



**ΕΛΙΔΕΚ.**  
Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας & Καινοτομίας

**Περιγραφή Χρηματοδοτούμενου Ερευνητικού Έργου**  
**1η Προκήρυξη Ερευνητικών Έργων ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ. για την**  
**ενίσχυση των Μελών ΔΕΠ και Ερευνητών/τριών και την**  
**προμήθεια ερευνητικού εξοπλισμού μεγάλης αξίας**

# Τίτλος Ερευνητικού Έργου: Προκλήσεις στην Κοσμολογία και την Αστροσωματιδιακή Φυσική

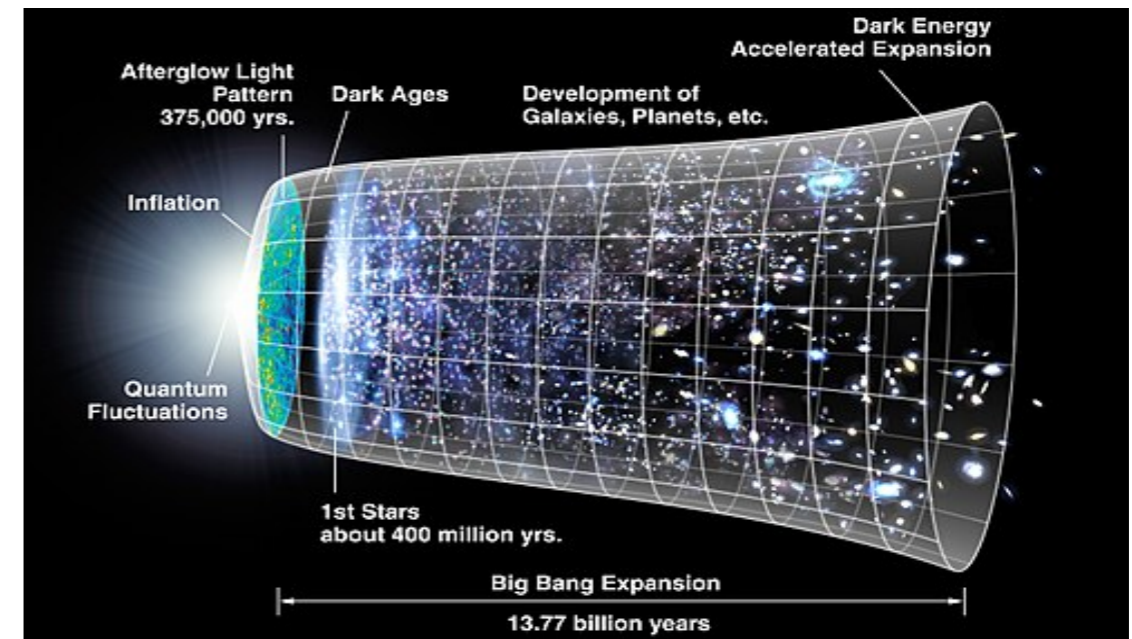
Επιστημονικός/ή Υπεύθυνος:  
Νικόλαος Τετράδης

Επιστημονική Περιοχή:  
Φυσικές Επιστήμες

Φορέας Προέλευσης και Χώρα:  
Εθνικό και Καποδιστριακό  
Πανεπιστήμιο Αθηνών (Ελλάδα)

Φορέας Υποδοχής:  
Ινστιτούτο Επιταχυντικών Συστημάτων  
και Εφαρμογών (ΙΕΣΕ)

Συνεργαζόμενοι Φορείς:  
1. Austrian Academy of Science  
2. King's College London  
3. CERN  
4. University of Minnesota



Ποσό Χρηματοδότησης: 200000 ευρώ  
Διάρκεια Χρηματοδότησης: 36 μήνες

## Σύνοψη Ερευνητικού Έργου

Στα επόμενα χρόνια η συνέργεια μεταξύ Κοσμολογίας και Αστροσωματιδιακής Φυσικής θα παράσχει λεπτομερείς πληροφορίες για τη φυσική πέρα από το Καθιερωμένο Πρότυπο των Στοιχειωδών Σωματιδίων, το οποίο αποτελεί την κωδικοποίηση όλης της θεμελιώδους γνώσης για τον φυσικό κόσμο. Η φύση της σκοτεινής ύλης και ενέργειας του Σύμπαντος αποτελεί ένα βασικό κοινό πρόβλημα των δύο ερευνητικών πεδίων. Στα πλαίσια του έργου διερευνώνται πιθανά σενάρια που μπορούν να δώσουν απαντήσεις στο πρόβλημα. Συγκεκριμένα, μελετάται λεπτομερώς η πιθανότητα η σκοτεινή ύλη να αποτελείται από σωματίδια τύπου βαρυτίνου, το οποίο είναι ο υπερσυμμετρικός εταίρος του βαρυτονίου, του φορέα της βαρυτικής αλληλεπίδρασης. Το σενάριο αυτό αναλύεται με βάση πρότυπα υπερβαρύτητας, τα οποία μπορούν να καθορίσουν τόσο την κοσμολογική πυκνότητα των βαρυτίνων όσο και τις παραμέτρους του κοσμολογικού πληθωρισμού, του αρχικού σταδίου της κοσμολογικής εξέλιξης του Σύμπαντος. Επίσης, προσδιορίζεται με ακρίβεια, χρησιμοποιώντας σύγχρονες στατιστικές μεθόδους, ο παραμετρικός χώρος δημοφιλών υπερσυμμετρικών μοντέλων, στη βάση πειραματικών δεδομένων από την Κοσμολογία, τη Σωματιδιακή και την Αστροσωματιδιακή Φυσική. Τέλος, διερευνάται το πολύ ενδιαφέρον σενάριο σύμφωνα με το οποίο η σκοτεινή ύλη αποτελείται από αρχέγονες μελανές οπές. Αυτή η πιθανότητα έχει προσελκύσει έντονο ενδιαφέρον πρόσφατα, λόγω της ανίχνευσης από τα πειράματα LIGO/VIRGO βαρυτικών κυμάτων που εκπέμπονται κατά τη συγχώνευση ζεύγους μελανών οπών. Είναι ενδιαφέρον ότι μια τέτοια πρόβλεψη μπορεί να συνδυαστεί με τις μελέτες της σταθερότητας κενού του πεδίου Higgs στο πλαίσιο του Καθιερωμένου Προτύπου των Στοιχειωδών Σωματιδίων.

## Πρωτοτυπία του Ερευνητικού Έργου

Η προσέγγισή μας ενσωματώνει πολλά νέα στοιχεία στη μελέτη της υπερσυμμετρικής σκοτεινής ύλης:

- 1) Πραγματοποιούμε έναν ακριβή υπολογισμό της θερμικής αφθονίας βαρυτίνων για γενική τιμή της μάζας τους, συμπεριλαμβάνοντας όλες τις κυρίαρχες ήπιες υπερσυμμετρικές παραμέτρους, όπως είναι οι τριγραμμικές ζεύξεις (trilinear couplings). Θα αντλήσουμε ένα κατά προσέγγιση αναλυτικό αποτέλεσμα που θα διευκολύνει την εξαγωγή κοσμολογικών περιορισμών. Τα αποτελέσματα θα ενσωματωθούν στο Gravitino-Pack, ένα εργαλείο σε γλώσσα Mathematica και Fortran/C++ που υπολογίζει τις διασπάσεις σε επίπεδο τριών σωμάτων που περιλαμβάνουν βαρυτίνα.
- 2) Θα κάνουμε συγκεκριμένες προβλέψεις για τα αρχέγονα φάσματα ισχύος των διαταραχών καμπυλότητας και των βαρυτικών κυμάτων για πληθωριστικά μοντέλα που σχετίζονται με υπερβαρυτικά δυναμικά δίχως κλίμακα (no-scale).
- 3) Ενημερώνουμε τη φαινομενολογική ανάλυση του χώρου παραμέτρων για διάφορα υπερσυμμετρικά μοντέλα, υποθέτοντας ότι το ουδετερόνιο (neutralino) είναι το σωματίδιο της σκοτεινής ύλης. Παρά το γεγονός ότι το σενάριο του βαρυτίνου έχει επικρατήσει πρόσφατα, πολλά υπερσυμμετρικά μοντέλα εξακολουθούν να προτιμούν το πιο ελαφρύ ουδετερόνιο ως υποψήφιο για τη σκοτεινή ύλη. Σκοπεύουμε να χρησιμοποιήσουμε ένα γενικό πλαίσιο, τον MasterCode, προκειμένου να συμπεριλάβουμε όλα τα σημαντικά δεδομένα έμμεσης ανίχνευσης σκοτεινής ύλης, όπως ροές νετρίνων και αντι-ύλης από διάφορες αστροφυσικές πηγές, σε μια ολοκληρωμένη στατιστική ανάλυση που λαμβάνει επίσης υπόψη άμεσες αναζητήσεις και δεδομένα από τους επιταχυντές.

Η πιθανή ύπαρξη αρχέγονων μελανών οπών δίνει τη δυνατότητα ερμηνείας της σκοτεινής ύλης στο πλαίσιο του Καθιερωμένου Προτύπου των Στοιχειωδών Σωματιδίων ή των επεκτάσεών του. Αναλύουμε νέα χαρακτηριστικά του δυναμικού του πληθωριστικού πεδίου που μπορούν να οδηγήσουν σε ισχυρή ενίσχυση του φάσματος ισχύος των διαταραχών καμπυλότητας και στην παραγωγή αρχέγονων μελανών οπών. Ένα παράδειγμα ενός τέτοιου χαρακτηριστικού είναι η απότομη μείωση του δυναμικού, η οποία οδηγεί σε ένα ταλαντωτικό μοτίβο στο φάσμα, με ενίσχυση κατά αρκετές τάξεις μεγέθους για ορισμένους κυματαριθμούς. Διερευνούμε την προέλευση αυτών και παρόμοιων χαρακτηριστικών στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας πεδίων, την πιθανή εφαρμογή σε μοντέλα υπερβαρύτητας και την επίδρασή τους στο φάσμα των βαρυτικών κυμάτων που παράγονται κατά τον σχηματισμό μελανών οπών.

## Αναμενόμενα αποτελέσματα & Αντίκτυπος του Ερευνητικού Έργου

Στο εγγύς μέλλον πολλά μεγάλα πειράματα θα καταγράψουν πληθώρα δεδομένων σε σχέση με μια σειρά θεμελιωδών προβλημάτων στην Κοσμολογία και την Αστροσωματιδιακή Φυσική. Το πρόγραμμά μας εστιάζει σε μερικά από αυτά τα ανοιχτά προβλήματα: τη φύση της σκοτεινής ύλης, την ύπαρξη υπερσυμμετρίας, την ύπαρξη αρχέγονων μαύρων τρυπών. Η πρόοδος σε αυτά τα επιστημονικά μέτωπα απαιτεί την ταυτόχρονη εξέταση δεδομένων από πλήθος πειραμάτων: LHC, PLANCK, BICEP2/Keck Array, ICECUBE, FERMI-LAT, XENON1T, LUX, PandaX-II, γαλαξιακές παρατηρήσεις, μελέτη βαρυτικών φακών. Ένα μεγάλο μέρος της προσπάθειάς μας εστιάζει στη βελτίωση ή την ανάπτυξη των απαραίτητων εργαλείων που θα οδηγήσουν σε περιορισμούς στα προτεινόμενα θεωρητικά μοντέλα με βάση τα πειραματικά δεδομένα. Αυτά τα εργαλεία περιλαμβάνουν το Gravitino-Pack και το MasterCode. Η επιτυχής ολοκλήρωση της προτεινόμενης έρευνας θα παρέχει στην επιστημονική κοινότητα (αναλυτικά, ημι-αναλυτικά ή αριθμητικά) εργαλεία που θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη των συνεπειών της συσσωρευμένης πειραματικής πληροφορίας για τη θεμελιώδη περιγραφή της φύσης.

Στο καθαρά θεωρητικό μέτωπο, το ερευνητικό έργο εξετάζει κριτικά την τρέχουσα κατανόηση κοσμολογικών μηχανισμών και διαδικασιών όπως είναι ο κοσμολογικός πληθωρισμός, η παραγωγή βαρυτίνων και ο σχηματισμός αρχέγονων μελανών σπών. Εκτός από την αποσαφήνιση σκοτεινών σημείων ή τη βελτίωση των υπαρχόντων υπολογισμών, στοχεύουμε στην εμπάθυνση της κατανόησής των μηχανισμών αυτών. Από αυτή την άποψη, στοχεύουμε να οριοθετήσουμε τον παραμετρικό χώρο των θεωριών υπερσυμμετρίας και υπερβαρύτητας που είναι συνεπείς με τα πειραματικά δεδομένα, ενώ ταυτόχρονα παρέχουν απαντήσεις σε θεμελιώδεις ερωτήσεις, όπως είναι η φύση της σκοτεινής ύλης ή η προέλευση των αρχέγονων κοσμολογικών διαταραχών.

Ο επίτευξη των παραπάνω στόχων θα συμβάλει στην ελληνική και ευρωπαϊκή επιστημονική αριστεία στον ευρύτερο τομέα της Κοσμολογίας και της Αστροσωματιδιακής Φυσικής. Θα ενισχύσει τη διεθνή προβολή των Ελλήνων ερευνητών που συμμετέχουν στο έργο, σε δύο τομείς που βρίσκονται στην πρώτη γραμμή της θεμελιώδους έρευνας.



## Η σημασία της χρηματοδότησης

Η ύπαρξη επαρκών οικονομικών πόρων είναι απαραίτητη προκειμένου οι ερευνητικές ομάδες που εδρεύουν στην Ελλάδα να παρακολουθούν τις επιστημονικές εξελίξεις στο προσκήνιο της επιστήμης, να διατηρούν διεθνείς συνεργασίες και να διαδίδουν τα αποτελέσματά τους. Η συγκεκριμένη χρηματοδότηση παρέχει σημαντικούς πόρους για δύο διδακτορικούς φοιτητές (Ιωάννα Στάμου και Γιώργος Κονταξής) και έναν μεταδιδακτορικό ερευνητή (Ιωάννης Νταλιάνης). Δρα επικουρικά για έναν τρίτο φοιτητή (Ιωάννης Γιαλαμάς), καλύπτοντας τα έξοδα ταξιδιών για συμμετοχή σε συνέδρια.

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός εξαιρετικών νέων ερευνητών στον τομέα της Κοσμολογίας και της Αστροσωματιδιακής Φυσικής που είναι πρόθυμοι να επιζητήσουν επιστημονική καριέρα στην Ελλάδα. Η χρηματοδότηση συμβάλλει στην αναστροφή της διαρροής εγκεφάλων, στην άνοδο του επιπέδου της έρευνας που πραγματοποιείται στην Ελλάδα και στην ενίσχυση της προβολής και της αναγνώρισης της διεθνώς.

Το συγκεκριμένο έργο διερευνά προβλήματα της θεμελιώδους επιστήμης. Ο μακροπρόθεσμος κοινωνικός αντίκτυπος τέτοιων δραστηριοτήτων είναι βαθύς, καθώς αποτελούν τη βάση για την ενίσχυση των πολιτιστικών προτύπων της ελληνικής κοινωνίας.



**ΕΛΙΔΕΚ.**  
Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας & Καινοτομίας

## ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ

Λ. Συγγρού 185 & Σάρδεων 2  
ΤΚ. 17121, Νέα Σμύρνη, Ελλάδα  
210 64 12 410, 420  
communication@elidek.gr  
[www.elidek.gr](http://www.elidek.gr)