

## Scale and Time Dependence of Alfvénicity in the Solar Wind

### as Observed by the Parker Solar Probe

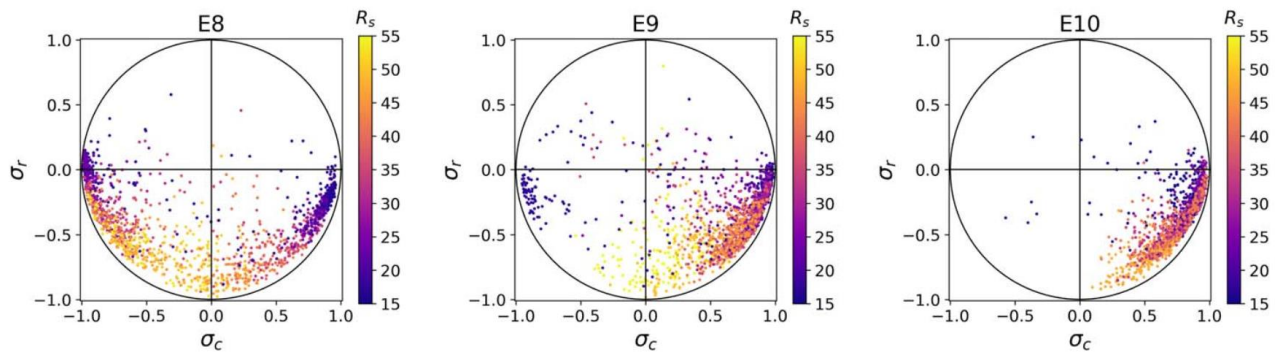
#### สภาพคลื่นอัลฟเวนในลมสุริยะต่อเสกและเวลาที่สังเกตโดยยาน Parker Solar Probe

(P. Thepthong, P. Pongkitiwanchakul\*, D. Ruffolo, R. Kieokaew, R. Bandyopadhyay, W. H. Matthaeus, and T. N. Parashar, Scale and Time Dependence of Alfvénicity in the Solar Wind as Observed by the Parker Solar Probe, *Astrophys. J.*, **962**, 37 <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ad1592> )

Alfvénicity is a well-known property, common in the solar wind, characterized by a high correlation between magnetic and velocity fluctuations. Data from the Parker Solar Probe (PSP) enable the study of this property closer to the Sun than ever before, as well as in the sub-Alfvénic solar wind (with flow speed slower than the speed of Alfvén waves). We consider scale-dependent measures of Alfvénicity based on second-order functions of the magnetic and velocity increments as a function of time lag, including the normalized cross helicity  $\sigma_c$  (a measure of the correlation between those increments) and residual energy  $\sigma_r$  (a measure of the imbalance of kinetic energy over magnetic energy). Scale-dependent Alfvénicity is strongest for lags near the correlation scale and increases when moving closer to the Sun. We find that  $\sigma_r$  typically remains close to the maximally negative value compatible with  $\sigma_c$ . We did not observe significant changes in measures of Alfvénicity between sub-Alfvénic and super-Alfvénic wind. During most times, the solar wind was highly Alfvénic; however, lower Alfvénicity was observed when PSP approached the heliospheric current sheet or other magnetic structures with sudden changes in the radial magnetic field, non-unidirectional strahl electron pitch angle distributions, and strong electron density contrasts. These results are consistent with a picture in which Alfvénic fluctuations generated near the photosphere transport outward, forming highly Alfvénic states in the young solar wind, and subsequent interactions with large-scale structures and gradients lead to weaker Alfvénicity, as commonly observed at larger heliocentric distances.

สภาพคลื่นอัลฟเวนเป็นสมบัติที่รู้จักมานาน ที่พบบ่อยในลมสุริยะ ซึ่งหมายถึงคอร์ริเลชันสูงระหว่างความแปรปรวนในสนามแม่เหล็กและความเร็ว ข้อมูลจากยาน Parker Solar Probe ทำให้สามารถศึกษาสมบัตินี้ใกล้ที่สุดกับดวงอาทิตย์ที่เคยเป็นไปได้ รวมถึงในลมสุริยะประเภทซับอัลฟเวนิก ซึ่งมีความเร็วต่ำกว่าความเร็วของคลื่นอัลฟเวน เราศึกษาตัวบ่งชี้ของสภาพคลื่นอัลฟเวนที่ขึ้นกับเสก โดยใช้ฟังก์ชันอันดับสองของความเปลี่ยนแปลงในสนามแม่เหล็กและความเร็วต่อช่วงเวลา รวมทั้งครอสเฮลิซิตีแบบนอร์มัลไลซ์  $\sigma_c$  ซึ่งวัดคอร์ริเลชันระหว่างความเปลี่ยนแปลงดังกล่าว และความ  $\sigma_r$  ซึ่งวัดความเกินของพลังงานจลน์เทียบกับพลังงานแม่เหล็ก สภาพคลื่นอัลฟเวน

ต่อเสกสมิ่ค่ามากที่สุดสำหรับช่วงเวลาใกล้กับเสกสมคอรร์ริเลชัน และเพิ่มมากขึ้นขณะเข้าใกล้ดวงอาทิตย์ เราพบว่า  $\sigma_r$  มักจะมีค่าที่เป็นลบที่สุดที่สอดคล้องกับค่า  $\sigma_c$  เราไม่พบการเปลี่ยนแปลงในค่าสภาพคลื่นอัลฟเวนระหว่างช่วงซับอัลฟเวนิกกับซุเปอร์อัลฟเวนิก โดยส่วนใหญ่ ลมสุริยะมีสภาพคลื่นอัลฟเวนที่สูง แต่เราพบสภาพคลื่นอัลฟเวนที่ต่ำลงต่อเมื่อยานเข้าใกล้กับแผ่นกระแสของฮีลิโอสเฟียร์ หรือโครงสร้างแม่เหล็กอื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงกระทันหันในสนามแม่เหล็กในทิสริ์คมี การกระจายตัวในมุมพิซที่ไม่ไปทิศทางเดียวกันของอิเล็กตรอนสตราล และการเปลี่ยนแปลงมากในความหนาแน่นของอิเล็กตรอน ผลเหล่านี้สอดคล้องกับภาพรวมที่มีความแปรปรวนแบบคลื่นอัลฟเวนที่เกิดขึ้นใกล้ผิวดวงอาทิตย์ เคลื่อนที่ออกไป และสร้างสถานะสภาพคลื่นอัลฟเวนสูงในลมสุริยะแรกเกิด โดยมีอันตรกิริยากับโครงสร้างเสกสมใหญ่และเกรเดียนต์จนสภาพคลื่นอัลฟเวนลดลง ถึงระดับที่พบทั่วไป ณ ระยะไกลจากดวงอาทิตย์



**Figure 2.** Normalized cross helicity as a function of normalized residual energy for PSP solar encounters 8, 9, and 10 using velocity and magnetic field increments over a lag of  $\tau = 87.4$  s. Each data point is based on averages over a nonoverlapping 10 minute time window. The color scale represents the heliocentric distance from the Sun in solar radii ( $R_s$ ). The black circle indicates the mathematical constraint  $\sigma_c^2 + \sigma_r^2 = 1$ .