

Αστροφυσικοί πίδακες: Εκροή ύλης από μαύρες τρύπες

Νίκος Κυλάφης
Πανεπιστήμιο Κρήτης

Μια περιήγηση στις τελευταίες επιστημονικές ανακαλύψεις που αφορούν στις μαύρες τρύπες.

Ηράκλειο 9-12-17

Εισαγωγή

- Η ομιλία μου έχει να κάνει με μαύρες τρύπες και οι μαύρες τρύπες δημιουργούνται από αστέρια.
- Θα εξηγήσω τι είναι οι μαύρες τρύπες και πως δημιουργούνται, αλλά
- θέλω ως εισαγωγή να πω λίγα λόγια για τα αστέρια.

Έναστρος ουρανό



Έναστρος ουρανός με τον Γαλαξία να είναι εμφανής



Πόσα αστέρια υπάρχουν στον Γαλαξία μας;

- ▣ Υπάρχουν 100 δισεκατομμύρια αστέρια στον Γαλαξία μας
- ▣ 100.000.000.000
- ▣ Είναι εύκολο να τα μετρήσουμε; Μας ενδιαφέρει να τα μετρήσουμε;
- ▣ ΝΑΙ, διότι το χρέος της Ελλάδος σε ευρώ είναι
- ▣ 300.000.000.000

100.000.000.000 αστέρια

- Θα προσπαθήσουμε να καταλάβουμε πόσο μεγάλος αριθμός είναι αυτός.
- Ας αρχίσουμε να μετράμε: Ένα, δυο, τρία, ...
- Σε ένα χρόνο (**μέρα - νύχτα**) θα έχουμε φθάσει στο 30.000.000
- Σε 100 χρόνια (**μέρα - νύχτα, χωρίς διακοπή**) θα έχουμε φθάσει **μόνο** στο 3.000.000.000
- Μας χρειάζονται 3.000 χρόνια!!!

Εξέλιξη των αστεριών

- Τα αστέρια λάμπουν διότι καίνε πυρηνικά καύσιμα στο εσωτερικό τους. Είναι δηλαδή σαν τους πυρηνικούς αντιδραστήρες.
- Όταν τελειώσουν τα καύσιμά τους, τελειώνει και η ζωή τους.
- Το τι ακριβώς συμβαίνει στο τέλος της ζωής τους εξαρτάται από τη μάζα τους: Μικρή, μέτρια ή μεγάλη σε σχέση με τον Ήλιο.
- Εμείς σήμερα θα περιοριστούμε στα αστέρια μεγάλης μάζας.

Εξέλιξη αστεριών μεγάλης μάζας

- Στο τέλος της ζωής τους εκρήγνυνται και αφήνουν πίσω τους μια **μαύρη τρύπα**.
- Η μαύρη τρύπα δεν είναι **ούτε τρύπα ούτε μαύρη!** Είναι μια πολύ συμπυκνωμένη μάζα. Θα δούμε σε λίγο γιατί πήρε αυτό το όνομα.
- Αν μπορούσαμε να συμπίεσουμε τη Γη και να την κάνουμε μια μπίλια, θα γίνονταν μαύρη τρύπα.
- Ας προσπαθήσουμε να κατανοήσουμε καλύτερα τις μαύρες τρύπες.

Ταχύτητα διαφυγής

- Αν πετάξουμε ένα αντικείμενο προς τα πάνω, αυτό θα φθάσει μέχρι ένα ορισμένο ύψος και μετά θα ξαναπέσει προς τα κάτω.
- Αν το πετάξουμε με μεγαλύτερη ταχύτητα, θα πάει ψηλότερα, αλλά πάλι θα γυρίσει πίσω.
- Για να φύγει από τη Γη πρέπει να το πετάξουμε με ταχύτητα $11,2 \text{ χμ/δευτερόλεπτο}$.
- Αν μπορούσαμε να συμπιέσουμε τη Γη κι από ακτίνα 6.000 χμ να την κάνουμε να έχει ακτίνα 1 χμ , η ταχύτητα διαφυγής θα γινόταν $900 \text{ χμ/δευτερόλεπτο}$.

-
- Αν μπορούσαμε να τη συμπίεσουμε ακόμα περισσότερο και να την κάνουμε να έχει ακτίνα 1 μ , για να ξεφύγομε από τη Γη θα έπρεπε να έχουμε ταχύτητα 30.000 χμ/δευτερόλεπτο.
 - Τέλος, αν μπορούσαμε να την κάνουμε να έχει ακτίνα 1 εκατοστό, για να ξεφύγομε θα χρειαζόταν ταχύτητα 300.000 χμ/δευτερόλεπτο, **δηλαδή ταχύτητα ίση με την ταχύτητα του φωτός!**
 - Η μαύρη τρύπα είναι μια τόσο συμπιεσμένη μάζα, που **ούτε το φως δεν μπορεί να ξεφύγει** από αυτή.



Μήπως οι μαύρες τρύπες είναι «φούμαρα», σαν αυτά που μας λένε οι Κυβερνήσεις;

- Όχι, σίγουρα όχι! Και για τέσσερεις λόγους:
- 1) Η Θεωρία του Αϊνστάιν τις προβλέπει. Ο Αϊνστάιν λοιπόν δεν μας λέει «φούμαρα».
- 2) Βλέπομε ένα αστέρι να γυρίζει γύρω από έναν αόρατο συνοδό. Αν δεν υπήρχε μάζα να το έλξει, δεν θα γύριζε γύρω – γύρω. Υπολογίζομε την αόρατη μάζα και τη βρίσκομε κάμποσες φορές τη μάζα του Ήλιου. Όση προβλέπει και η θεωρία του Αϊνστάιν!

-
- 3) Το ίδιο συμβαίνει και στα κέντρα γαλαξιών (βλ. επόμενη διαφάνεια).
 - 4) Πέρυσι έγινε μια μεγάλη ανακάλυψη που **απέδειξε** την ύπαρξη των μαύρων τρυπών. Θα τη συζητήσω στο τέλος της ομιλίας.

Τροχιές αστεριών γύρω από το κέντρο του Γαλαξία μας



Μαύρη τρύπα με μάζα 1.000.000 φορές τη μάζα του Ήλιου στο κέντρο του Γαλαξία μας

- Από τις τροχιές των αστεριών υπολογίζουμε ότι στο κέντρο του Γαλαξία μας υπάρχει αόρατη μάζα ίση με ένα εκατομμύριο Ήλιους.
- Αν στο κέντρο του Γαλαξία μας υπήρχαν ένα εκατομμύριο Ήλιοι, θα έλαμπαν τόσο πολύ που θα τους βλέπαμε.
- Δεν φαίνεται όμως να υπάρχει τίποτε εκεί!
- Άρα η μάζα που έλκει τα αστέρια είναι μαύρη τρύπα.

Ζεύγος

μαύρης τρύπας – κανονικού αστεριού

- Με τον ίδιο τρόπο, από την παρατήρηση της περιστροφής ενός αστεριού γύρω από έναν αόρατο συνοδό (μαύρη τρύπα) υπολογίζουμε τη μάζα της μαύρης τρύπας.
- Έτσι έχουμε βρει ότι οι μαύρες τρύπες που προήλθαν από την έκρηξη ενός αστεριού έχουν μάζα 5 – 10 φορές τη μάζα του Ήλιου.
- Οι μαύρες τρύπες στα κέντρα γαλαξιών έχουν μάζα 1.000.000 – 1.000.000.000 φορές τη μάζα του Ήλιου.
- Αν έχετε αμφιβολία για τις μαύρες τρύπες, περιμένετε.

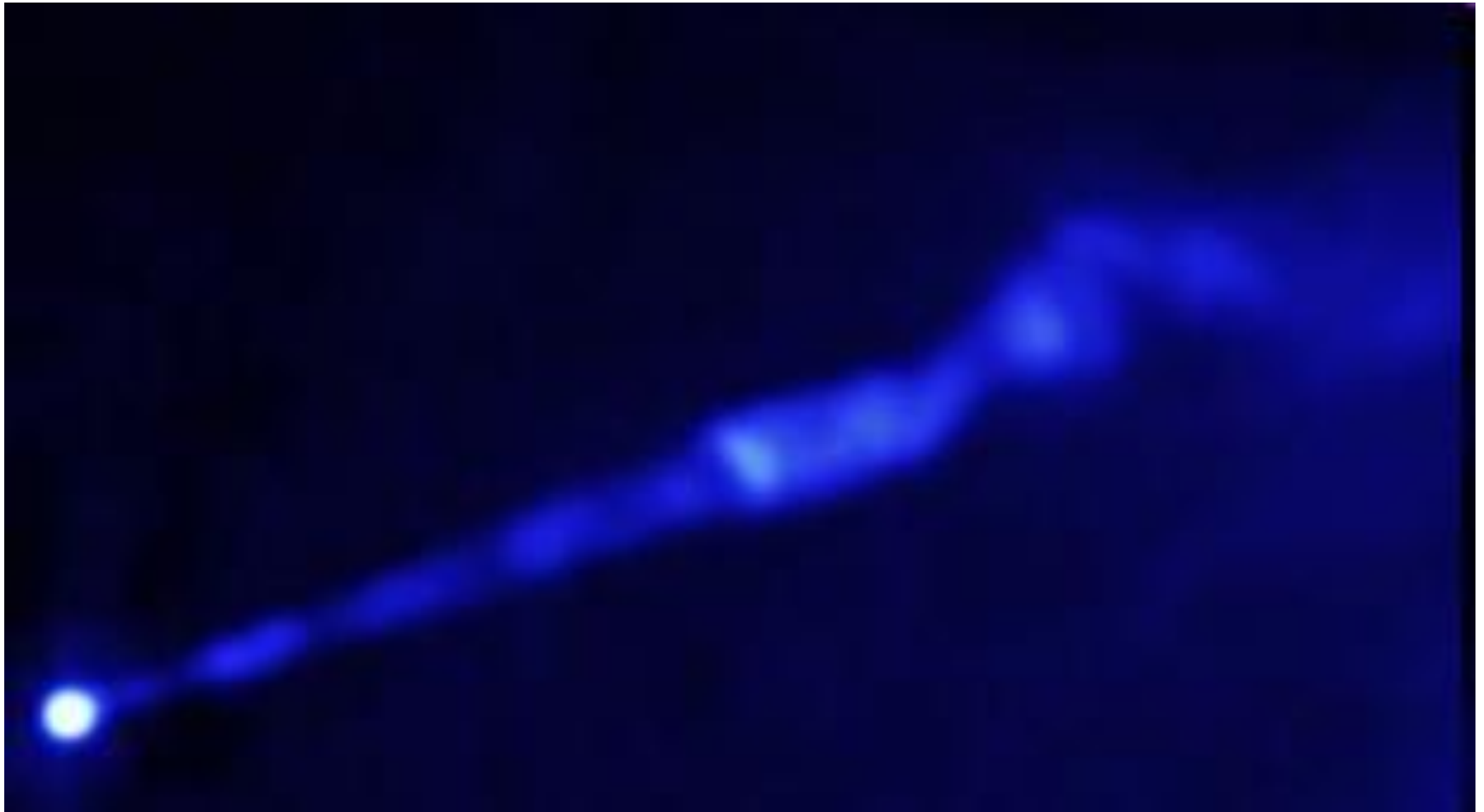
Τα παράξενα της Φύσης

- Όπως είπαμε, οι μαύρες τρύπες απορροφούν τα πάντα και τίποτε δεν μπορεί να ξεφύγει από αυτές.
- Όμως, στις περισσότερες μαύρες τρύπες (μικρές και μεγάλες) παρατηρούμε ότι εκπέμπονται πίδακες ύλης.

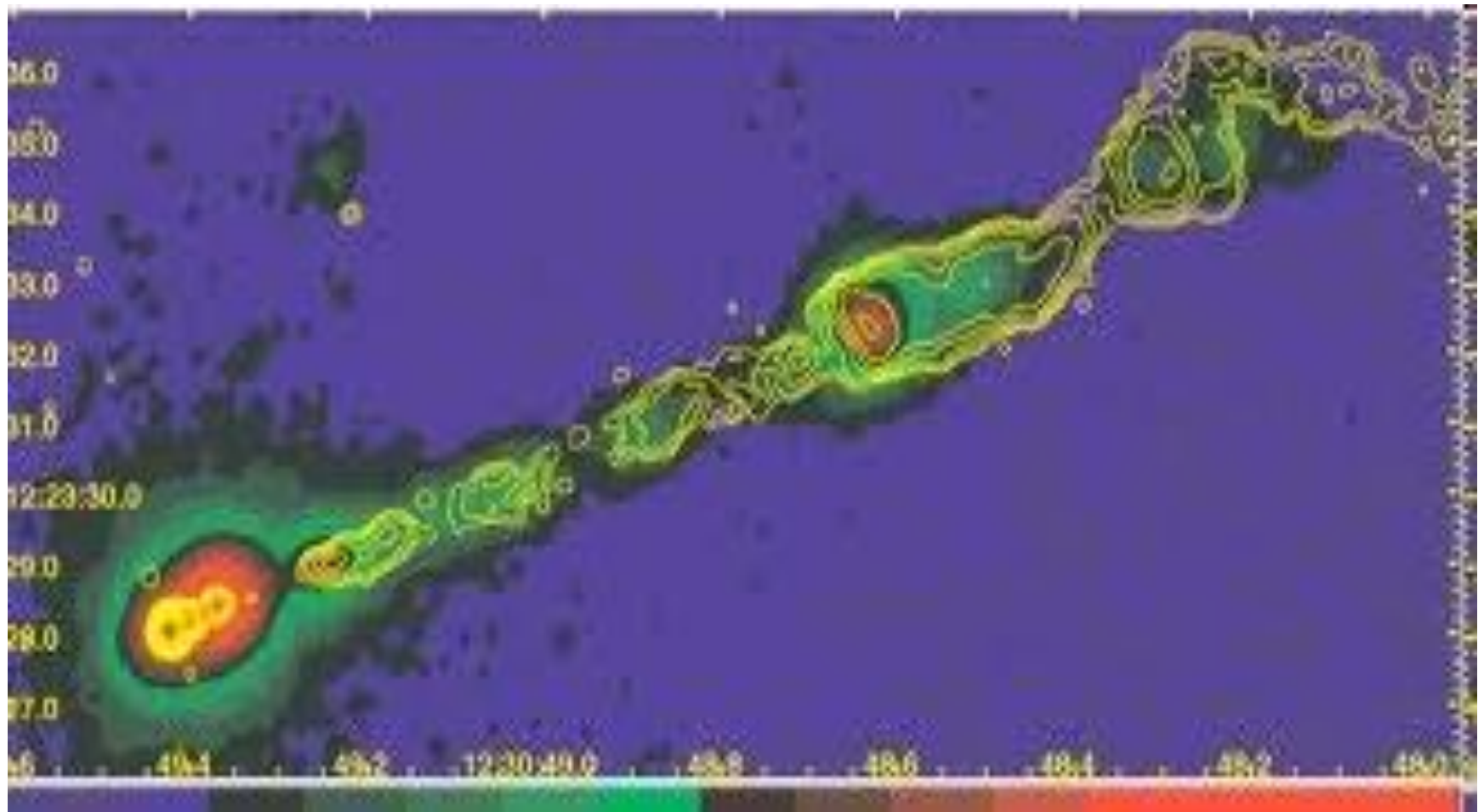
Πίδακας από το κέντρο του γαλαξία
M87, όπως φαίνεται στο ορατό φως



Ο ίδιος πίδακας όπως φαίνεται στα ραδιοκύματα



Ο ίδιος πίδακας όπως φαίνεται στις ακτίνες Χ



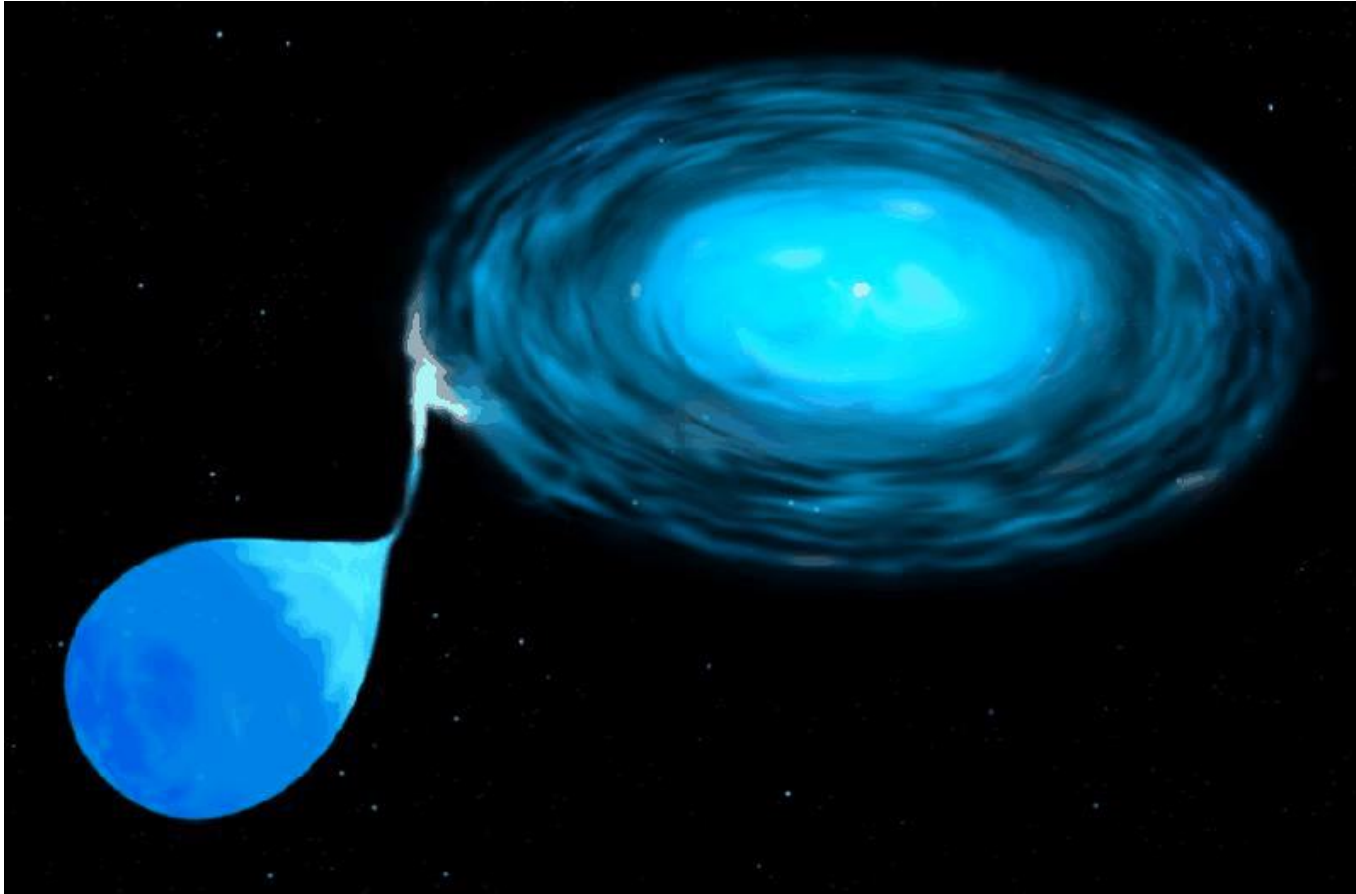
Μήπως σας λέω αντιφατικά πράγματα;

- Είπαμε ότι οι μαύρες τρύπες απορροφούν τα πάντα και δεν εκπέμπουν τίποτε.
- Πώς είναι δυνατόν να βγαίνουν πίδακες ύλης από μαύρες τρύπες;
- Ο μόνος τρόπος είναι η εκροή της ύλης να γίνεται στο περιβάλλον της μαύρης τρύπας, δηλαδή έξω από τον λεγόμενο ορίζοντα γεγονότων.
- Με άλλα λόγια, ύλη που προοριζόταν να πέσει μέσα στη μαύρη τρύπα, για κάποιο λόγο (που θα τον εξηγήσω παρακάτω) εκτοξεύεται υπό μορφή πίδακα.

Ζεύγος κανονικού αστεριού με μαύρη τρύπα.

- ❑ Τα περισσότερα αστέρια είναι σε ζεύγη. Ο Ήλιος μας είναι η εξαίρεση.
- ❑ Καθώς αυτά εξελίσσονται, το μεγαλύτερο από τα δυο τελειώνει τα πυρηνικά καύσιμά του πρώτο και, αναλόγως της μάζας του, καταλήγει να γίνει λευκός νάνος, αστέρι νετρονίων ή μαύρη τρύπα.
- ❑ Καθώς το αστέρι συνοδός εξελίσσεται, χάνει μάζα, η οποία πέφτει στη μαύρη τρύπα.
- ❑ Λόγω στροφορμής, η ύλη δεν πέφτει ακτινικά, αλλά σχηματίζει ένα δίσκο.

Σχηματική αναπαράσταση



- Εικόνα ζεύγους: Το κανονικό αστέρι τροφοδοτεί τη μαύρη τρύπα. Λόγω στροφορμής δημιουργείται δίσκος συσσώρευσης.

Δίσκος συσσώρευσης

- ❑ Ο δίσκος συσσώρευσης είναι κάτι σαν τα δαχτυλίδια του Κρόνου, μόνο που εδώ λόγω τριβής η ύλη σιγά-σιγά πέφτει προς τη μαύρη τρύπα. Είναι δηλαδή όπως οι τεχνητοί δορυφόροι, που πέφτουν στη Γη λόγω τριβής στην ατμόσφαιρα.
- ❑ Κανονικά δηλαδή, η ύλη του δίσκου έπρεπε να πέσει όλη μέσα στη μαύρη τρύπα.
- ❑ Αυτό όμως που συμβαίνει μερικές φορές είναι ότι μέρος της ύλης εκσφενδονίζεται υπό μορφή πίδακα λίγο πριν πέσει στη μαύρη τρύπα.

Σχηματική αναπαράσταση εκροής
ύλης από τον δίσκο συσσώρευσης.



Πίδακας της πηγής Cyg X-1, όπως φαίνεται στα ραδιοκύματα

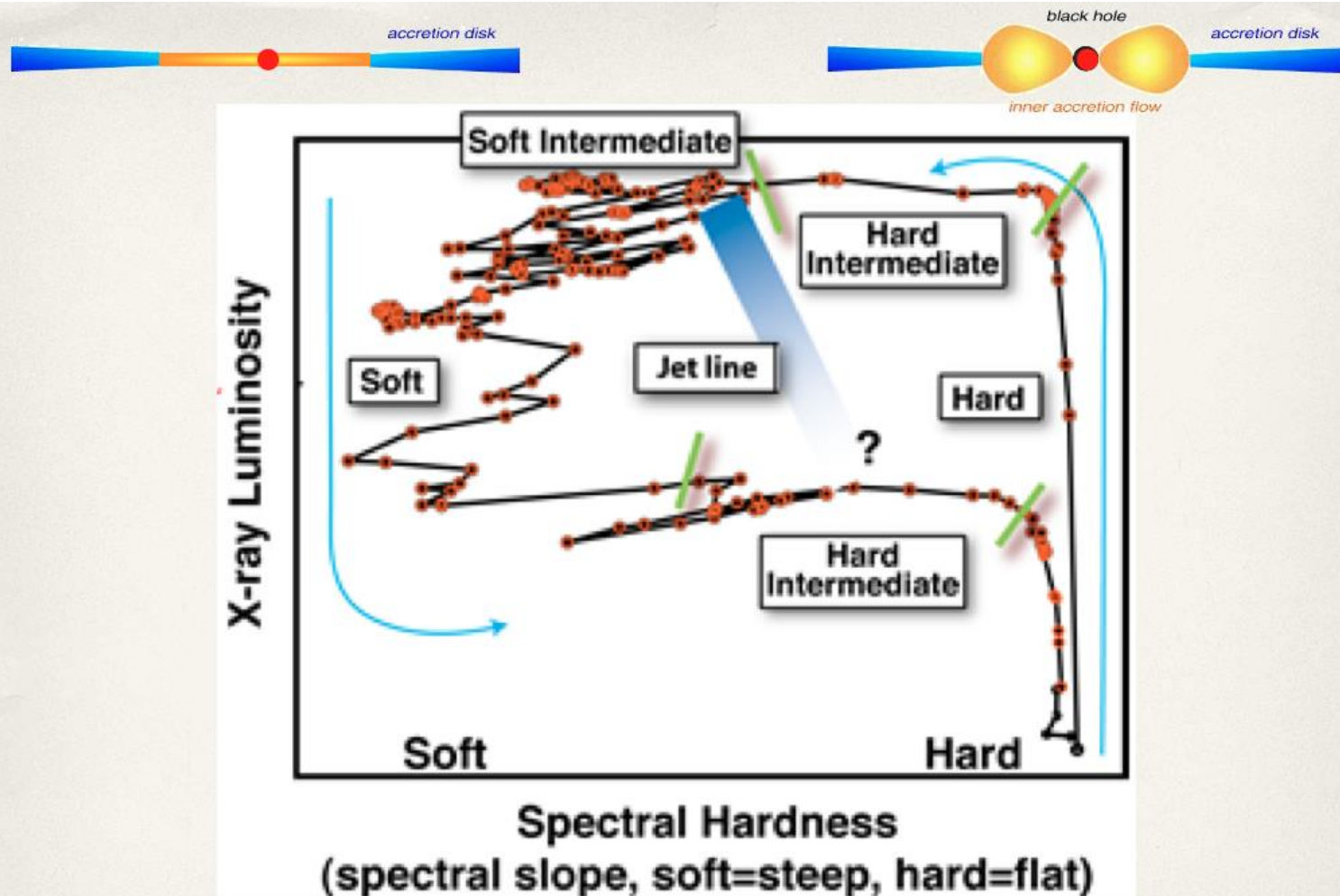


Εκτόξευση του πίδακα

- Τι είναι αυτό που κάνει την ύλη να εκτοξευθεί υπό μορφή πίδακα αντί να πέσει στη μαύρη τρύπα;
- Ας δούμε πρώτα ένα μηχανικό ανάλογο.

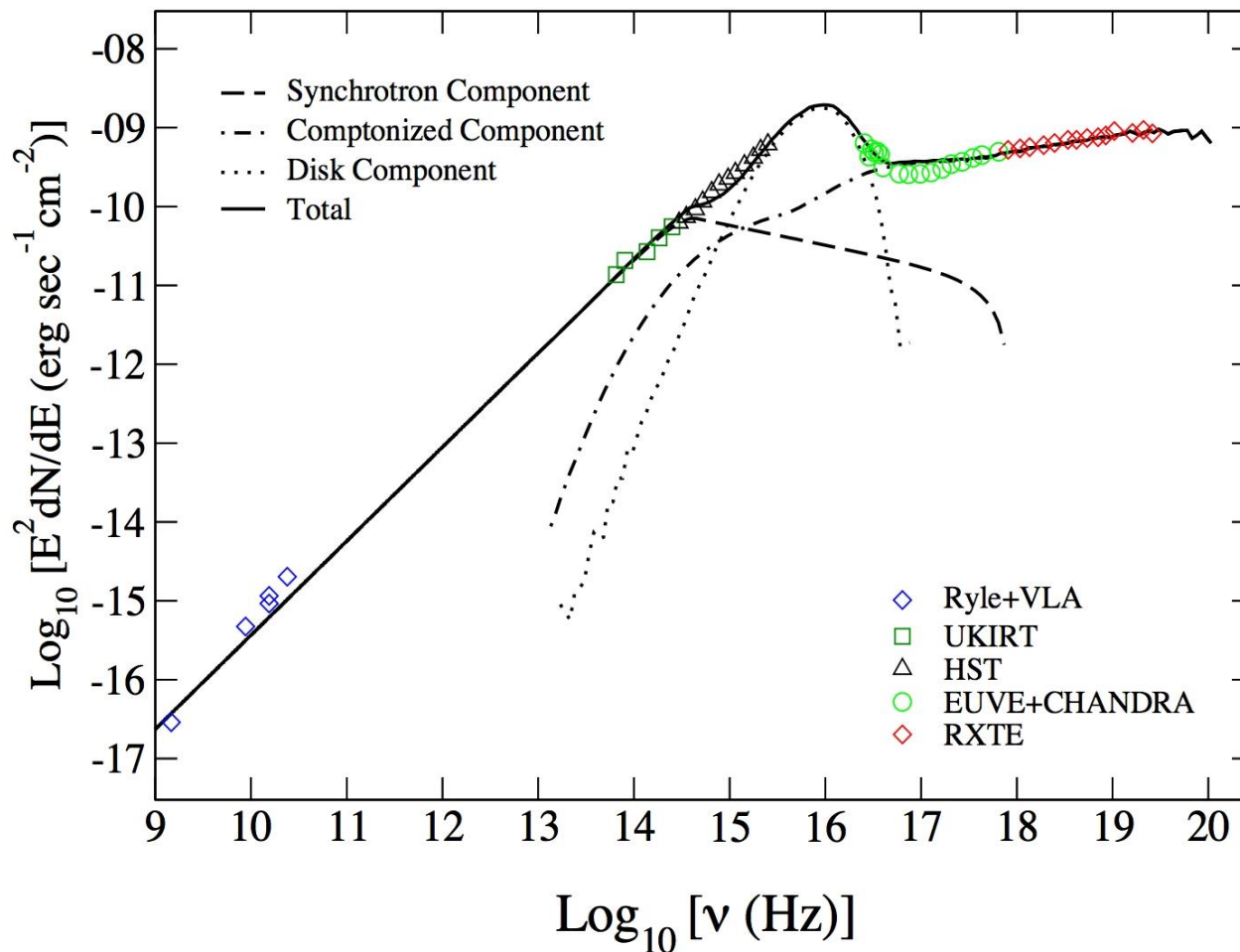
Κοσμική Μπαταρία (Contopoulos & Kazanas 1998)

- Μια καταπληκτική ιδέα προτάθηκε από τους Ιωάννη Κοντόπουλο και Δημοσθένη Καζάνα το 1998.
- Απέδειξαν ότι στον δίσκο δημιουργείται μαγνητικό πεδίο, που παίζει τον ρόλο των συρμάτων στο μηχανικό ανάλογο που σας έδειξα.
- Η δική μου έρευνα στο θέμα αυτό εστιάζεται στην κατανόηση τού γιατί μια μαύρη τρύπα άλλοτε εκπέμπει πίδακα και άλλοτε όχι.
- Επίσης, εστιάζεται στη δομή του πίδακα και στο φάσμα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας.



The jet line in the HID (Kylafis, Contopoulos, Kazanas & Christodoulou 2011, submitted)

Giannios (2005)

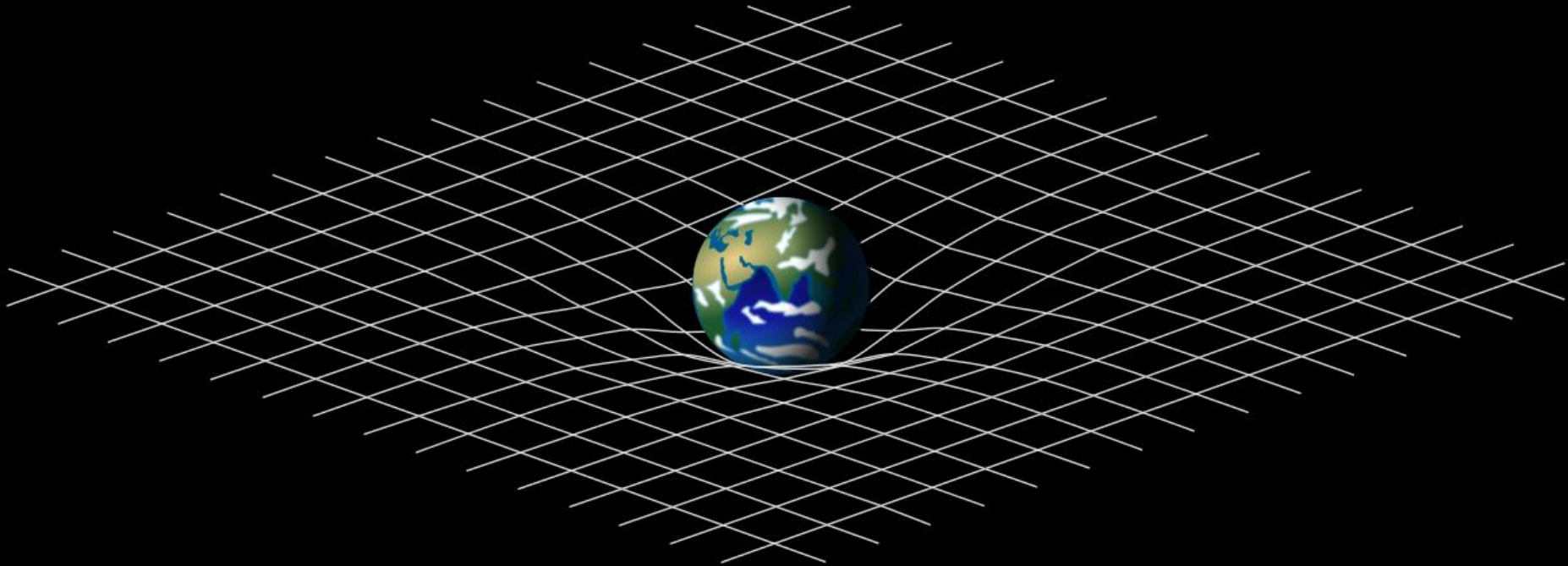


■ Μοντέλο και παρατηρήσεις για XTE J 1118+480

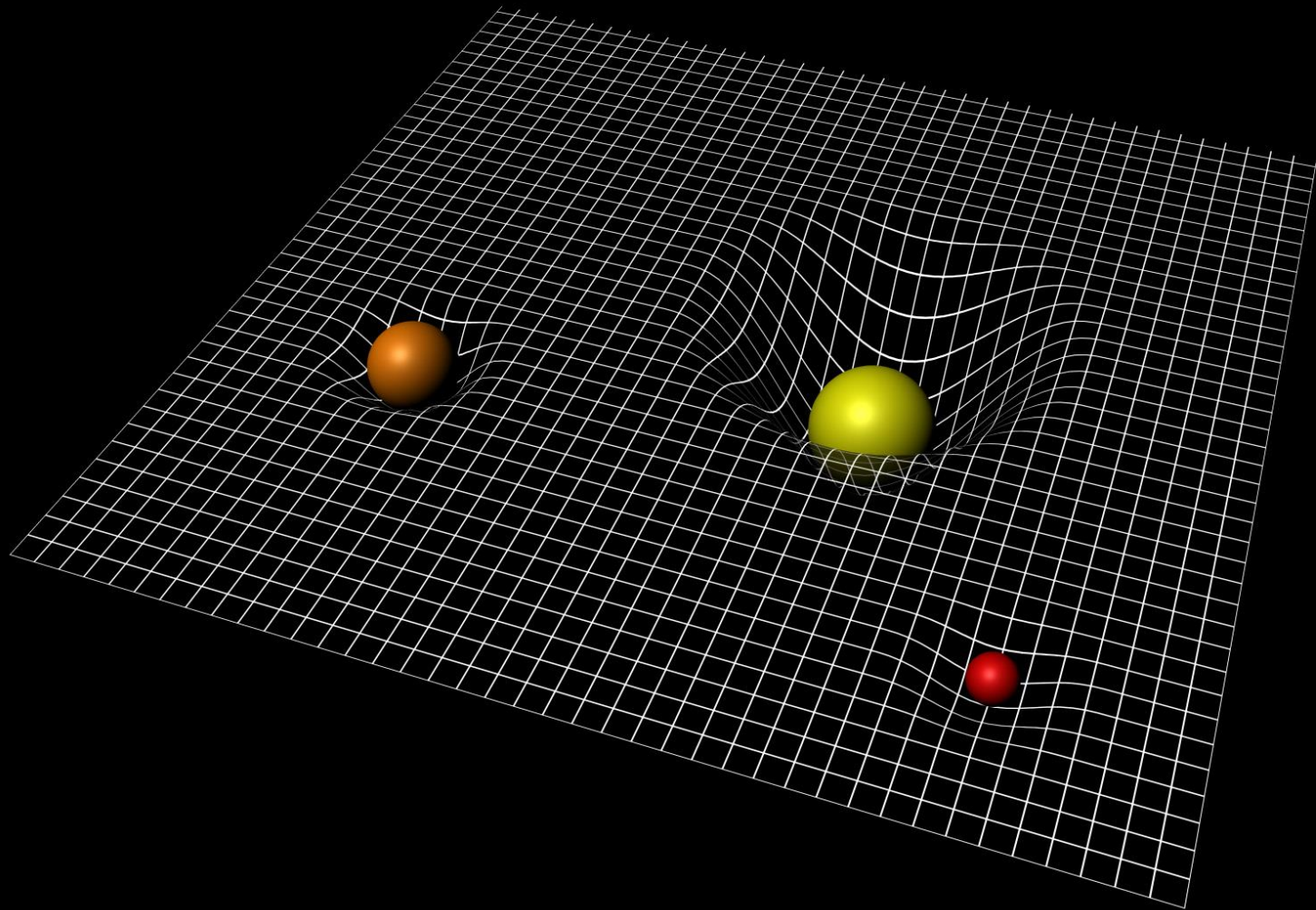
Μια μαύρη τρύπα επηρεάζει τον χώρο γύρω της

- Το μεγάλο νοητικό άλμα που έκανε ο Αϊνστάιν το 1905 και το 1916 ήταν να ανατρέψει την εικόνα που είχαμε για τον χρόνο και τον χώρο.
- Διατύπωσε τη θεωρία ότι ο χώρος δεν είναι αυθύπαρκτος και ανεπηρέαστος. (Βεβαίως και ο χρόνος, αλλά ας μην κάνουμε τα πράγματα δύσκολα.)
- Η ύπαρξη μιας μάζας αλλάζει τον χώρο γύρω της. Αντί για βαρύτητα πρέπει να μιλάμε για καμπύλωση του χώρου.
- Ας δούμε ένα μηχανικό ανάλογο.

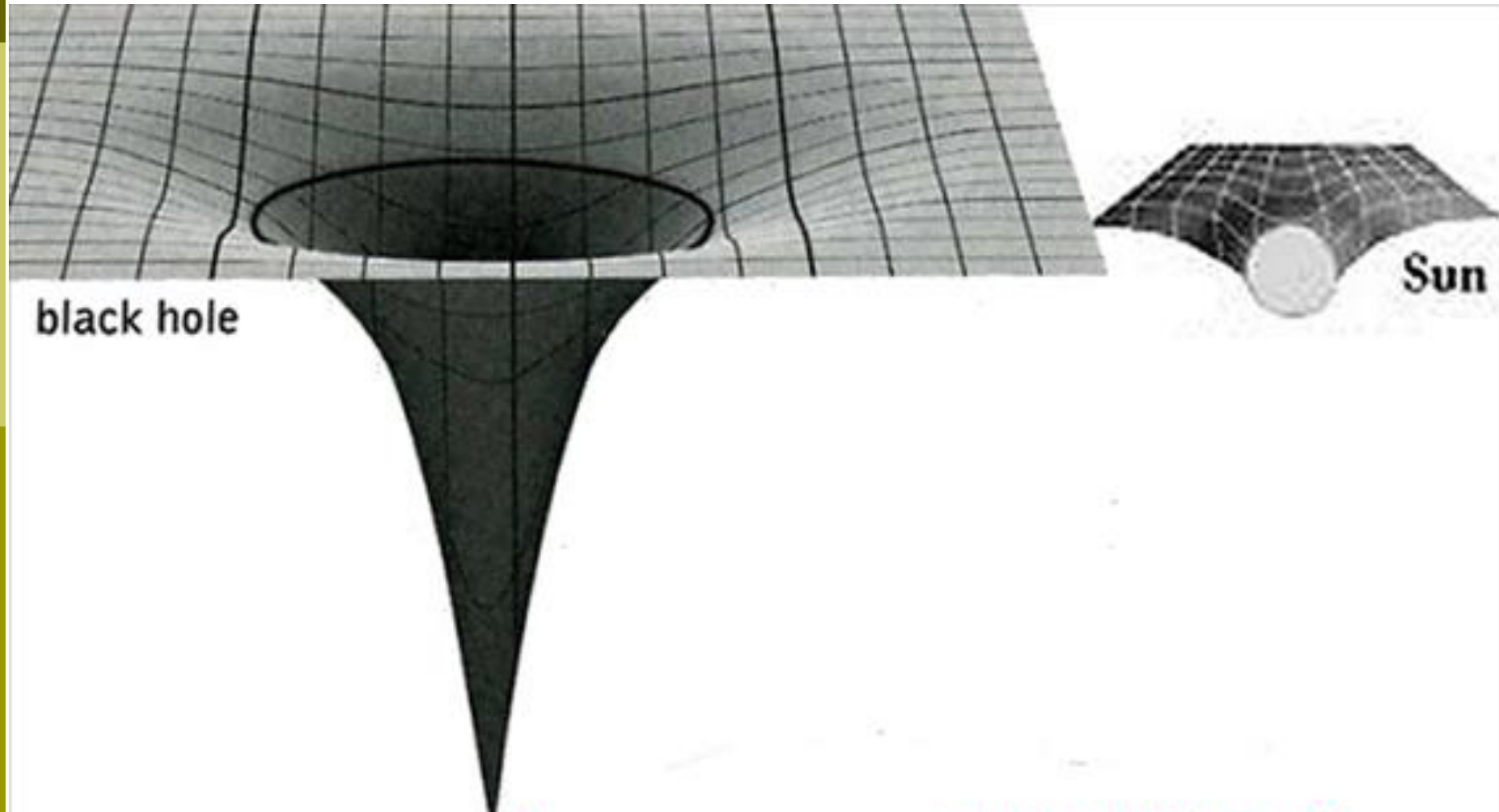
Η καμπύλωση του χώρου κάνει τα σώματα να πέφτουν προς τη Γη (αυτό το λέμε βαρύτητα)



Η καμπύλωση του χώρου εξαρτάται από τη μάζα



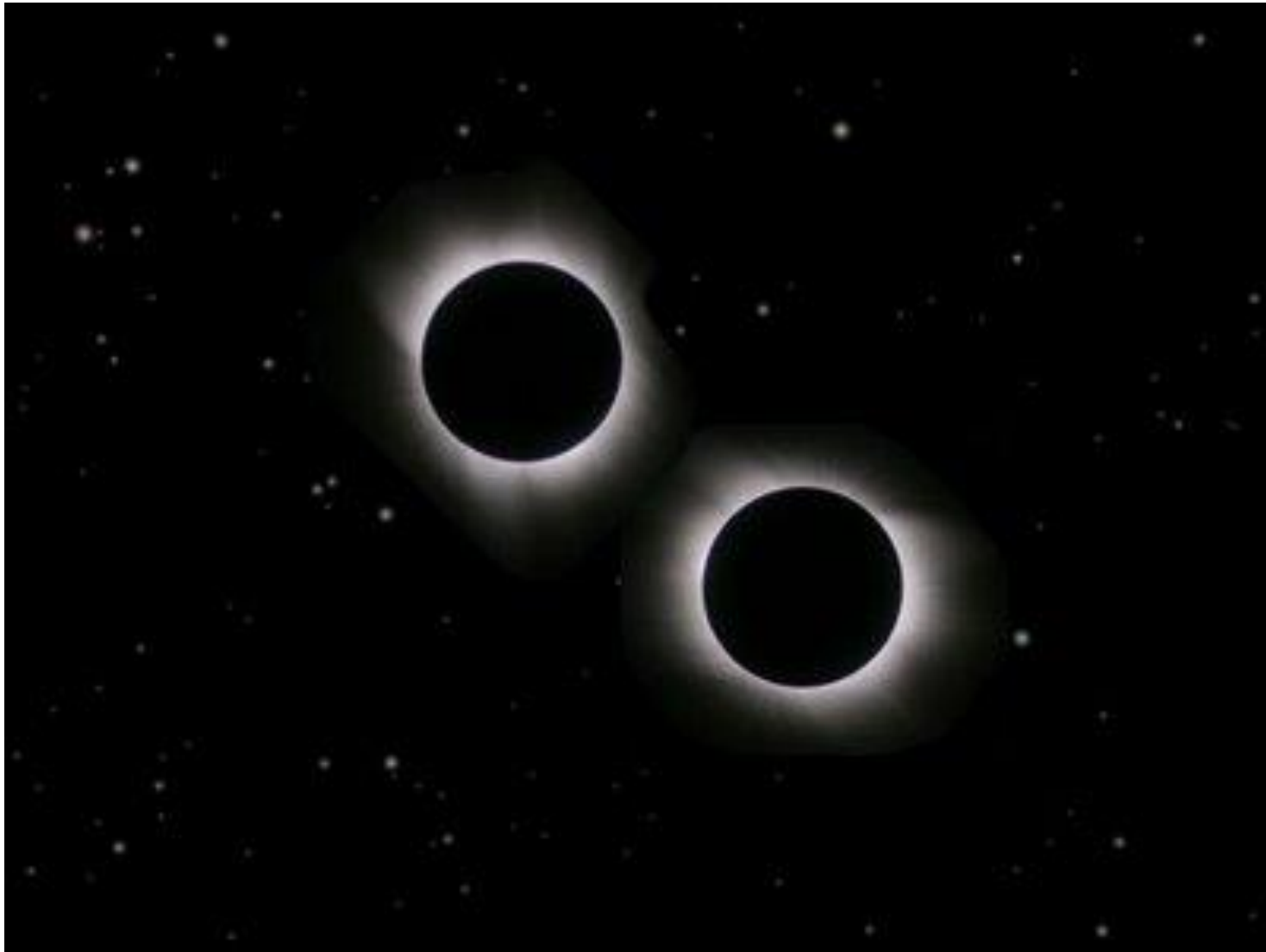
Καμπύλωση του χώρου γύρω από μια μαύρη τρύπα



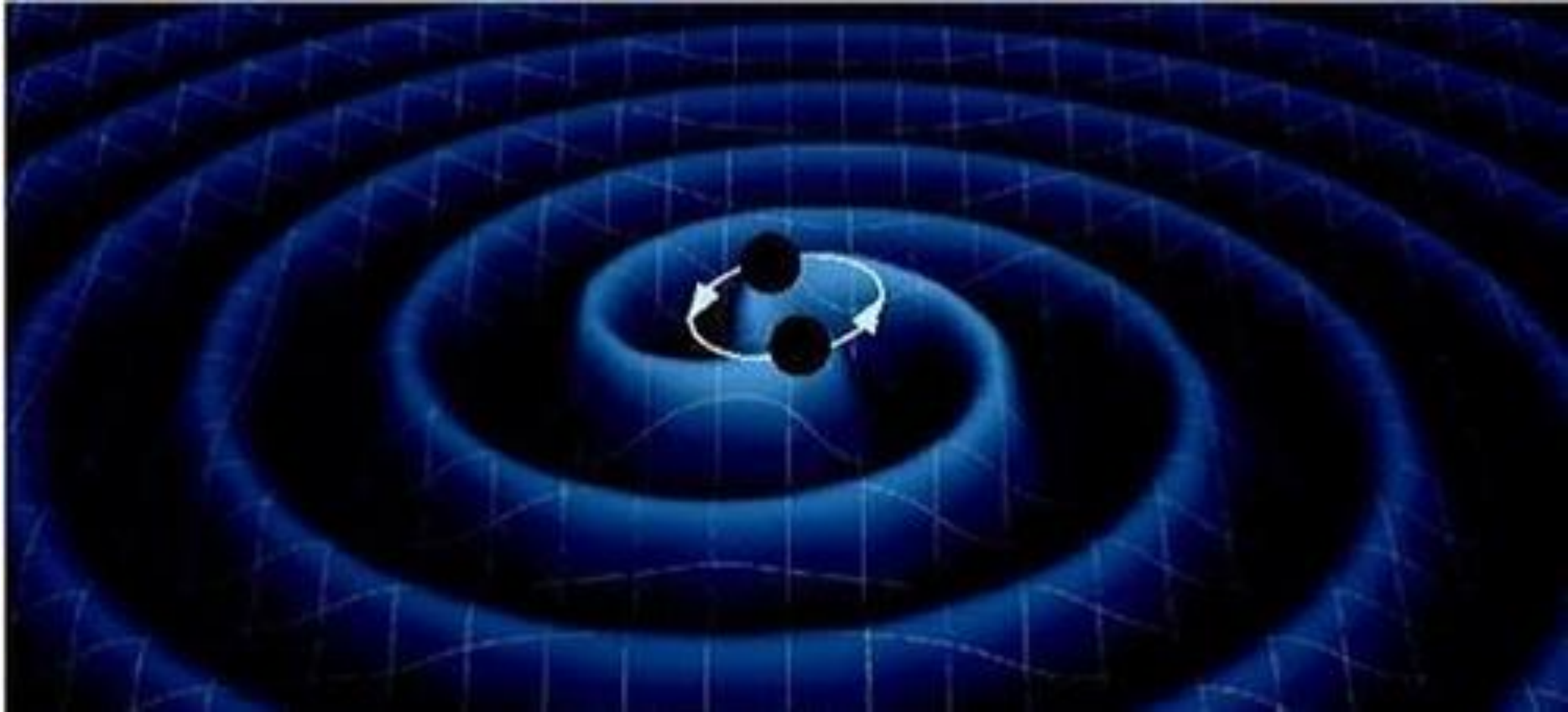
Καμπύλωση του χώρου γύρω από μια μαύρη τρύπα

- Είπαμε ότι ο χώρος γύρω από μια μαύρη τρύπα καμπυλώνεται πάρα πολύ.
- Αυτό, παρότι είναι αναμενόμενο από τη θεωρία του Αϊνστάιν, δεν είναι εύκολο να το διαπιστώσουμε πειραματικά. Οι μαύρες τρύπες είναι μακριά και δεν θέλουμε να πάμε κοντά τους.
- Όμως, αν υπάρχουν δυο μαύρες τρύπες, που γυρίζουν η μια γύρω από την άλλη, μπορούμε να καταγράψουμε στη Γη τη συγχώνευσή τους.

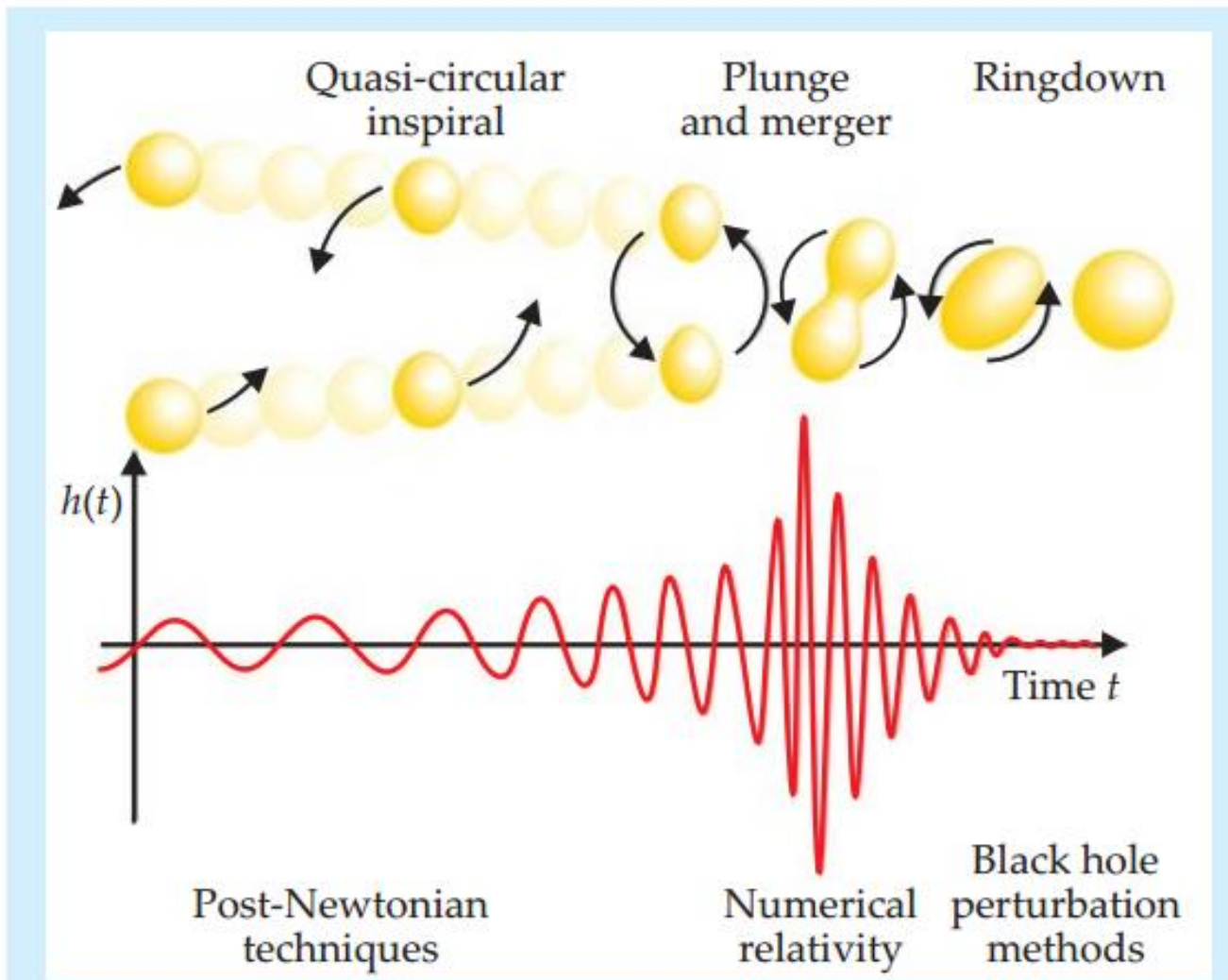
Αναπαράσταση δυο μαύρων τρυπών που γυρίζουν η μια γύρω από την άλλη



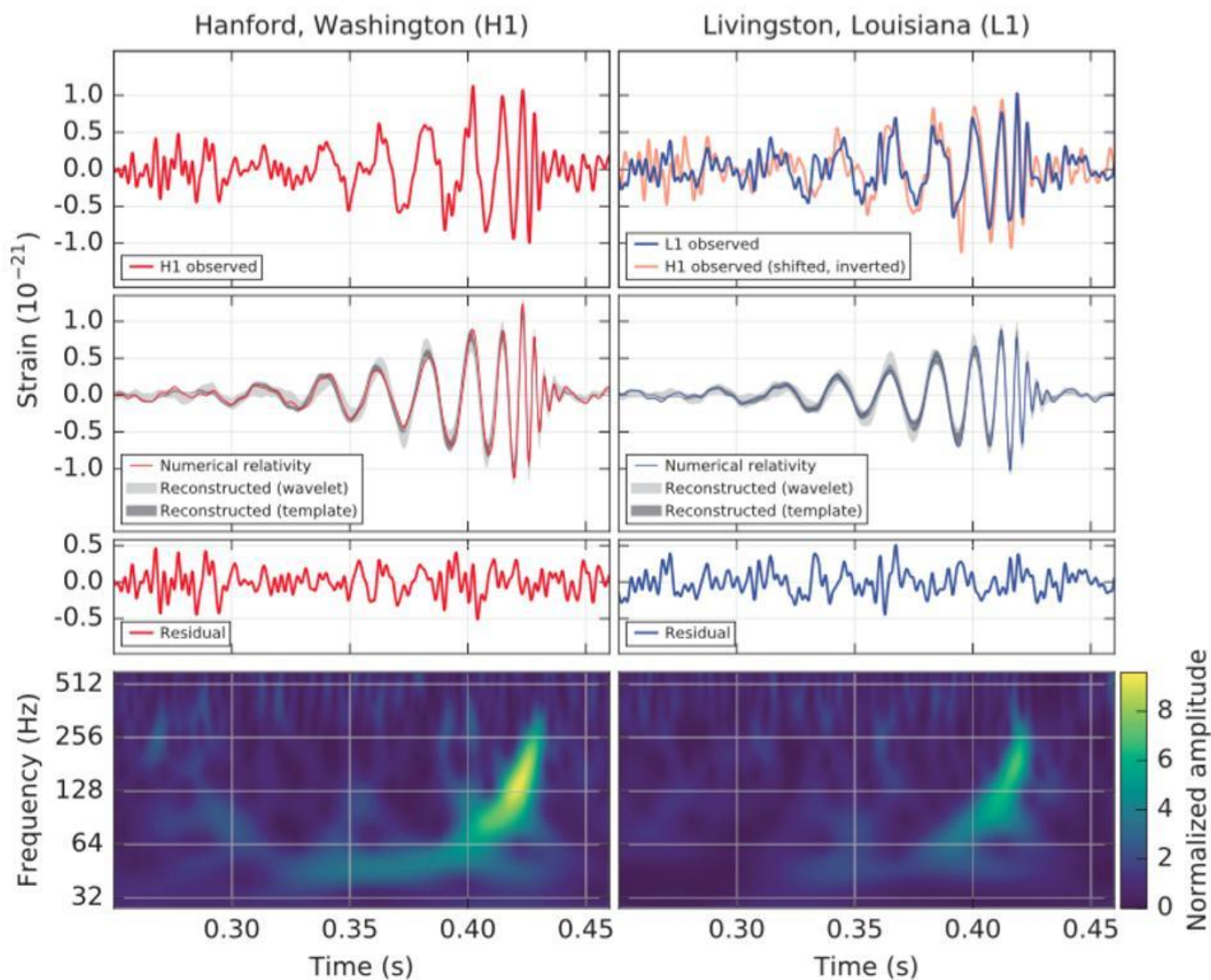
Παραμόρφωση του χωροχρόνου γύρω από δυο περιστρεφόμενες μαύρες τρύπες



Το τελευταίο στάδιο της συγχώνευσης δυο μαύρων τρυπών



Το ίδιο σήμα το είδαν δυο διαφορετικοί σταθμοί την ίδια στιγμή!!!



Συμπέρασμα

- ❑ Δεν υπάρχει πλέον καμία αμφιβολία ότι οι μαύρες τρύπες υπάρχουν.
- ❑ Αυτή η ανακάλυψη είναι μια από τις μεγαλύτερες του 21^{ου} αιώνα και συγκρίσιμη με τις μεγάλες ανακαλύψεις του 20^{ου} αιώνα.
- ❑ Δεν είναι περίεργο λοιπόν που η ανακάλυψη αυτή οδήγησε σε Βραβείο Νομπέλ πριν λίγους μήνες.
- ❑ Το άξιζε!!!

Σύνδεση με την προηγούμενη ομιλία

- ❑ Τα μέσα ενημέρωσης και όχι μόνο, όταν δείχνουν εικόνες από τον Διαστημικό Σταθμό λένε:
- ❑ Στον Διαστημικό Σταθμό οι αστροναύτες αιωρούνται **διότι δεν υπάρχει βαρύτητα**.
- ❑ Μπούρδα!!!
- ❑ Στην επιφάνεια της Γης η επιτάχυνση της βαρύτητας είναι $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.
- ❑ Στον διαστημικό σταθμό η επιτάχυνση της βαρύτητας είναι $g = 8,69 \text{ m/s}^2$. **Όχι μηδέν.**

Γιατί λοιπόν αιωρούνται οι αστροναύτες;

- Για να κάνει ένα σώμα ομαλή κυκλική κίνηση, πρέπει να υπάρχει μια κεντρομόλος δύναμη.
- Ο Διαστημικός σταθμός κάνει ομαλή κυκλική κίνηση ακριβώς επειδή η έλξη της Γης είναι η απαιτούμενη κεντρομόλος δύναμη.
- Άρα **δεν υπάρχει καμία άλλη δύναμη** που να δράσει στους αστροναύτες.
- Όσο περίεργο κι αν σας φαίνεται, ο Διαστημικός Σταθμός και οι αστροναύτες **κάνουν ελεύθερη πτώση** στη Γη!!! Μόνο που δεν συγκρούονται. ☺

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ τον Σύλλογο
Φυσικών Κρήτης για την
ευκαιρία που μου έδωσε να
σας μιλήσω.