

Electron crossover and diffusion region width in symmetric,
collisionless magnetic reconnection

การข้ามและความกว้างของเขตการพุ่งของอิเล็กตรอนในการเชื่อมต่อใหม่
ของเส้นสนามแม่เหล็กแบบสมมาตรและไร้การชน

(P. Suetrong, P. Pongkitiwanchakul*, K. Malakit, T. Pianpanit, M. Shamir, M. A. Shay, P. A. Cassak, and **D. Ruffolo** 2026, Electron Crossover and Diffusion Region Width in Symmetric, Collisionless Magnetic Reconnection, Phys. Plasmas, 33, 052102 (IF=2.2) <https://doi.org/10.1063/5.0305141>)

We investigate electron-scale dynamics near the X-line during steady-state symmetric, collisionless magnetic reconnection without a guide field, using fully kinetic particle-in-cell simulations. By labeling electrons from opposite inflow regions, we examine the evolution of their bulk flows, force balance, and contributions to the electron current layer. The collisionless interpenetration of directed labeled flows from both sides gives rise to off diagonal pressure tensor elements, such that a significant contribution to the reconnection electric field arises from the crossover of electron flows originating from the two different inflow regions. We further show that the bulk acceleration of each electron population determines the size of the electron diffusion region near the X-line. This work demonstrates how flow labeling provides new insights into reconnection structure, revealing behaviors that are otherwise inaccessible with conventional computational diagnostics.

เราศึกษาพลศาสตร์ระดับอิเล็กตรอนใกล้เส้น X ระหว่างการเชื่อมต่อใหม่ของเส้นสนามแม่เหล็กแบบสมมาตรและไร้การชนในภาวะคงตัวที่ไม่มีสนามตั้งฉาก โดยใช้การจำลองประเภท “อนุภาคในกล่อง” ที่ใช้ฟิสิกส์ระดับจลนศาสตร์เต็มตัว จากการปะทะกันของอิเล็กตรอนที่มาจากเขตไหลเข้าต่าง ๆ เราติดตามวิวัฒนาการของการไหล สมดุลระหว่างแรงต่าง ๆ และส่วนประกอบในชั้นกระแสอิเล็กตรอน การไหลผ่านกันละกันแบบไร้การชน ซึ่งศึกษาด้วยการปะทะกันการไหลเข้าจากแต่ละด้าน ทำให้เกิดสมาชิกไม่ตามเส้นทแยงในเทนเซอร์ความดัน จนเกิดส่วนประกอบที่สำคัญสำหรับสนามไฟฟ้าการเชื่อมต่อใหม่ ขากการไหลข้ามของอิเล็กตรอนจากเขตไหลเข้าทั้งสองด้าน ต่อจากนั้น เราแสดงว่าความกว้างของเขตการพุ่งของอิเล็กตรอนใกล้เส้น X เกิดจากการเร่งของประชากรอิเล็กตรอนจากแต่ละด้าน งานนี้จึงแสดงวิธีที่การปะทะกันสร้างความเข้าใจใหม่เกี่ยวกับโครงสร้างการเชื่อมต่อ โดยเปิดเผยพฤติกรรมที่เข้าไม่ถึงด้วยวิธีการคำนวณดั้งเดิม

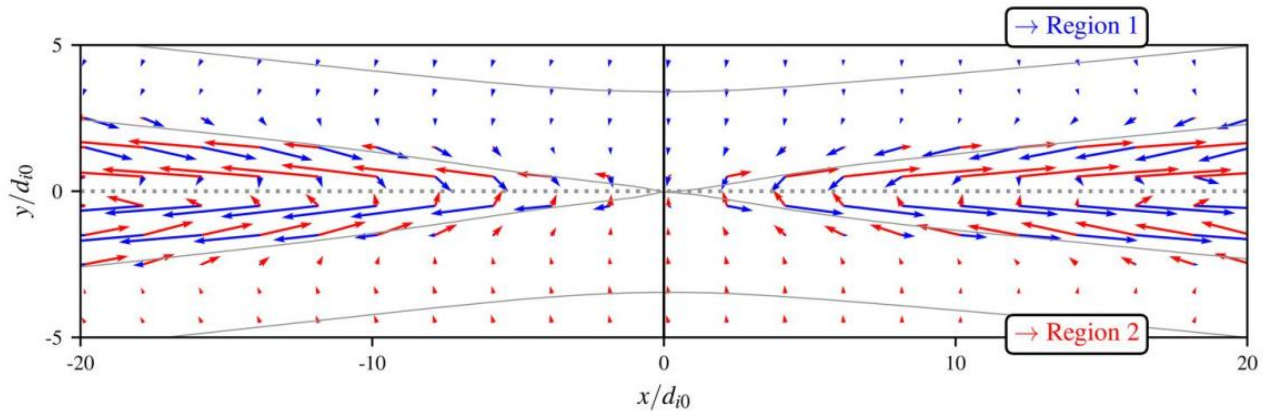


FIG. 1. Vector field plot of electron flux from Region 1 (blue) and Region 2 (red) near the X-line of symmetric collisionless magnetic reconnection for $\beta = 1$ (Run 2a). Selected magnetic field lines are shown in gray. This figure illustrates the crossover and interpenetration of particle populations from the two regions.