

# Μαύρες Οπές και Σκουληκότρυπες

**Παναγιώτα Καντή**

Τομέας Θεωρητικής Φυσικής, Τμήμα Φυσικής,  
Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Θερινό Σχολείο Φυσικής

Γιαννιτσά, 1 Ιουλίου 2014

## Η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας

Περιγράφει με μεγάλη ακρίβεια τις βαρυτικές αλληλεπιδράσεις των σωμάτων, τις ιδιότητες των βαρυτικών συστημάτων που μπορεί να υπάρχουν μέσα στο Σύμπαν μας αλλά και την εξέλιξη του ίδιου του Σύμπαντος



## Η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας

Όπως είδαμε, στον επίπεδο χωρόχρονο, η απόσταση ανάμεσα σε δύο γεγονότα προκύπτει με απλές πράξεις μεταξύ μηκών ευθύγραμμων τμημάτων

$$(\Delta s)^2 = -c^2(\Delta t)^2 + (\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2$$

Σε καμπύλο χωρόχρονο, η παραπάνω σχέση τροποποιείται ως εξής:

$$(\Delta s)^2 = -A^2 c^2 (\Delta t)^2 + B^2 (\Delta x)^2 + E^2 (\Delta y)^2 + Z^2 (\Delta z)^2$$

όπου  $A, B, E, Z$  είναι συναρτήσεις του χώρου και του χρόνου – σε καμπύλο χωρόχρονο δεν μπορώ να ορίσω πλέον ευθύγραμμα τμήματα

## Η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας

Οι συναρτήσεις  $A, B, E, Z$  καθορίζονται μέσα από τις εξισώσεις πεδίου του Αϊνστάιν

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = 8\pi G_N T_{\mu\nu}$$

ή ισοδύναμα

$$\text{Καμπυλότητα} = \text{Ενέργεια ή Μάζα}$$

Για δεδομένη κατανομή ενέργειας ή μάζας σε μια περιοχή του Σύμπαντος, οι εξισώσεις μας οδηγούν σε διαφορετική μορφή βαρυτικού συστήματος

Στην πράξη, λίγες μόνο κατανομές μάζας έχουν φυσική σημασία

## Μαύρες Οπές

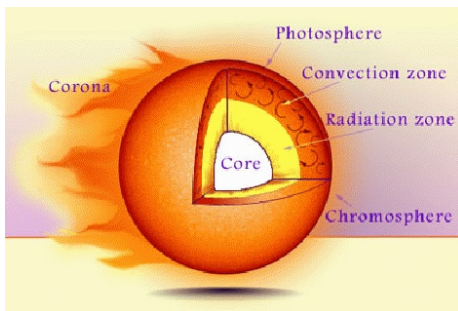
Έστω ένα σφαιρικό και ακίνητο σώμα μάζας  $M$  και ακτίνας  $R_0$ . Οι εξισώσεις πεδίου οδηγούν τότε στην λύση Schwarzschild που περιγράφει τον χωρόχρονο:

- γύρω (αλλά έξω) από οποιοδήποτε σφαιρικό σώμα, όπως η Γη, ο Ήλιος ή ένας σφαιρικός Γαλαξίας
- γύρω από σώμα που, υπό την ισχύ της βαρυτικής δύναμης, έχει καταρρεύσει από την αρχική του ακτίνα  $R_0$  σε ένα και μοναδικό σημείο. Ένα τέτοιο σώμα ονομάζεται Μαύρη Οπή

Πότε όμως καταρρέει βαρυτικά ένα σώμα;

## Μαύρες Οπές

Κάθε αστέρας, όπως και ο Ήλιος μας, είναι μια τεράστια πύρινη σφαίρα που παράγει τεράστια ποσά ενέργειας



Πηγή αυτής της ενέργειας είναι οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το υδρογόνο



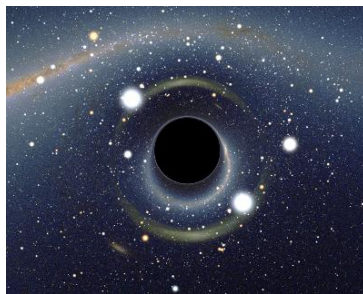




## Μαύρες Οπές

- Εάν όμως η μάζα του αστέρα είναι ακόμα μεγαλύτερη, ο αστέρας καταρρέει έως ότου όλη του η μάζα να συρρικνωθεί σε ένα και μοναδικό σημείο

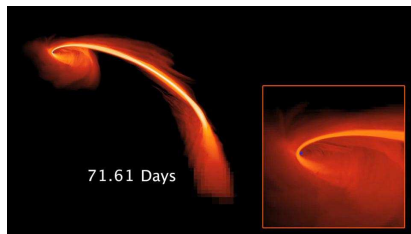
Το σημείο αυτό ονομάζεται χωροχρονική ιδιομορφία και περιβάλλεται από μια σφαιρική επιφάνεια, τον ορίζοντα γεγονότων, που καλύπτει την ιδιομορφία από κάθε εξωτερικό παρατηρητή



## Μαύρες Οπές

Οποιοδήποτε σώμα περάσει τον ορίζοντα γεγονότων, λόγω της τεράστιας ελκτικής βαρυτικής δύναμης που ασκεί η μαύρη οπή, δεν θα καταφέρει ποτέ να γυρίσει πίσω – ακόμα και τα φωτόνια. Στο γεγονός αυτό οφείλουν και το όνομά τους...

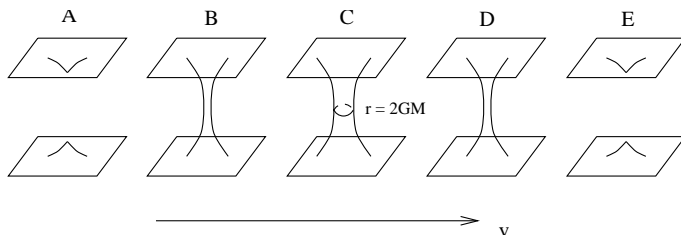
Υπάρχουν μαύρες οπές; Σήμερα, έχουμε ισχυρές ενδείξεις πως ναι! Έχουμε 'δει' μαύρες οπές στα κέντρα γαλαξιών και αστρικών συστημάτων και σε συστήματα αστέρων



## Σκουληκότρυπες ή Χωροχρονικά τούνελ

Η χωροχρονική ιδιομορφία είναι ένα σημείο άπειρης πυκνότητας ύλης όπου τερματίζουν αναγκαστικά όλες οι κοσμικές γραμμές. Κρύβεται πάντοτε όμως ένα τέτοιο σημείο στο εσωτερικό μιας μαύρης οπής;

Όχι πάντα... Το εσωτερικό μιας Μαύρης Οπής δεν είναι στατικό: στη θέση της ιδιομορφίας ένας 'λαιμός' εμφανίζεται, ζει για λίγο και εξαφανίζεται





## Σκουληκότρυπες ή Χωροχρονικά τούνελ

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα χωροχρονικό τούνελ στο εσωτερικό μιας μαύρης οπής για γρήγορα διαστημικά ταξίδια; Δυστυχώς όχι, γιατί....

- Ο λαιμός ανοίγει και κλείνει τόσο γρήγορα που ούτε ένα φωτόνιο δεν προλαβαίνει να περάσει
- Το σημείο εξόδου από το τούνελ είναι ασταθές
- Οι βαρυτικές δυνάμεις είναι τεράστιες

Άρα, το χωροχρονικό τούνελ μιας μαύρης οπής δεν είναι 'διασχίσιμο' ...



## Σκουληκότρυπες ή Χωροχρονικά τούνελ

Τι υπάρχει πέρα από την Γενική Θεωρία της Σχετικότητας;  
 Υπάρχουν οι γενικευμένες θεωρίες βαρύτητας, όπως η Θεωρία των Υπερχορδών που περιέχει τη Γ.Θ.Σ. αλλά απαιτεί 6 επιπλέον, απειροστά μικρές, χωρικές διαστάσεις στην φύση

Πρόσφατα (2011), στα πλαίσια της θεωρίας των υπερχορδών βρήκαμε λύσεις χωροχρονικών τούνελ που:

- δεν απαιτούν εξωτική ύλη
- είναι διασχίσιμες από σωματίδια
- είναι όσο μεγάλες θέλουμε







## Συμπεράσματα

- Η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας είναι η πληρέστερη θεωρία Βαρύτητας που διαθέτουμε σήμερα
- Προβλέπει την ύπαρξη μυστηριωδών λύσεων όπως οι Μαύρες Οπές και τα Χωροχρονικά Τούνελ
- Για την πρώτη οικογένεια λύσεων υπάρχουν βάσιμες ενδείξεις ότι υπάρχουν στο Σύμπαν σε μεγάλο ποσοστό, ενώ η δεύτερη παραμένει ακόμα θεωρητικό κατασκεύασμα
- Σύγχρονες μελέτες επικεντρώνονται πια σε εναλλακτικές θεωρίες βαρύτητας, όπως η θεωρία υπερχορδών, και στις λύσεις που αυτές προβλέπουν