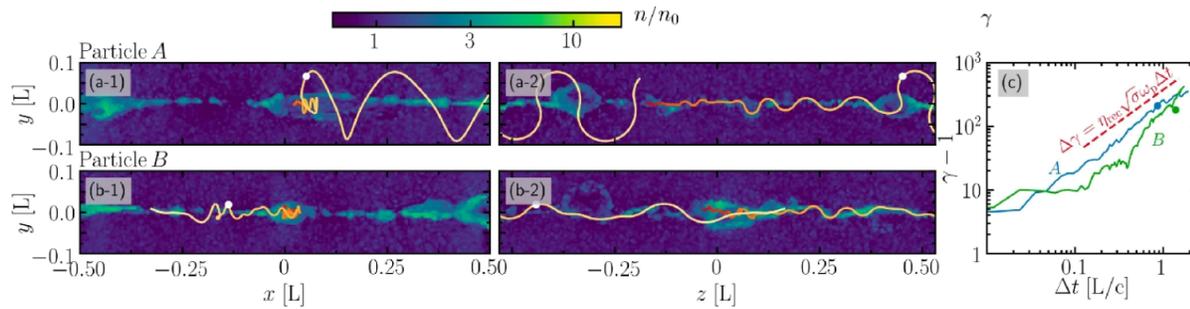


## Θέμα 1: Μελέτη επιτάχυνσης σωματιδίων σε σχετικιστική μαγνητική επανασύνδεση



**Εικόνα:** Αποτελέσματα από αριθμητική προσομοίωση μαγνητικής επανασύνδεσης. *Αριστερά:* στιγμιότυπο που απεικονίζει το φύλλο ρεύματος (με χρώμα υποδεικνύεται η αριθμητική πυκνότητα του πλάσματος) και τις τροχιές δύο ενεργητικών (σχετικιστικών) σωματιδίων (Zhang et al. 2021, ApJ Lett.). *Δεξιά:* Χρονική μεταβολή της κινητικής ενέργειας των σωματιδίων (Zhang et al. 2021, ApJ Lett.)

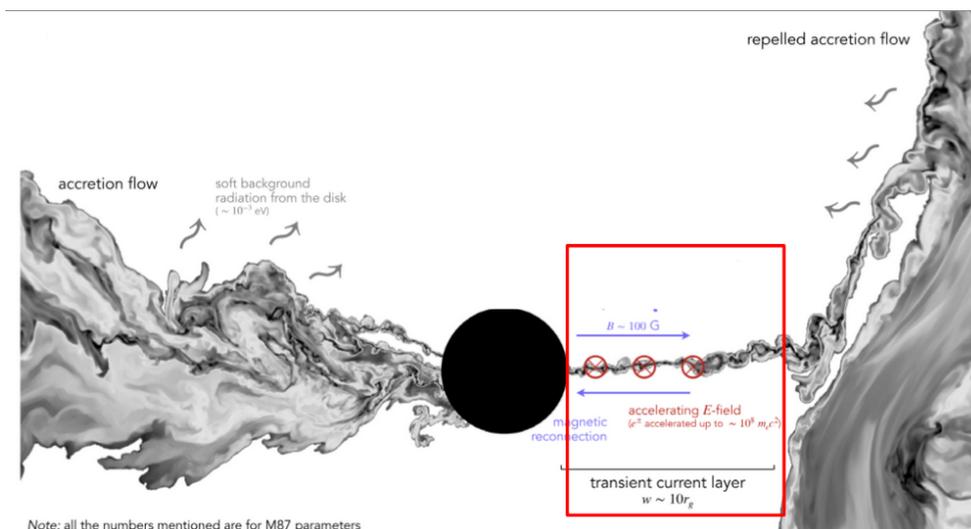
### Περίληψη

Η μαγνητική επανασύνδεση είναι μια φυσική διεργασία που συμβαίνει σε πολλά διαστημικά, ηλιακά, αστροφυσικά και εργαστηριακά συστήματα. Κατά τη διάρκεια της επανασύνδεσης, η μεταβολή της μαγνητικής τοπολογίας οδηγεί σε ταχεία απελευθέρωση μαγνητικής ενέργειας σε άκρως αγώγιμα πλάσματα, κάτι που δεν μπορεί να εξηγηθεί μέσω διάχυσης μαγνητικής ροής. Σήμερα, η μαγνητική επανασύνδεση θεωρείται ευρέως ως μια καθοριστική διαδικασία για εκρηκτική απελευθέρωση ενέργειας, επιτάχυνση σχετικιστικών σωματιδίων και εκπομπή υψηλής ενέργειας ακτινοβολίας στο Σύμπαν (για πρόσφατη ανασκόπηση βλέπε Guo et al. (2024), Space Science Reviews).

**Σκοπός της εργασίας αυτής** είναι να ποσοτικοποιηθεί ο ρυθμός μεταβολής της κινητικής ενέργειας σχετικιστικών ηλεκτρονίων και ποζιτρονίων (π.χ. βλ. Εικόνα 1) χρησιμοποιώντας δεδομένα από 3D προσομοιώσεις μαγνητικής επανασύνδεσης σε περιβάλλον υψηλής μαγνήτισης. Ο/η φοιτητής/τρια θα χρησιμοποιήσει δεδομένα (όπως η θέση και ορμή του σωματιδίου, οι τιμές των συνιστωσών του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου) για να υπολογίσει αριθμητικά το  $\Delta(\gamma-1)/\Delta t$  για σωματίδια με διαφορετική τελική ενέργεια. Επιπλέον, θα γίνει 3D απεικόνιση της τροχιάς των σωματιδίων.

Επίβλεψη: Μαρία Πετροπούλου  
Συνεπίβλεψη: Δέσποινα Καράβολα

## Θέμα 2: Μελέτη ανισοτροπίας στο οπτικό βάθος σκεδάσεων $\gamma\gamma \rightarrow e^- e^+$ στην περιοχή μαγνητοσφαιρικών φύλλων ρεύματος



**Εικόνα:** Σχηματική αναπαράσταση φύλλου ρεύματος που δημιουργείται στη μαγνητοσφαιρική περιοχή μιας μαύρης τρύπας στην οποία προσπίπτει πλάσμα μέσω δίσκου. Φωτόνια χαμηλής ενέργειας (γκρι βελάκια) εκπέμπονται ισοτροπικά από τον δίσκο. Ακτίνες γάμμα υψηλής ενέργειας εκπέμπονται στην αζιμουθιακή κατεύθυνση από πρωτόνια που επιταχύνονται παράλληλα στο ηλεκτρικό πεδίο. Σκεδάσεις μεταξύ φωτονίων μπορεί να οδηγήσουν σε δίδυμη γέννηση (Πίστωση εικόνας: [Hakobyan et al. 2023, ApJ](#)).

### Περίληψη:

Η μαγνητική επανασύνδεση θεωρείται ως μια καθοριστική διαδικασία για εκρηκτική απελευθέρωση ενέργειας, επιτάχυνση σχετικιστικών σωματιδίων και εκπομπή υψηλής ενέργειας ακτινοβολίας στο Σύμπαν (για πρόσφατη ανασκόπηση βλέπε [Sironi et al. \(2025\)](#)). Σύγχρονες προσομοιώσεις πρόσπτωσης ύλης σε μαύρες τρύπες δείχνουν την δημιουργία φύλλων ρεύματος στο ισημερινό επίπεδο (βλ. εικόνα) όπου λαμβάνει χώρα μαγνητική επανασύνδεση (π.χ. [Ripperda et al. 2022, ApJ](#)).

Πρόσφατα προτάθηκε ότι πρωτόνια που επιταχύνονται κατά μήκος του ηλεκτρικού πεδίου  $E$  εκπέμπουν φωτόνια λόγω ακτινοβολίας σύγχροτρον ([Hakobyan et al. 2025, ApJ](#)). Σε πρόσφατη εργασία μας ([Petroroulou, Karavola, Sironi, 2026, under review](#)) δείχνουμε ότι τα πρωτόνια μπορούν να παράγουν ζεύγη μέσω της αλληλεπίδρασης Bethe-Heitler με τα φωτόνια του δίσκου. Τα παραγόμενα ζεύγη παράγουν ακτίνες γάμμα υψηλής ενέργειας μέσω ακτινοβολίας σύγχροτρον. Οι ακτίνες γάμμα, που εκπέμπονται κυρίως στην αζιμουθιακή κατεύθυνση στο ισημερινό επίπεδο, μπορούν να αλληλεπιδράσουν με τα φωτόνια του δίσκου και να δημιουργήσουν νέα ζεύγη ( $\gamma\gamma \rightarrow e^- e^+$ ).

**Σκοπός της εργασίας αυτής** είναι να μελετήσουμε το οπτικό βάθος της διαδικασίας  $\gamma\gamma \rightarrow e^- e^+$  λαμβάνοντας υπόψη την ανισοτροπία των γωνιών σκέδασης και να δούμε πόσο αλλάζει σε

σχέση με την ιστροπική περίπτωση. Θα προσομοιώσουμε τις σκεδάσεις με χρήση Monte Carlo που θα αναπτύξει ο/η φοιτητής/τρια. Θα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα με ημι-αναλυτικούς υπολογισμούς του οπτικού βάθους.

*Επίβλεψη: Μαρία Πετροπούλου*

*Συνεπίβλεψη: Γεώργιος Βασιλόπουλος, Δέσποινα Καραβόλα*