

# Μελανές Οπές

Δρ Μάνος Δανέζης  
Επίκουρος Καθηγητής Αστροφυσικής  
Τμήμα Φυσικής ΕΚΠΑ



Αν η μάζα που απομένει να είναι **μεγαλύτερη από 3,2 ηλιακές μάζες ( $M > 3,2 M_{\odot}$ )**, ο αστέρας δεν μπορεί να ισορροπήσει ούτε ως λευκός νάνος, ούτε ως αστέρας νετρονίων. Τότε, επειδή δεν υπάρχει πίεση ικανή να αντισταθμίσει τη συντριπτική δύναμη της βαρύτητας, η κατάρρευση του πυρήνα του θα γίνει τόσο γρήγορα, ώστε **θα καταλήξει σε μια υπέρπυκνη κατάσταση με άπειρη, θεωρητικά, πυκνότητα.**

# Η μελανή Οπή



Το βαρυτικό πεδίο που απομένει είναι εξαιρετικά ισχυρό, ώστε να καταπίνει ό,τι βρεθεί στη γύρω περιοχή, που αποκαλείται *ορίζοντας γεγονότων*. Η κατάσταση αυτή ονομάζεται *μελανή οπή ή μαύρη τρύπα (black hole)*, μια ονομασία που επινοήθηκε από τον Αμερικανό αστρονόμο και καθηγητή στο Princeton, *John Archibald Wheeler (1911- 2008)*, προκειμένου να περιγραφεί αυτό το τεράστιας μάζας και πυκνότητας σημειακό αστρικό σώμα.



Το πεδίο βαρύτητας του νεκρού αυτού άστρου είναι τόσο ισχυρό, ώστε ούτε ακτινοβολία, ούτε άλλα σωμάτια μπορούν να διαφύγουν από αυτό και να φτάσουν σε μας. Συνεπώς η ονομασία μαύρη τρύπα οφείλεται ακριβώς στο γεγονός ότι το βαρυτικό πεδίο της είναι τόσο ισχυρό ώστε δεν μπορεί να διαφύγει ούτε καν το φως. Δηλαδή αυτό το ουράνιο σώμα είναι σκοτεινό, μαύρο.



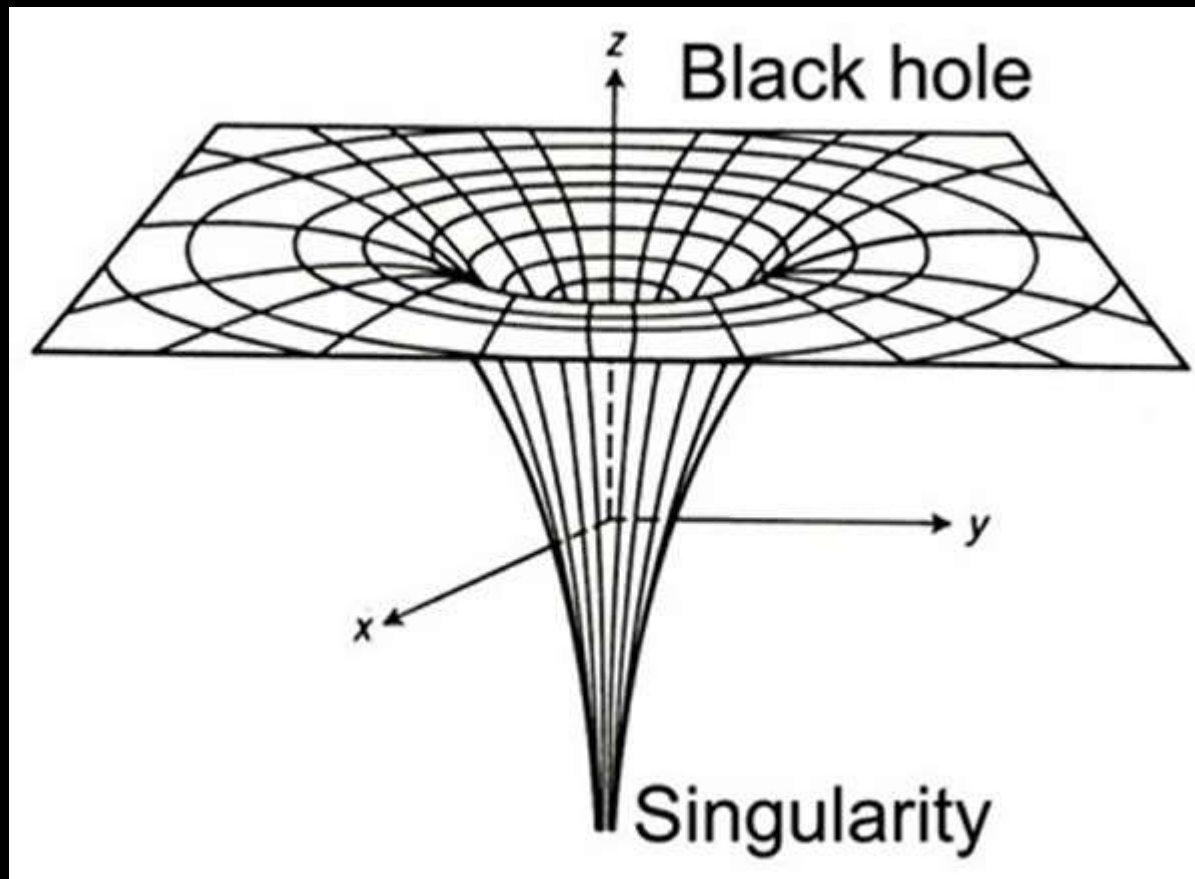
Οι μαύρες τρύπες, λοιπόν, θα πρέπει να είναι αόρατες, η πρόβλεψή τους έγινε από τη Θεωρία της Σχετικότητας και φυσικά η διαπίστωση της ύπαρξής τους στο διάστημα γίνεται μόνο έμμεσα, συνήθως από τις πολύ μεγάλες ταχύτητες που αποκτά η ύλη όταν πλησιάζει σε μια μελανή οπή. Τα τελευταία χρόνια γίνονται προσπάθειες για τον εντοπισμό τους, αφού σύμφωνα με σημερινές θεωρητικές απόψεις, μαύρες τρύπες πολύ μεγάλων μαζών — $10^6$ - $10^9$   $M_{\odot}$ — βρίσκονται στο κέντρο κάθε ενεργού γαλαξία ή κβάζαρ.

Καθώς το άστρο καταρρέει, η ακτίνα του θα φθάσει κάποτε την τιμή που προσδιορίζεται από τη σχέση :

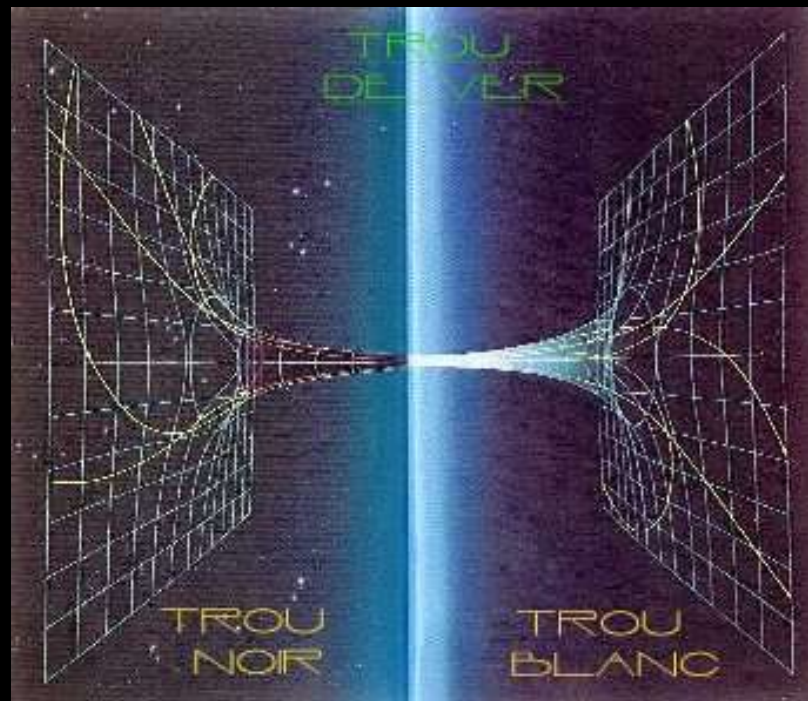
$$R=2.GM/c^2$$

όπου  $G=6,67 \times 10^{-8} \text{ gr}^{-1} \text{ cm}^3 \text{ sec}^{-2}$  η παγκόσμια σταθερά βαρύτητας,  $M$  η μάζα του αστεριού και  $c$  η ταχύτητα του φωτός. Όταν η ακτίνα του άστρου φθάσει αυτή την τιμή, η Θεωρία της Σχετικότητας προβλέπει ότι το τεράστιο βαρυτικό πεδίο που δημιουργείται γύρω από το άστρο, δεν επιτρέπει στο φως του να ξεφύγει πέρα από τα όρια αυτής της ακτίνας ή για να χρησιμοποιήσουμε μια ακριβέστερη έκφραση, το φως χρειάζεται άπειρο, θεωρητικά, χρόνο για να προσεγγίσει αυτήν την απόσταση.

Η ακτίνα αυτή ονομάζεται *ακτίνα Schwarzschild* της μάζας  $M$ ,



Η βαρυτική όμως κατάρρευση του αστεριού *δεν σταματά εδώ*, αλλά συνεχίζεται μέχρι να συμβεί το λογικώς αδύνατον, να συνθλιβεί δηλαδή προς το αισθητό *«τίποτα»*, πέφτοντας σε ένα πολύ περίεργο σημείο της μαύρης τρύπας, τη *σημειακή ανωμαλία* (σημειακή ιδιομορφία).



Η σημειακή ανωμαλία είναι μια περιοχή του χωροχρόνου όπου η φυσική θεωρία, δηλαδή όλο το σύστημα των φυσικών νόμων και γνώσεων, παύει να ισχύει. Εδώ επικρατούν απείρως μεγάλες βαρυτικές δυνάμεις που διαλύουν κάθε σώμα, το οποίο φθάνει εκεί, σε στοιχειώδη σωματία της ύλης. Αλλά και πιο πέρα, τα πρωτόνια, τα νετρόνια, τα φωτόνια, συμπιέζονται σε άπειρη πυκνότητα και ουσιαστικά παύουν να υπάρχουν. Δηλαδή παύουν να υπάρχουν η μάζα και η ενέργεια του αστεριού. Που πηγαίνουν όμως;

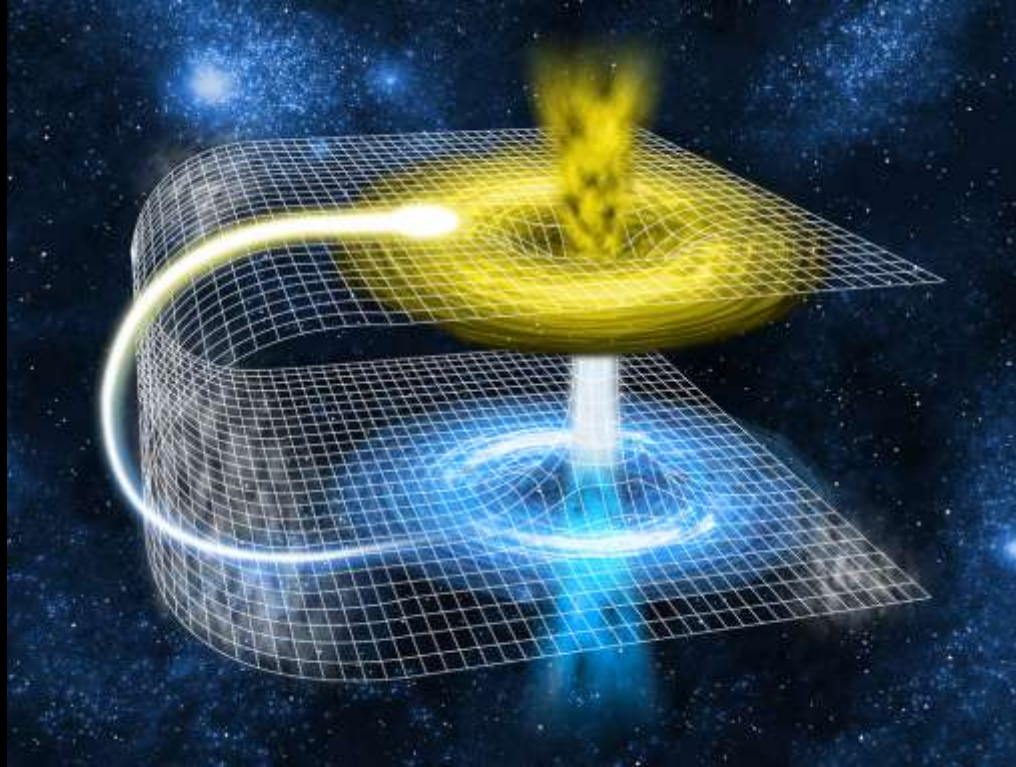




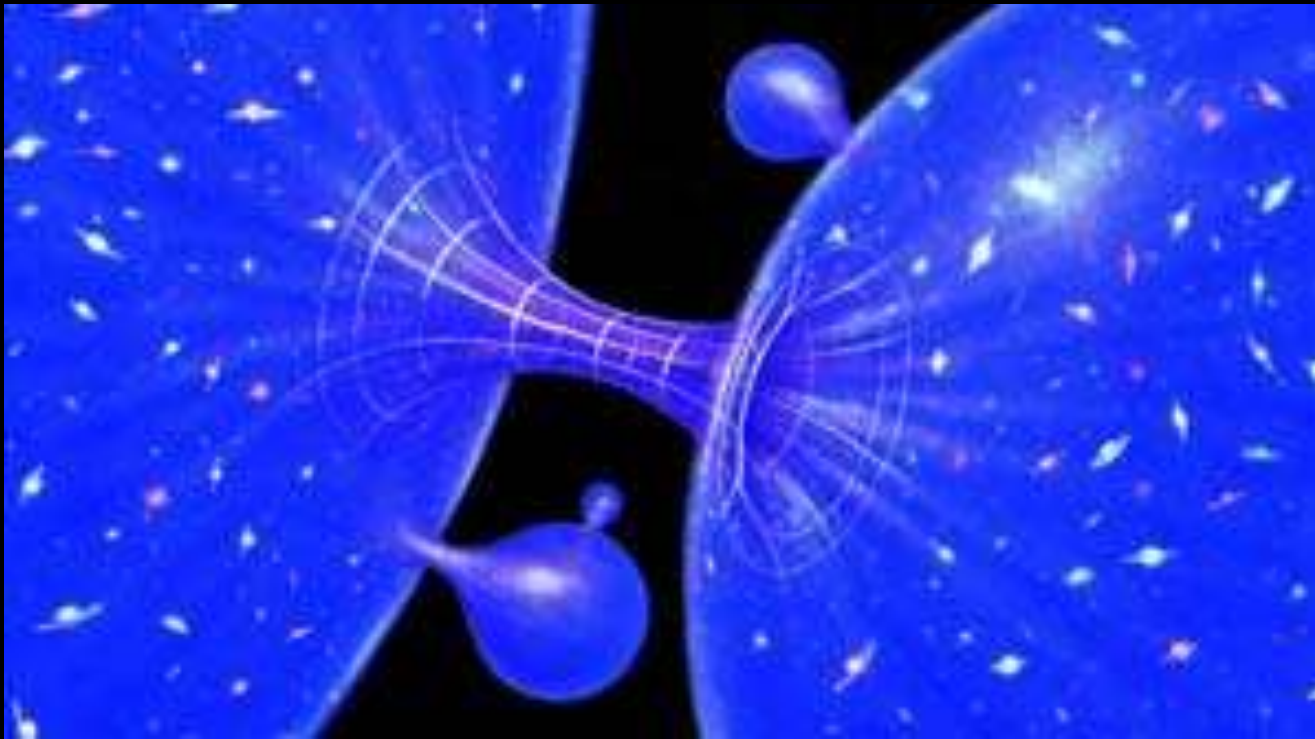
Η μάζα, σύμφωνα με κάποιες θεωρητικές απόψεις ( μελανή οπή Schwarzschild), μέσω μιας τετραδιάστατης γέφυρας, της *Γέφυρας Einstein-Rosen* (σκουληκότρυπας), ταξιδεύει και καταλήγει σ' ένα καινούργιο, ξεχωριστό, όμως, Σύμπαν που συνυπάρχει με το δικό μας, χωρίς όμως να γίνεται αντιληπτό από εμάς). Το ταξίδι βέβαια της αστρικής μάζας μέσω της γέφυρας *Einstein-Rosen*, δεν είναι τόσο απλό, εφ' όσον θα πρέπει να γίνει με την ταχύτητα του φωτός, γεγονός το οποίο αποκλείει η Θεωρία της Σχετικότητας, τουλάχιστον όσον αφορά το αισθητό στον άνθρωπο

Σύμπαν

# Η μελανή οπή Schwarzschild



Το 1916 ο Γερμανός φυσικός και αστρονόμος Karl Schwarzschild (1873-1916), χρησιμοποιώντας τη Θεωρία της Σχετικότητας, μπόρεσε να περιγράψει θεωρητικά μια μελανή οπή με σφαιρική συμμετρία, που δεν παρουσίαζε ιδιοστροφομή (spin), δηλαδή δεν περιστρεφόταν και δεν είχε ηλεκτρικό φορτίο, παρά είχε μόνο μάζα.

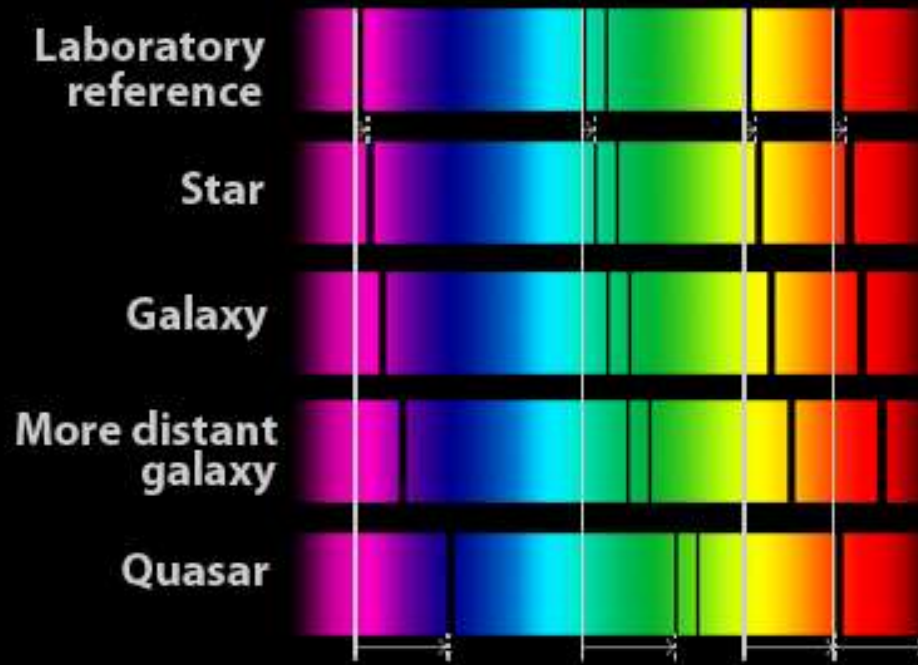


Η ύπαρξη μιας τέτοιας μελανής οπής έχει τη δυνατότητα να παραμορφώνει τον χώρο και μέσω μιας τετραδιάστατης σήραγγας –μιας *σκουληκότρυπας* (γέφυρα *Einstein- Rossen*)– να μεταφέρει και να εμφανίζει, μέσω μιας λευκής οπής, την εξαφανιζόμενη στα πλαίσια της μελανής οπής μάζα, σε άλλα σημεία του συμπαντικού χώρου και χρόνου.

# Λευκή οπή



Μια *λευκή οπή* θα αποτελούσε πρακτικά μια περιοχή του χώρου από την οποία θα υλοποιείτο μέσα στο παρατηρούμενο Σύμπαν μας μάζα απείρου πυκνότητας (προερχόμενη από το αισθητό τίποτα) μέσω μιας εκτυφλωτικής έκρηξης απροσδιόριστης διάρκειας.

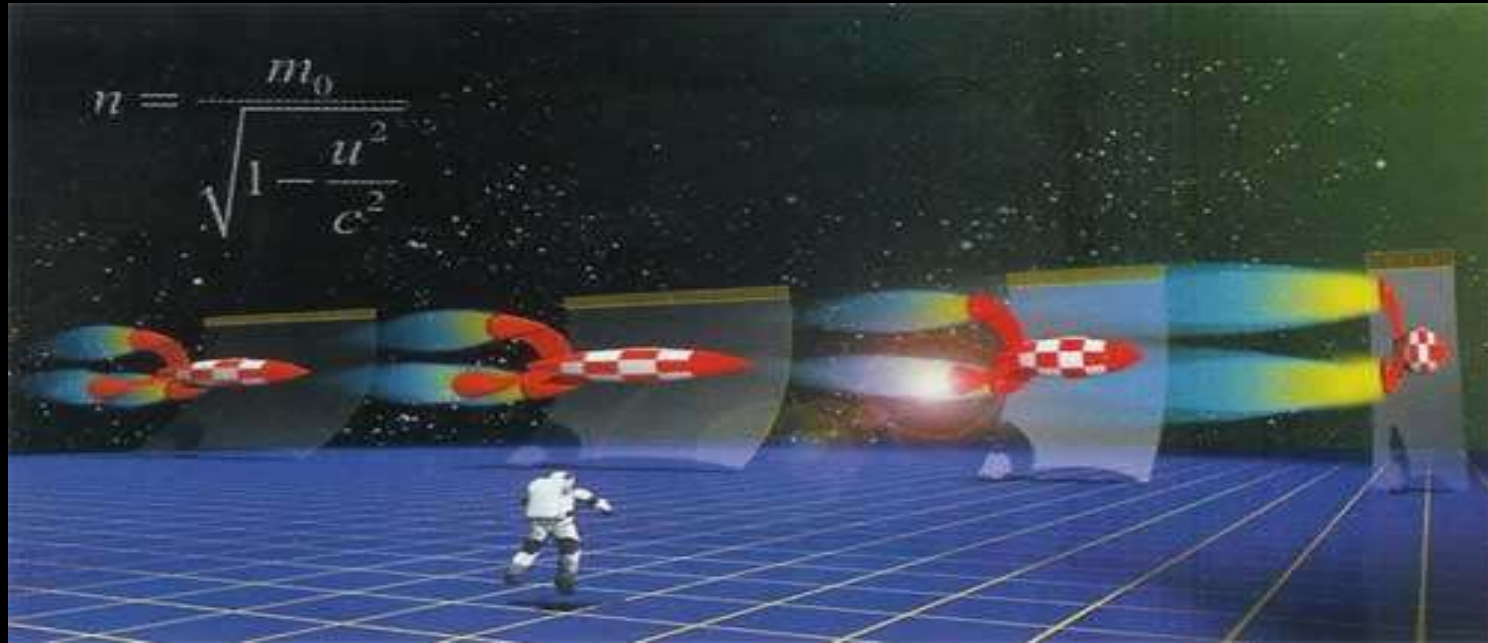


Καθώς η μάζα βυθίζεται στο βαρυτικό πεδίο της μελανής οπής, οι φασματικές της γραμμές θα μετατοπίζονται όλο και περισσότερο προς την ερυθρή περιοχή του φάσματος, δηλαδή προς τα μεγάλα μήκη κύματος. Τελικά, όταν η μάζα πλησιάσει πολύ κοντά στη μελανή οπή, οι φασματικές της γραμμές θα μετατοπιστούν σε μήκη κύματος τόσο μεγάλα, που πρακτικά δεν θα μπορούν να ανιχνευτούν. Η μάζα τότε θα έχει πρακτικά εξαφανιστεί τόσο από τις αισθήσεις, όσο και από τα μέσα παρατήρησης του παρατηρητή.



Ενώ όμως αυτά θα αντιλαμβάνεται ο μακρινός παρατηρητής, κάποιος άλλος που θα βρίσκεται πάνω στην κινούμενη μάζα θα αισθάνεται τη βαρύτητα να μεγαλώνει συνεχώς μέχρις ότου οι τεράστιες παλιρροϊκές δυνάμεις κοντά στη σημειακή ιδιομορφία θα τον διαλύσουν σε κομμάτια, και τα κομμάτια αυτά θα διαχωρίζονται επ' άπειρον σε μικρότερα μέχρις ότου η μάζα του θα πάψει να υπάρχει.

# Παράδοξα φαινόμενα μιας μαύρης τρύπας



Σύμφωνα με τη Θεωρία της Σχετικότητας, **το μήκος** ενός αντικειμένου, που κινείται κατά τη διεύθυνση του μήκους του, **μικραίνει όσο μεγαλώνει η ταχύτητα του** και θα γίνει πρακτικά μηδέν, όταν η ταχύτητά του φθάσει την ταχύτητα του φωτός. Κατά τη διάρκεια, όμως, της χρονικής περιόδου που το μήκος τού αντικειμένου «ζαρώνει», λόγω της αύξησης της ταχύτητάς του, η **μάζα του** όλο και **μεγαλώνει** μέχρι να γίνει άπειρη, όταν το μήκος του θα έχει γίνει μηδέν.







Συνεπώς οι μαύρες τρύπες **μπορούν να αναγνωριστούν μόνον έμμεσα από την ακτινοβολία υψηλών ενεργειών** που εκπέμπει το αέριο το οποίο τις περιβάλλει ή όταν είναι μέλη διπλών συστημάτων άστρων. Τότε μπορεί να διαπιστωθεί η παρουσία τους από τις βαρυτικές τους επιδράσεις. Επίσης εντοπίζονται **από τις πολύ μεγάλες ταχύτητες που αποκτά η ύλη όταν πλησιάζει μια μαύρη τρύπα**. Συνήθως οι **ταχύτητες** είναι πολύ μεγάλες ίσως  $1,5 \times 10^6 \text{ Km/h}$ , και αποτελούν αδιάψευστη μαρτυρία για την ύπαρξη μιας μελανής οπής.



Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι ο σχηματισμός μιας μαύρης τρύπας στο κέντρο ενός γαλαξία συνοδεύεται από **τρία μάλλον εύκολα παρατηρήσιμα φαινόμενα**: Τα αστέρια στη γειτονία της μελανής οπής περιφέρονται με μεγάλη ταχύτητα γύρω από ένα αόρατο ελκτικό κέντρο. **Σχηματίζονται δίσκοι ιονισμένου αερίου (δίσκοι προσαύξεσης)**, που σταδιακά εισέρχονται μέσα στη μαύρη τρύπα εμπλουτίζοντάς την σε υλικό. Τέλος, **εκτοξεύονται με μεγάλη ταχύτητα πίδακες ιονισμένου αερίου** κατά μήκος του άξονα περιστροφής της μαύρης τρύπας, τα καλούμενα **Jets (πίδακες ροής)**.