

## Open Schools Journal for Open Science

Vol 7, No 1 (2024)

Open Schools Journal for Open Science - Special Issue -IDEA Conference Proceedings



**MAYΡΕΣ ΤΡΥΠΕΣ**

*Κλαίρη Τσαϊλά, Εβελίνα Φίλια, Φωτεινή Τσέλιου,  
Αγλαία Φιλιππούση*

doi: [10.12681/osj.36507](https://doi.org/10.12681/osj.36507)

Copyright © 2024, Κλαίρη Τσαϊλά, Εβελίνα Φίλια, Φωτεινή Τσέλιου,  
Αγλαία Φιλιππούση



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

### To cite this article:

Τσαϊλά Κ., Φίλια Ε., Τσέλιου Φ., & Φιλιππούση Α. (2024). MAYΡΕΣ ΤΡΥΠΕΣ. *Open Schools Journal for Open Science*, 7(1). <https://doi.org/10.12681/osj.36507>

## ΜΑΥΡΕΣ ΤΡΥΠΕΣ

Κλαίρη Τσαϊλά, Εβελίνα Φίλια, Φωτεινή Τσέλιου, Αγγλεια Φιλιπούση

### Περίληψη

Στην εργασία που ακολουθεί αποφασίσαμε να επικεντρωθούμε σε ένα επιστημονικό ζήτημα με το οποίο έχουμε ασχοληθεί στα μαθητικά μας χρόνια και θα θέλαμε να μελετήσουμε και στο μέλλον. Οι “μαύρες τρύπες” του διαστήματος αποτελούν για εμάς ένα πολύ γοητευτικό και δύσκολο εγχείρημα προκειμένου να τις προσεγγίσουμε και εντοπίσουμε ορισμένα από τα χαρακτηριστικά τους.

**Λέξεις κλειδιά:** Μαύρη τρύπα, διάστημα, αστρονομία

### Εισαγωγή

Μαύρη τρύπα (ή μέλαινα οπή, αγγλικά: black hole) ονομάζεται το σημείο του χωροχρόνου, στο οποίο οι βαρυτικές δυνάμεις είναι τόσο μεγάλες, ώστε τίποτα -ούτε καν τα σωματίδια και η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, όπως το φως- να μην μπορεί να ξεφύγει από αυτό. Ο όρος «μαύρη τρύπα» είναι ευρύτατα διαδεδομένος και επινοήθηκε το 1967 από τον Αμερικάνο αστρονόμο και θεωρητικό φυσικό, Τζον Γουίλερ. Δεν αναφέρεται σε τρύπα με τη συνήθη έννοια, αλλά σε μια περιοχή του χώρου, από την οποία τίποτα δεν μπορεί να επιστρέψει.

Μία μαύρη τρύπα είναι το σημείο εκείνο του διαστήματος, όπου κάποτε υπήρχε ο πυρήνας ενός γιγάντιου άστρου, ένας πυρήνας που περιείχε περισσότερο υλικό από δύομισι ηλιακές μάζες και ο οποίος, στην τελική φάση της εξέλιξης του άστρου, έχασε την πάλη του ενάντια στη βαρύτητα, με αποτέλεσμα το υλικό του να καταρρεύσει και να συμπιεστεί περισσότερο ακόμα και από το υλικό ενός αστέρα νετρονίων.

### Ποιος ανακάλυψε πραγματικά τις μαύρες τρύπες

Ενώ το αινιγματικό τους όνομα επινοήθηκε για πρώτη φορά το 1967, η ιδέα των αντικειμένων των οποίων η βαρύτητα είναι τόσο έντονη ούτε το φως μπορεί να τους ξεφύγει είναι πολύ παλαιότερη. Το 1783, ένας Άγγλος κληρικός και ερασιτέχνης επιστήμονας ονόματι John Michell έδειξε ότι ο νόμος της βαρύτητας του Νεύτωνα υπέδειξε ότι τέτοια αντικείμενα θα μπορούσαν να υπάρχουν. Αλλά ο Μισέλ προχώρησε παραπέρα, προτείνοντας ότι παρόλο που είναι αόρατα, τέτοια αντικείμενα μπορεί να αποκαλυφθούν αν τύχαινε.

### Πώς ξέρουμε ότι υπάρχουν μαύρες τρύπες

Δεν μπορούμε να τις δούμε, αλλά γνωρίζουμε ότι οι μαύρες τρύπες μπορούν να υπάρχουν χάρη στη βάση που έθεσε η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του Αϊνστάιν. Μια μαύρη τρύπα σχηματίζεται όταν η μάζα ενός αντικειμένου, όπως ένα αστέρι, καταρρέει ξαφνικά σε έναν μικροσκοπικό όγκο. Ένα μικρό αντικείμενο με μεγάλη μάζα προκαλεί ένα διάκενο στο χωροχρόνο.

Οι αστρονόμοι έχουν στοιχεία για περισσότερες από τρεις δεκαετίες που υποστηρίζουν την ύπαρξη μαύρων τρυπών. Η μελλοντική τεχνολογία μπορεί σύντομα να προσφέρει ακόμη πιο ισχυρές αποδείξεις ότι οι μαύρες τρύπες υπάρχουν πραγματικά εκεί έξω.

Εάν η μάζα του αόρατου αντικειμένου είναι περίπου τρεις φορές η μάζα του Ήλιου ή μεγαλύτερη - και όλες οι άλλες ενδείξεις είναι στη θέση τους - έχετε βρει μια μαύρη τρύπα να έχουν ένα αστέρι σε τροχιά γύρω τους.

Αποδείχθηκε εκπληκτικά προληπτικός και από τις δύο απόψεις. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1930, οι θεωρητικοί που χρησιμοποιούσαν την πιο εξελιγμένη θεωρία της βαρύτητας του Αϊνστάιν, γνωστή ως Γενική Σχετικότητα, έδειξαν ότι αστέρια με επαρκή μάζα θα μπορούσαν να καταρρεύσουν υπό τη δική τους βαρύτητα στο τέλος της ζωής τους και να μετατραπούν σε μαύρες τρύπες.

### **Τι πίστευαν παλιά για τις μαύρες τρύπες**

Ο Albert Einstein χρειάστηκε 10 χρόνια για να βρει τις εξισώσεις της γενικής σχετικότητας, αλλά ο Γερμανός αστροφυσικός Karl Schwarzschild χρειάστηκε μόνο μερικούς μήνες για να τις λύσει. Η λύση του Schwarzschild περιγράφει τη βαρύτητα ενός απομονωμένου, σφαιρικού και αμετάβλητου αντικειμένου - της αινιγματικής μαύρης τρύπας - αλλά δεν ήταν κατανοητή για πολλά χρόνια.

Οι μαύρες τρύπες βοήθησαν να εξηγηθούν νέες αστρονομικές ανακαλύψεις, και έγιναν βασικά συστατικά της αστροφυσικής. Η επιστήμη θεωρούσε τις μαύρες τρύπες ως αφηρημένες ιδέες μέχρι τη δεκαετία του 1960. Η πρόσφατη πειραματική ανακάλυψη των βαρυτικών κυμάτων άλλαξε την κατανόησή μας για το τι είναι οι μαύρες τρύπες.

Το 2016, η συνεργασία LIGO-Virgo ανίχνευσε βαρυτικά κύματα που δημιουργούνται από δύο συγχωνευμένες μαύρες τρύπες, ανοίγοντας μια νέα εποχή της αστρονομίας που γιορτάζεται με το Νόμπελ Φυσικής 2017.

Το 2019, το τηλεσκόπιο Event Horizon κυκλοφόρησε μια εικόνα της μαύρης τρύπας στον κοντινό γαλαξία M87. Το επόμενο έτος, το Νόμπελ Φυσικής αναγνώρισε τις πρωτοπόρες θεωρητικές μελέτες μαύρης τρύπας του Ρότζερ Πένροουζ και τις παρατηρητικές από τους Αντρέα Γκέζ και Ράινχαρντ Γκένζελ.

### **Τι πιστεύουμε τώρα για τις μαύρες τρύπες**

Η κατανόησή μας για τις μαύρες τρύπες βασίζεται στον μαθηματικό ορισμό του ορίζοντα. Ο φαινομενικός ορίζοντας ορίζεται από τη συμπεριφορά των ακτίνων φωτός στην περιοχή του: οι ακτίνες δεν μπορούν να διαφύγουν αυτή τη στιγμή. Η ίδια η ύπαρξη της μαύρης τρύπας εξαρτάται από τον παρατηρητή, ενώ ο παλαιός ορίζοντας γεγονότων ήταν παγκόσμιος.

Τα μαθηματικά που εκφράζουν τη νέα έννοια της μαύρης τρύπας μας λένε ότι, ακόμη και στην περίπτωση του Schwarzschild, υπάρχουν ορισμένοι παρατηρητές σύμφωνα με τους οποίους δεν υπάρχει εμφανής ορίζοντας και, επομένως, καμία μαύρη τρύπα!

Ομολογουμένως, αυτοί οι μαθηματικοί παρατηρητές είναι πολύ τεχνητοί. Όλες οι φυσικές παρατηρήσεις που αντιλαμβάνονται τη γεωμετρία Schwarzschild ως σφαιρική, συμφωνούν για την ύπαρξη και τη θέση του φαινομενικού ορίζοντα. Οι επιστήμονες εντόπισαν τελικά βαρυτικά κύματα από μαύρες τρύπες, αλλά έπρεπε να αλλάξουν τον τρόπο που τα καταλαβαίνουν. Η ουσία της θεωρίας της μαύρης τρύπας είναι πλέον διαφορετική.

### **Κοσμικός Πυρήνας**

Οι αστρονόμοι έχουν στοιχεία ότι ορισμένοι γαλαξίες περιφέρονται γύρω από υπερμεγέθεις μαύρες τρύπες στον πυρήνα τους. Παρακολουθώντας τις κινήσεις των άστρων κοντά στο κέντρο του γαλαξία του Γαλαξία, οι επιστήμονες ανακάλυψαν ότι τα αστέρια περιφέρονται γύρω από ένα τεράστιο αόρατο αντικείμενο πιθανότατα μια μαύρη τρύπα περίπου δύο εκατομμύρια φορές τη μάζα του Ήλιου.

### **Κυματισμοί στο χωροχρόνο**

Όταν ένα αστέρι καταρρέει για να σχηματίσει μια μαύρη τρύπα, το γεγονός αυτό στέλνει βαρυτικά κύματα που κυματίζουν στον χωροχρόνο. Η ανίχνευση ορισμένων χαρακτηριστικών κυμάτων - με το Παρατηρητήριο Βαρυτικών Κυμάτων συμβολόμετρου λέιζερ (LIGO) θα μπορούσε να παρέχει την πρώτη άμεση απόδειξη ότι οι μαύρες τρύπες παραμορφώνουν τον χωροχρόνο.

### **Ακτίνες Χ**

Αυτό το τεράστιο στημόνι δημιουργεί ένα βαρυτικό πεδίο τόσο ισχυρό που τίποτα ούτε το φως δεν μπορεί να ξεφύγει από αυτό. Αυτή η συμπίεση αυξάνει τη θερμοκρασία του αερίου σε τέτοιο βαθμό που εκπέμπει ακτίνες Χ. Η απόσταση του αστεριού από την πηγή ακτίνων Χ και η ταχύτητα και το μέγεθος της ταλάντευσής του υποδεικνύουν τη μάζα του αόρατου αντικειμένου.

Επίσης, γνωρίζουν ότι αν παρατηρήσουν ένα μακρινό αστέρι να ταλαντεύεται, αυτό είναι σε τροχιά γύρω από ένα συνοδευτικό αντικείμενο. Εάν αυτό το αντικείμενο είναι αόρατο και εκπέμπει ακτίνες Χ, θα μπορούσε να είναι μια μαύρη τρύπα

### **Τύποι Μαύρων Τρυπών**

Οι αστρονόμοι γενικά χωρίζουν τις μαύρες τρύπες σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τη μάζα τους: αστρική μάζα, υπερμεγέθη και ενδιάμεση μάζα. Το εύρος της μάζας που ορίζει κάθε ομάδα είναι κατά προσέγγιση και οι επιστήμονες πάντα επανεκτιμούν πού πρέπει να τεθούν τα όρια. Οι κοσμολόγοι υποπτεύονται ότι ένας τέταρτος τύπος, οι αρχέγονες μαύρες τρύπες που σχηματίστηκαν κατά τη γέννηση του σύμπαντος, μπορεί επίσης να κρύβονται απαρατήρητες στον κόσμο.

### **Stellar**

Όταν ένα αστέρι με μάζα μεγαλύτερη από οκτώ φορές του Ήλιου τελειώνει από καύσιμο, ο πυρήνας του καταρρέει, αναπηδά και εκρήγνυται ως σουπερνόβα. Αυτό που μένει πίσω εξαρτάται από τη μάζα

του αστεριού πριν από την έκρηξη. Αν ήταν κοντά στο κατώφλι, δημιουργεί ένα υπερπυκνό αστέρι νετρονίων σε μέγεθος πόλης. Εάν είχε περίπου 20 φορές τη μάζα του Ήλιου ή περισσότερο, ο πυρήνας του αστεριού καταρρέει σε μια μαύρη τρύπα αστρικής μάζας.

Οι μάζες αυτών των νεογέννητων αντικειμένων μπορεί να κυμαίνονται από μερικές έως εκατοντάδες φορές τη μάζα του Ήλιου, ανάλογα με τη μάζα του αστεριού όταν ξεκίνησε ο σουπερνόβα. Οι μαύρες τρύπες αστρικής μάζας μπορούν να συνεχίσουν να αποκτούν μάζα μέσω συγκρούσεων με αστέρια και άλλες μαύρες τρύπες.

Σχεδόν όλες οι μαύρες τρύπες αστρικής μάζας που έχουν παρατηρηθεί μέχρι στιγμής έχουν βρεθεί επειδή είναι ζευγαρωμένες με αστέρια. Πιθανότατα προήλθαν ως αταίριαστα αστέρια όπου το πιο ογκώδες εξελίχθηκε γρήγορα σε μαύρη τρύπα.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, που ονομάζονται δυαδικές ακτίνες Χ, η μαύρη τρύπα τραβάει αέριο από το αστέρι σε έναν δίσκο που θερμαίνεται αρκετά για να παράγει ακτίνες Χ. Τα δυαδικά αρχεία έχουν αποκαλύψει περίπου 50 ύποπτες ή επιβεβαιωμένες μαύρες τρύπες αστρικής μάζας στον Γαλαξία μας, αλλά οι επιστήμονες πιστεύουν ότι μπορεί να υπάρχουν έως και 100 εκατομμύρια μόνο στον γαλαξία μας.

### **Supermassive**

Σχεδόν κάθε μεγάλος γαλαξίας, συμπεριλαμβανομένου του Γαλαξία μας, έχει μια υπερμεγέθη μαύρη τρύπα στο κέντρο του. Αυτά τα αντικείμενα-τέρατα έχουν εκατοντάδες χιλιάδες έως δισεκατομμύρια φορές τη μάζα του Ήλιου, αν και ορισμένοι επιστήμονες τοποθετούν το κατώτερο όριο σε δεκάδες χιλιάδες. Αυτός που βρίσκεται στο κέντρο του γαλαξία μας, ο Τοξότης A\* (προφέρεται ey-star), έχει μάζα 4 εκατομμύρια φορές τη μάζα του Ήλιου – σχετικά μικρός σε σύγκριση με αυτούς που βρίσκονται σε ορισμένους άλλους γαλαξίες.

Για παράδειγμα, η μαύρη τρύπα στο κέντρο του γαλαξία Holmberg 15A κρατά τουλάχιστον 40 δισεκατομμύρια ηλιακές μάζες. Οι επιστήμονες δεν είναι σίγουροι πώς προέκυψαν αυτά τα τέρατα. Οι παρατηρήσεις μακρινών γαλαξιών δείχνουν ότι μερικές υπερμεγέθεις μαύρες τρύπες σχηματίστηκαν τα πρώτα δισεκατομμύρια χρόνια μετά τη γέννηση του σύμπαντος.

Είναι πιθανό αυτές οι μαύρες τρύπες να ξεκίνησαν με την κατάρρευση υπερμεγέθων αστεριών στο πρώιμο σύμπαν, κάτι που τους έδωσε το προβάδισμα. Ενώ η προέλευσή τους είναι μυστηριώδης, οι επιστήμονες γνωρίζουν ότι οι υπερμεγέθεις μαύρες τρύπες μπορούν να αναπτυχθούν τρέφοντας μικρότερα αντικείμενα, όπως οι συγγενείς τους με αστρική μάζα και τα αστέρια νετρονίων. Μπορούν επίσης να συγχωνευθούν με άλλες υπερμεγέθεις μαύρες τρύπες όταν οι γαλαξίες συγκρούονται.

### **Intermediate**

Οι επιστήμονες προβληματίζονται από το χάσμα μεγέθους μεταξύ αστρικής μάζας και υπερμεγέθων μαύρων τρυπών. Πιστεύουν ότι θα πρέπει να υπάρχει μια συνέχεια μεγεθών επειδή, κατά τη διάρκεια του κοσμικού χρόνου, οι συγκρούσεις μεταξύ μαύρων τρυπών αστρικής μάζας θα έπρεπε να είχαν δημιουργήσει μερικές μαύρες τρύπες μέσης μάζας. Αυτές θα πρέπει να κυμαίνονται από περίπου

εκατό έως εκατοντάδες χιλιάδες φορές τη μάζα του Ήλιου - ή δεκάδες χιλιάδες, ανάλογα με το πώς ορίζονται οι υπερμεγέθεις μαύρες τρύπες. Οι επιστήμονες αναζητούν ενεργά παραδείγματα αυτών των αποκαλούμενων μαύρων τρυπών που λείπουν. Έχουν εντοπιστεί πολλοί υποψήφιοι, αλλά έχει αποδειχθεί δύσκολο να επιβεβαιωθούν.

## **ΟΙ ΘΕΩΡΙΕΣ ΤΟΥ ALBERT EINSTEIN**

### **ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ**

Πριν από έναν αιώνα, ο Albert Einstein έκπληξε τον κόσμο όταν εξήγησε το σύμπαν μέσω της θεωρίας του για τη γενική σχετικότητα. Η θεωρία όχι μόνο περιέγραψε τη σχέση μεταξύ χώρου, χρόνου, βαρύτητας και ύλης, όμως άνοιξε την πόρτα στη θεωρητική δυνατότητα ενός ιδιαίτερα εντυπωσιακού φαινομένου που τελικά θα ονομαζόταν μαύρες τρύπες.

Η ιδέα που εξηγεί τις μαύρες τρύπες ήταν στην πραγματικότητα τόσο ριζοσπαστική που ο ίδιος ο Αϊνστάιν είχε έντονους ενδοιασμούς. Σε ένα άρθρο του 1939 στο *Annals of Mathematics* κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η ιδέα «δεν ήταν πειστική» και ότι τα φαινόμενα δεν υπήρχαν «στον πραγματικό κόσμο».

### **Η Θεωρία του Χωροχρόνου**

Όπως περιγράφεται από τον Αμερικανό φυσικό John A. Wheeler, η γενική σχετικότητα διέπει τη φύση του χωροχρόνου, ιδιαίτερα το πώς αντιδρά στην παρουσία ύλης: «η ύλη λέει στον χωροχρόνο πώς να καμπυλωθεί και ο χωροχρόνος λέει στην ύλη πώς να κινηθεί.»

Φανταστείτε ένα επίπεδο λαστιχένιο φύλλο (χωροχρόνος) αναρτημένο πάνω από το έδαφος. Τοποθετήστε μια μπάλα μπόουλινγκ στη μέση του φύλλου και το φύλλο θα παραμορφωθεί γύρω από τη μάζα, λυγίζοντας κατά το μισο μέρος του δρόμου προς το πάτωμα - αυτή είναι η ύλη που λέει στον χωροχρόνο πώς να καμπυλωθεί. Τώρα κυλήστε ένα μάρμαρο (ύλη) γύρω από το λαστιχένιο φύλλο (χωροχρόνος) και η τροχιά του μαρμάρου θα αλλάξει. Η ύλη και ο χωροχρόνος είναι άρρηκτα συνδεδεμένοι, με τη βαρύτητα να μεσολαβεί στην αλληλεπίδρασή τους.

Τώρα, τοποθετήστε ένα θεωρητικό σημείο άπειρης πυκνότητας στο φύλλο, τι θα συνέβαινε με τον χωροχρόνο; Ήταν ο Γερμανός θεωρητικός φυσικός Karl Schwarzschild, όχι ο Einstein, που χρησιμοποίησε τη γενική σχετικότητα για να περιγράψει αυτήν την υποθετική κατάσταση, μια κατάσταση που θα γινόταν το πιο ακραίο τεστ της γενικής σχετικότητας. Σε ένα ορισμένο μέρος, ο Schwarzschild διαπίστωσε ότι η υποθετική ιδιομορφία κυριολεκτικά θα έμπαινε στο χωροχρόνο.

### **Συμπέρασμα**

Η μαύρη τρύπα μας διδάσκει ότι ο χώρος μπορεί να τσαλακωθεί σαν ένα κομμάτι χαρτί σε μια απειροελάχιστη κουκκίδα, ότι ο χρόνος μπορεί να σβηστεί σαν σβησμένη φλόγα και ότι οι νόμοι της φυσικής που θεωρούμε αμετάβλητους, είναι κάθε άλλο παρά.

Χάρη στους αστρονόμους και τους επιστήμονες υπολογιστών η ανθρωπότητα μπόρεσε τελικά να οπτικοποιήσει αυτές τις «απειροελάχιστες κουκκίδες». Αν και ο Αϊνστάιν δεν ζούσε για να δει στοιχεία για μαύρες τρύπες - αποτέλεσμα πραγματικών ιδιομορφιών για τις οποίες παρέμενε αμφίβολου - η θεωρία της σχετικότητας έκανε δυνατή την ανακάλυψή τους.

### **Βιβλιογραφία**

<https://www.sciencefocus.com/space/who-really-discovered-black-holes/>

<https://www.wired.com/story/scientists-reveal-the-first-picture-of-a-black-hole/>

<https://theconversation.com/our-understanding-of-black-holes-has-changed-over-time-172816>

<https://www.amnh.org/exhibitions/einstein/gravity/black-holes#:~:text=We%20can't%20see%20them,gaping%20dent%20in%20space%2Dtime.>

[The Nobel Prize in Physics 2020 - Press release](#)