottom panels show scatter plots of B_R vs B_T (e) and B_R vs B_N (f) colored by B_R during the considered time interval