

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟ ΜΑΘΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΤΣΙΓΑΡΙΔΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Μαύρες Τρύπες

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:
ΑΛΙΦΕΡΗΣ ΑΝΤΩΝΗΣ
ΑΡΒΑΝΙΤΗ ΒΑΣΙΛΙΚΗ

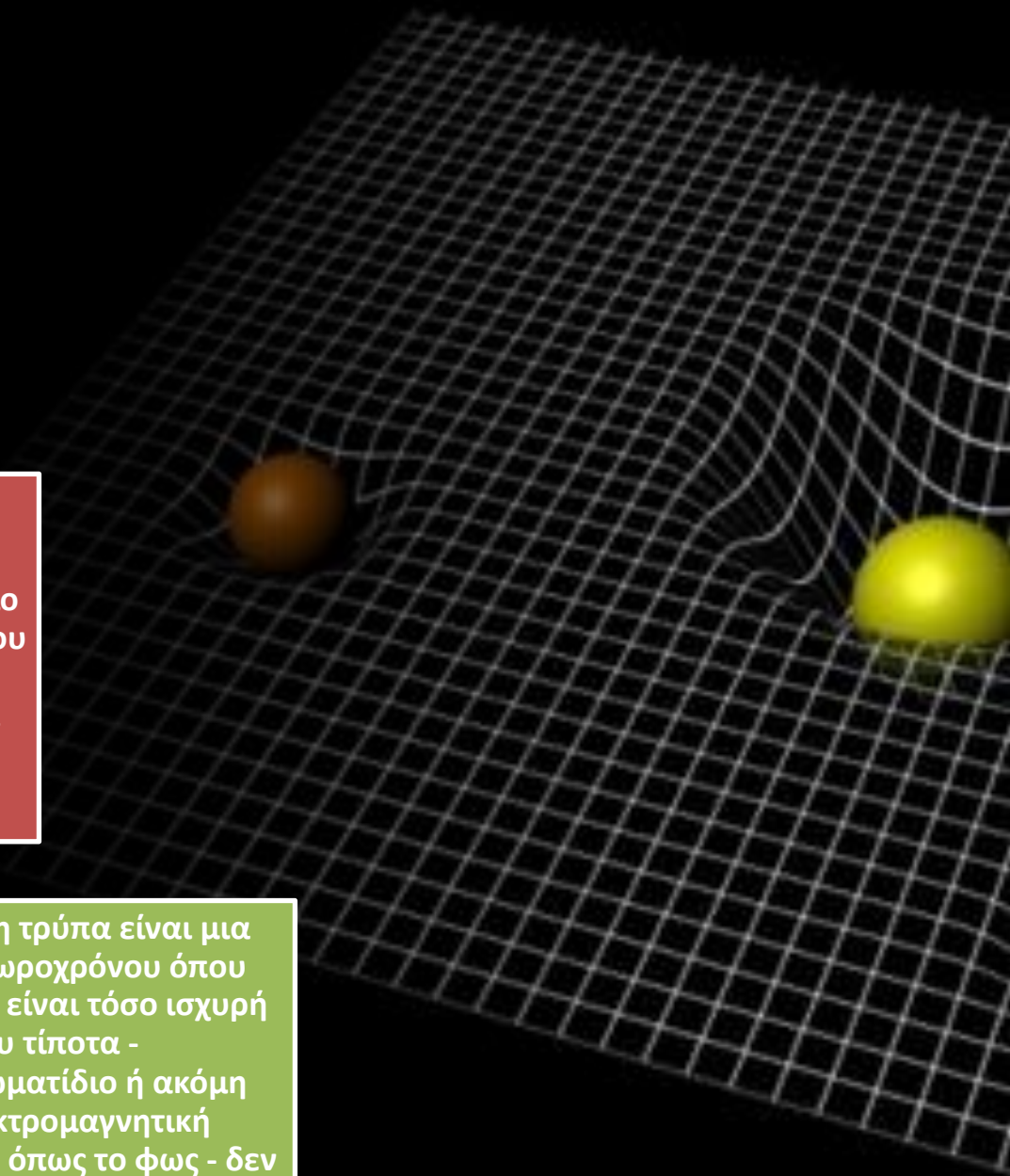


Σύντομη εισαγωγή στις μαύρες τρύπες

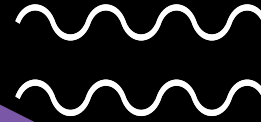
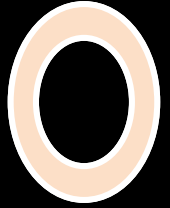
Χωροχρόνος:
Οποιοδήποτε μαθηματικό μοντέλο
συγχωνεύει τις τρεις διαστάσεις του
χώρου και τη
μία διάσταση του χρόνου σε μια
ενιαία τετραδιάστατη μορφή.

Η Γενική θεωρία της
σχετικότητας προβλέπει ότι μια
αρκετά συμπαγής μάζα μπορεί
να παραμορφώσει τόσο το
χωροχρόνο ώστε να σχηματίσει
μια μαύρη τρύπα.

Μια μαύρη τρύπα είναι μια
περιοχή χωροχρόνου όπου
η βαρύτητα είναι τόσο ισχυρή
που τίποτα -
κανένα σωματίδιο ή ακόμη
και ηλεκτρομαγνητική
ακτινοβολία όπως το φως - δεν
μπορεί να ξεφύγει από αυτήν.



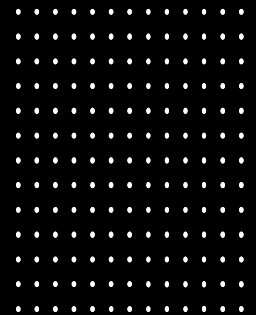
Σχηματισμός αστρικών μαύρων τρυπών



Οι μαύρες τρύπες σχηματίζονται στη φύση όταν συγκεντρώνεται σε ένα δεδομένο χώρο τεράστια ποσότητα μάζας, μέσω της διαδικασίας που καλείται βαρυτική κατάρρευση.

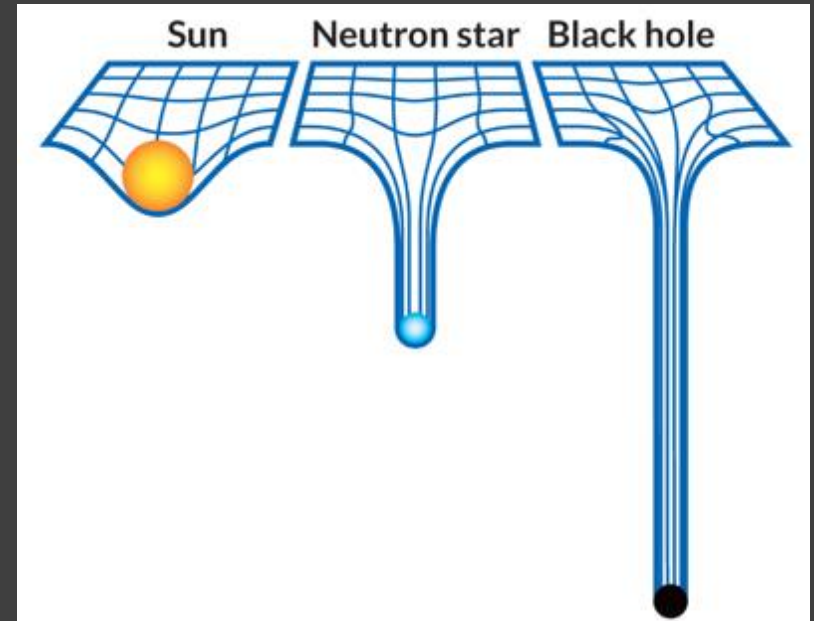
Όσο η μάζα μέσα σε μία συγκεκριμένη περιοχή μεγαλώνει, η δύναμη της βαρύτητας γίνεται πιο ισχυρή, δηλαδή ο χώρος γύρω της παραμορφώνεται όλο και εντονότερα.

Όταν η ταχύτητα διαφυγής σε μια συγκεκριμένη απόσταση από το κέντρο φθάσει την ταχύτητα του φωτός, σχηματίζεται ένας ορίζοντας γεγονότων. Η κρίσιμη ακτίνα όπου η ταχύτητα διαφυγής φτάνει την ταχύτητα του φωτός ονομάζεται ακτίνα Σβάρτσιλντ.



Σχηματισμός αστρικών μαύρων τρυπών

Ένας αστέρας που έχει τουλάχιστον 3 φορές την μάζα του ήλιου στο τέλος της εξέλιξής του, σχεδόν σίγουρα θα συρρικνωθεί μέχρι το κρίσιμο εκείνο μέγεθος που χρειάζεται για να υποστεί βαρυτική κατάρρευση. Σχηματίζεται έτσι ένας αστέρας νετρονίων, αν η μάζα του είναι ακόμα πιο μεγάλη, τελικά σχηματίζεται μαύρη τρύπα.



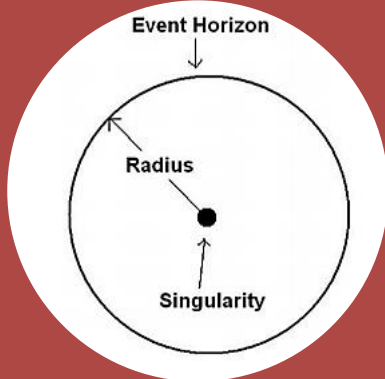
Περιγραφή & Περιβάλλον μαύρων τρυπών

- ❑ Ύλη και πληροφορίες δεν μπορούν να κινηθούν από το εσωτερικό μιας μαύρης τρύπας προς έναν εξωτερικό παρατηρητή.
- ❑ Κβαντομηχανικά φαινόμενα μπορούν να επιτρέψουν σε ύλη και ενέργεια να δραπετεύσουν από μαύρες τρύπες. Θεωρείται όμως ότι δεν έχουν σχέση με αυτά που εισήλθαν στο παρελθόν.
→ στις μαύρες τρύπες γίνεται απώλεια πληροφορίας.



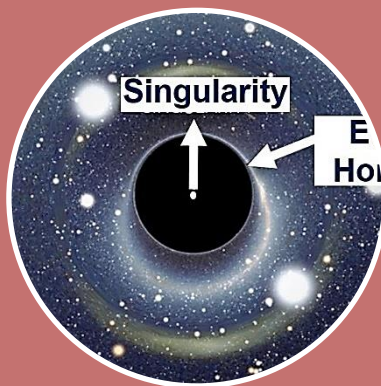
Περιγραφή & Περιβάλλον μαύρων τρυπών

Τα τρία σημαντικότερα μέρη μιας απλής μαύρης τρύπας είναι:



Ο Ορίζοντας Γεγονότων

Ορίζεται από την ακτίνα Schwarzschild, αποτελεί ένα όριο στο χωροχρόνο, μέσα από το οποίο η ύλη και το φως μπορεί μόνο να περάσει προς το εσωτερικό της μαύρης τρύπας. Ονομάζεται έτσι επειδή οποιαδήποτε πληροφορία ή οποιοδήποτε γεγονός συμβεί στο εσωτερικό του, είναι αδύνατο να φτάσει σε κάποιον εξωτερικό παρατηρητή.



Μοναδικότητα

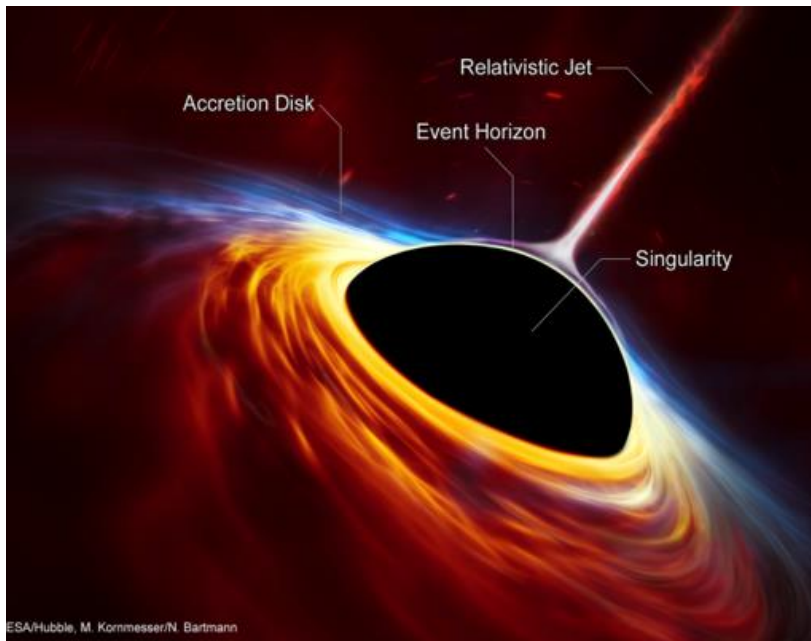
Περιοχή του χωροχρόνου, όπου το βαρυτικό πεδίο της μαύρης τρύπας γίνεται άπειρο. Με άλλα λόγια, εκεί δεν ισχύουν οι νόμοι του συνηθισμένου χωροχρόνου. Βρίσκεται στο κέντρο μιας μαύρης τρύπας και έχει τεράστια πυκνότητα.



Εργόσφαιρα

Βρίσκεται έξω από κάθε περιστρεφόμενη μαύρη τρύπα. Σε αυτή την περιοχή θεωρητικά μπορεί να εξαχθεί ύλη και ενέργεια από την μαύρη τρύπα. Έχει σχήμα πεπλατυσμένου ελλειψοειδους και εφάπτεται στον ορίζοντα γεγονότων.

Δίσκος Προσαύξησης



Πρόκειται για μια δομή η οποία σχηματίζεται από διάχυτο υλικό σε τροχιακή κίνηση γύρω από μια μαύρη τρύπα.

Οι βαρυτικές δυνάμεις στο κέντρο της σπείρας συμπιέζουν ιδιαίτερα το υλικό και κάθετα στο δίσκο, και έτσι εκπέμπεται από το κέντρο του ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Η περιοχή συχνοτήτων της ακτινοβολίας εξαρτάται από το κεντρικό αντικείμενο που προκαλεί τη βαρυτική αυτή κατάρρευση. Γύρω από τις μαύρες τρύπες ακτινοβολούν στην περιοχή των ακτινών Χ.

Η **λαμπρότητα** του δίσκου προσαύξησης δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$L_{\text{disk}} = \frac{GM\dot{M}}{2R_{\text{in}}} = \frac{c^2 GM\dot{M}}{2GM} = \frac{1}{12} \dot{M} c^2$$

Αυτό σημαίνει ότι το 10% περίπου μάζας που προσπίπτει στη μελανή οπή απελευθερώνεται υπό τη μορφή βαρυτικής ενέργειας η οποία στη συνέχεια ακτινοβολείται από το δίσκο.

Άλλα σώματα ως μαύρες τρύπες

- Όλα τα σώματα θεωρητικά θα μπορούσαν να αποτελέσουν μαύρες τρύπες, αν η μάζα τους συμπιεζόταν τόσο, που το βαρυτικό πεδίο που θα δημιουργούνταν θα είχε ταχύτητα διαφυγής που θα έφτανε την ταχύτητα του φωτός.
- Έτσι, Αν ήταν εφικτό να συμπυκωθεί ολόκληρη η Γη σε μια ακτίνα 0,9 εκατοστών, (δηλαδή στο μέγεθος ενός κερασιού), θα είχε μετατραπεί σε μαύρη τρύπα.
- Παρομοίως, αν ο Ήλιος συμπυκνόταν σε μια ακτίνα 3 χιλιομέτρων (στα 4 εκατομμυριοστά του τωρινού του μεγέθους), θα είχε μετατραπεί σε μαύρη τρύπα.



Άλλα σώματα ως μαύρες τρύπες

- Ο Ερμής είναι μια μαύρη τρύπα ακτίνας 0.5 mm.
- Το φεγγάρι είναι μια μαύρη τρύπα ακτίνας 0.1 mm.
- Ο Άρης είναι μια μαύρη τρύπα ακτίνας 1.0 mm.
- Ο Πλούτωνας είναι μια μαύρη τρύπα ακτίνας 0.02 mm
- Ο Δίας είναι μια μαύρη τρύπα ακτίνας 280 cm
- Ο Κρόνος είναι μια μαύρη τρύπα ακτίνας 83 cm
- Ο Ουρανός είναι μια μαύρη τρύπα ακτίνας 13 cm
- Ο Ποσειδώνας είναι μια μαύρη τρύπα ακτίνας 15 cm



Οι κοντινότερες μαύρες τρύπες

Η δημιουργία μαύρων τρυπών, όπως αναλύθηκε παραπάνω, είναι σπάνιο φαινόμενο στη μεριά του γαλαξία που βρίσκεται η Γη.

Έτσι, οι κοντινότερες μαύρες τρύπες απέχουν χιλιάδες έτη φωτός πολύ από τον πλανήτη μας.

Όπου 1 έτος φωτός = 9.4607 τρισεκατομμύρια χιλιόμετρα.

Μέγεθος και μάζα μαύρων τρυπών

Διαφορετικοί τύποι μελανών οπών έχουν κατά πολύ διαφορετικές μάζες:

☐ Οι αστρικές μαύρες τρύπες κυμαίνονται συνήθως από 10 έως 100 ηλιακές μάζες.

☐ Οι υπερμεγέθεις μαύρες τρύπες στα κέντρα των γαλαξιών μπορούν να είναι εκατομμύρια ή δισεκατομμύρια ηλιακές μάζες.

☐ Επειδή υπάρχει ένα τόσο μεγάλο άλμα στα μεγέθη, έχει υποτεθεί ότι υπάρχει και μια κατηγορία ενδιάμεσης μάζας . Οι μαύρες τρύπες αυτές θα ήταν εκατοντάδες ή χιλιάδες ηλιακές μάζες.

☐ Μια άλλη υποθετική κατηγορία μαύρων τρυπών είναι οι αρχέγονες μαύρες τρύπες, οι οποίες θα είχαν σχηματιστεί στο πρώιμο σύμπαν. Θα ήταν τόσο μικροσκοπικές (η ελάχιστη μάζα τους θα ήταν όση ενός Planck) που θα μπορούσαν να περιγραφούν σωστά μόνο χρησιμοποιώντας την κβαντική μηχανική.

Το μέγεθος μιας μαύρης τρύπας εξαρτάται άμεσα από τη μάζα της σύμφωνα με τον τύπο της ακτίνας Schwarzschild:

$$\square \quad r_s = \frac{2GM}{c^2}$$

@formulas_for_your_comfort

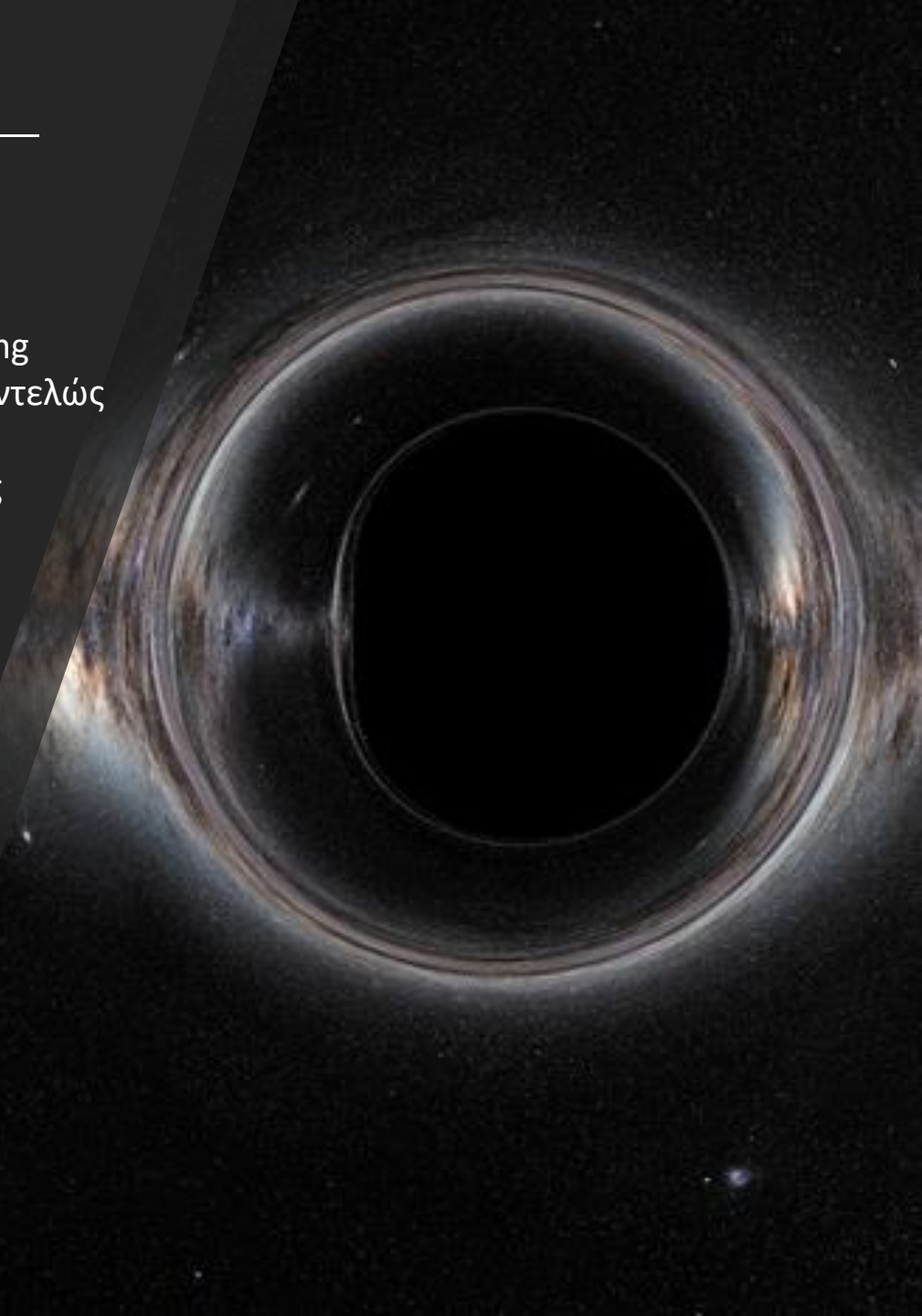
Ακτινοβολία Hawking – Εξάτμιση

Το 1974, ο Βρετανός φυσικός Stephen Hawking προέβλεψε ότι οι μαύρες τρύπες, δεν είναι εντελώς μαύρες αλλά εκπέμπουν μικρές ποσότητες θερμικής ακτινοβολίας. Υποστήριξε ότι αυτές εκπέμπουν σωματίδια που εμφανίζουν ένα τέλειο φάσμα μαύρου σώματος.

$$T_H = \frac{\hbar c^3}{8\pi G k_B M}$$

Η θερμοκρασία Hawking είναι αντιστρόφως ανάλογη της μάζας

Οι μεγάλες μαύρες τρύπες εκπέμπουν λιγότερη ακτινοβολία από ότι εκπέμπουν οι μικρές.



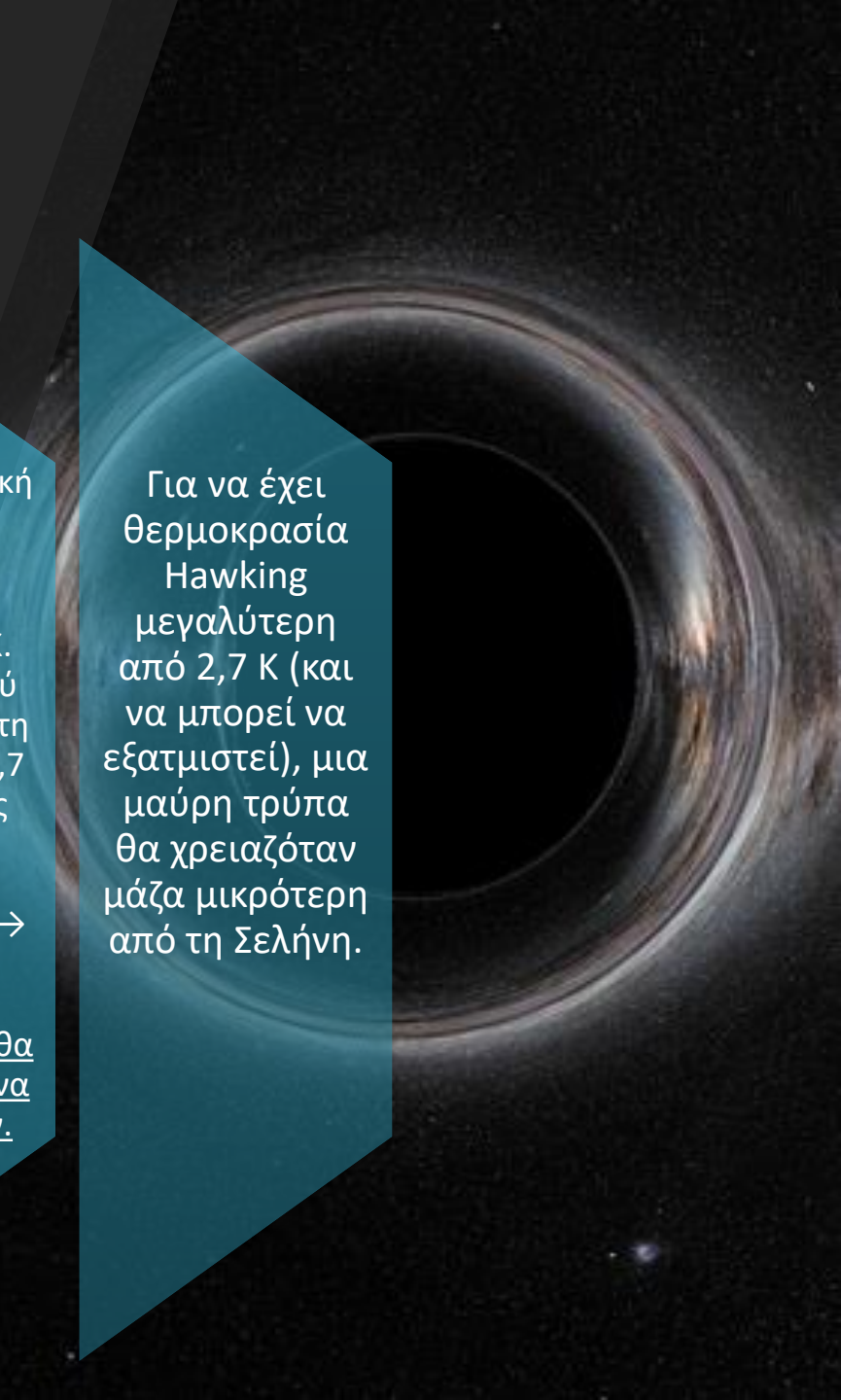
Ακτινοβολία Hawking – Εξάτμιση

Η ακτινοβολία Hawking μειώνει τη μάζα και την περιστροφική ενέργεια των μαύρων οπών και επομένως είναι επίσης γνωστή ως εξάτμιση των μαύρων τρυπών.

Οι μαύρες τρύπες που δεν κερδίζουν μάζα με άλλα μέσα αναμένεται να συρρικνωθούν και τελικά να εξαφανιστούν.

Όμως μια αστρική μαύρη τρύπα $1 M_{\odot}$ έχει θερμοκρασία Hawking 62 nK. Αυτό είναι πολύ μικρότερο από τη θερμοκρασία 2,7 K της κοσμικής ακτινοβολίας φόντου μικροκυμάτων → Οι αστρικές ή μεγαλύτερες μαύρες τρύπες θα αυξηθούν αντί να συρρικνωθούν.

Για να έχει θερμοκρασία Hawking μεγαλύτερη από 2,7 K (και να μπορεί να εξατμιστεί), μια μαύρη τρύπα θα χρειαζόταν μάζα μικρότερη από τη Σελήνη.



Υπερμεγέθης μαύρες τρύπες

Οι υπερμεγέθης
μαύρες τρύπες
έχουν 1-2
εκατομμύρια
φορές
περισσότερη
μάζα από τον
Ήλιο.

Πιστεύεται ότι
υπάρχουν στα
κέντρα γαλαξιών
συμπεριλαμβαν
μένου και του
δικού μας
γαλαξία.

Αδιάσειστη
απόδειξη για την
ύπαρξή τους ήταν η
ύπαρξη κβάζαρ σε
απομακρυσμένους
ενεργούς γαλαξίες.



Υπερμεγέθους μαύρες τρύπες

Άμεσες αποδείξεις για
την ύπαρξή τους



Παρατηρήσεις υλικού
σε τροχιά γύρω από τα
κέντρα γαλαξιών



Υψηλές τροχιακές
ταχύτητες άστρων



Εξηγούνται αν
επιταχύνονται γύρω
από ένα τεράστιο
αντικείμενο με ισχυρό
βαρυτικό πεδίο

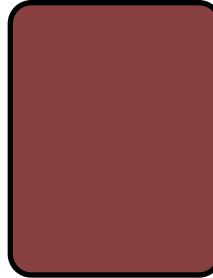


Μια υπέρογκη Μαύρη
Τρύπα.

Πώς σχηματίστηκαν



Για τους επιστήμονες τα ενδεχόμενα για τον σχηματισμό των υπέρογκων μαύρων τρυπών είναι τα εξής:



Όπως οι αστρικές μαύρες τρύπες → έτσι και οι υπέρογκες σχηματίστηκαν από την κατάρρευση τεράστιων σύννεφων στο πρώιμο στάδιο σχηματισμού του γαλαξία.



Αστρικές μαύρες τρύπες, οι οποίες καταναλώνουν τεράστια ποσά ύλης κατά την διάρκεια εκατομμυρίων χρόνων → με αποτέλεσμα να αυξάνουν τον όγκο τους όσο είναι αυτός των υπέρογκων μαύρων τρυπών



Ένα σύμπλεγμα αστρικών μαύρων τρυπών τελικά συγχωνεύεται → σχηματισμός μια υπέρογκης μαύρης τρύπας.

Η μαύρη τρύπα του γαλαξία μας

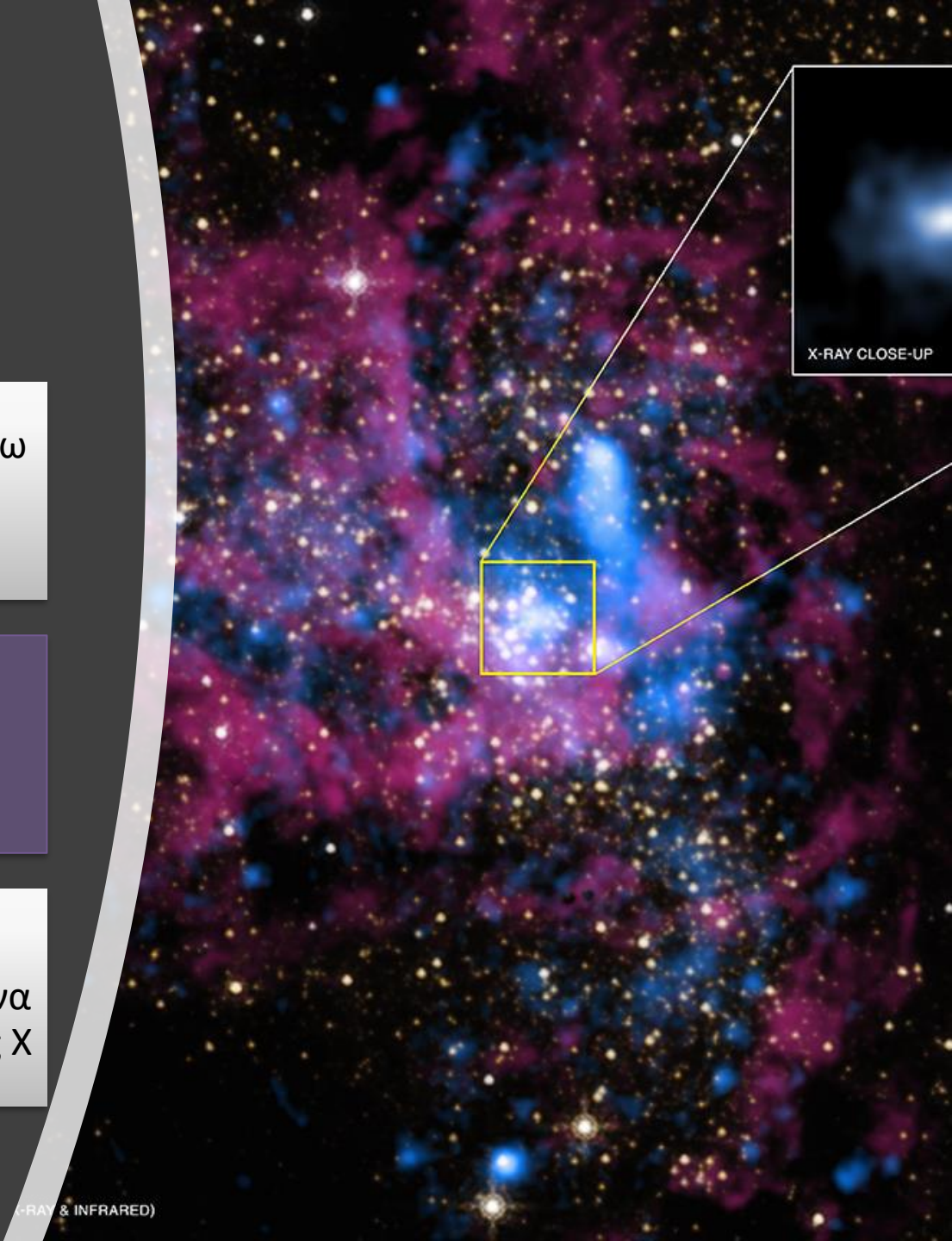
Γαλαξιακό κέντρο → Γύρω
του περιστρέφεται ο
γαλαξίας μας

24.000 Έτη φωτός από το
Ηλιακό Σύστημα

Παρατηρείται σε μήκη
κύματος μη επηρεαζόμενα
από σκόνη, όπως ακτίνες X

(X-RAY & INFRARED)

X-RAY CLOSE-UP

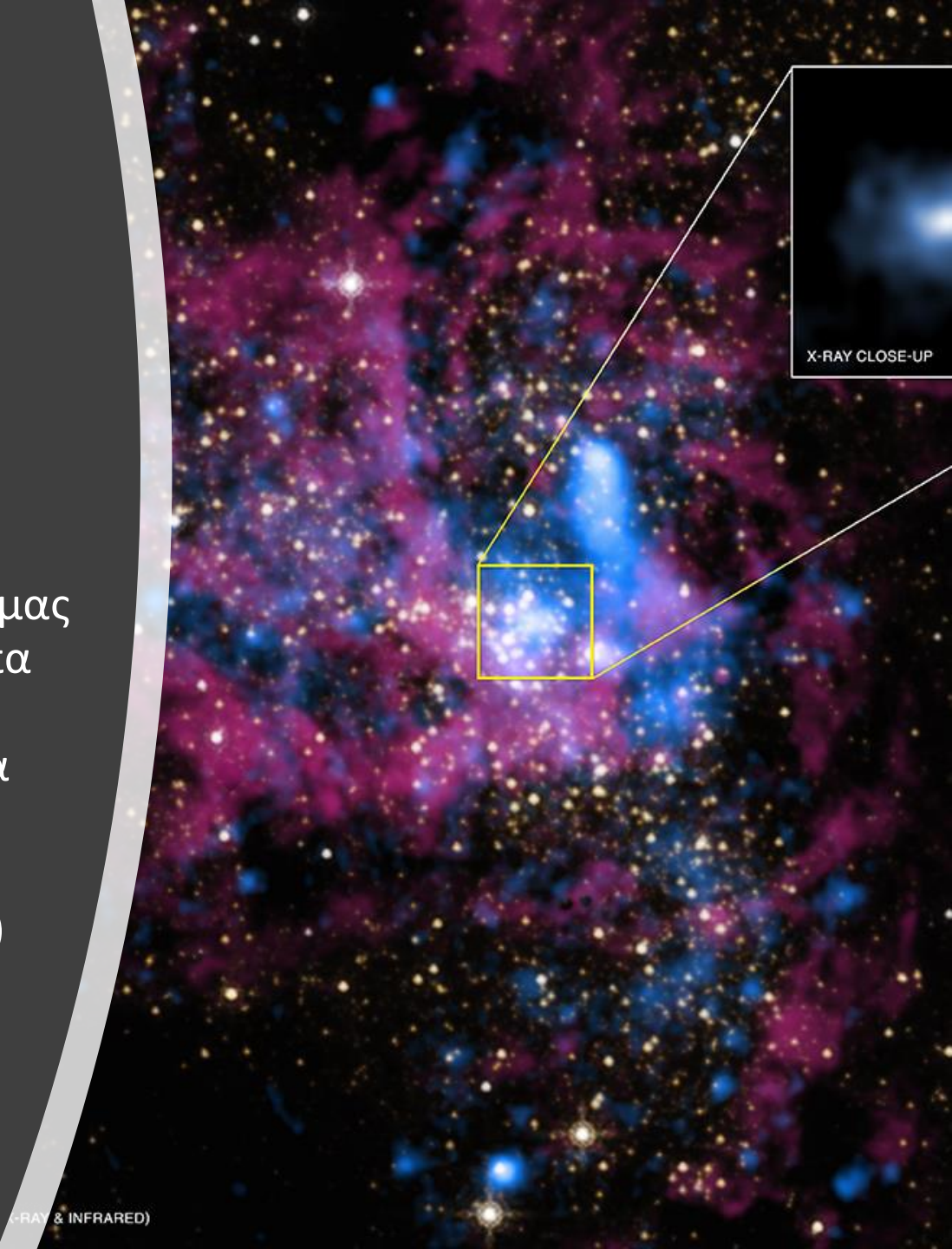


Η μαύρη τρύπα του γαλαξία μας

Κεντρική περιοχή του γαλαξία μας
→ Μια υπέρογκη Μαύρη Τρύπα

Ζυγίζει περίπου 4 εκατομμύρια
ηλιακές μάζες

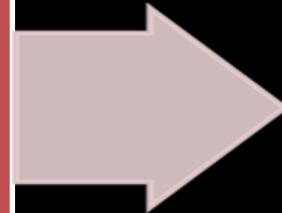
Ονομάζεται Τοξότης A* (SgrA*)



Τροχιά Μαύρης Τρύπας

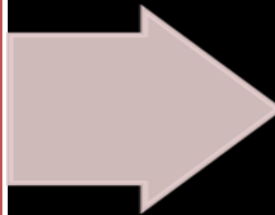
Θεωρητικά μπορούμε να βρισκόμαστε κοντά σε μια μαύρη τρύπα χωρίς να πέσουμε μέσα σε αυτή.

Πολύ
μικρή
ταχύτητα



Θα
πέφταμε
μέσα σε
αυτή

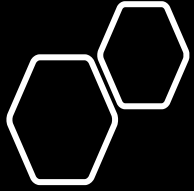
Πολύ
μεγάλη
ταχύτητα



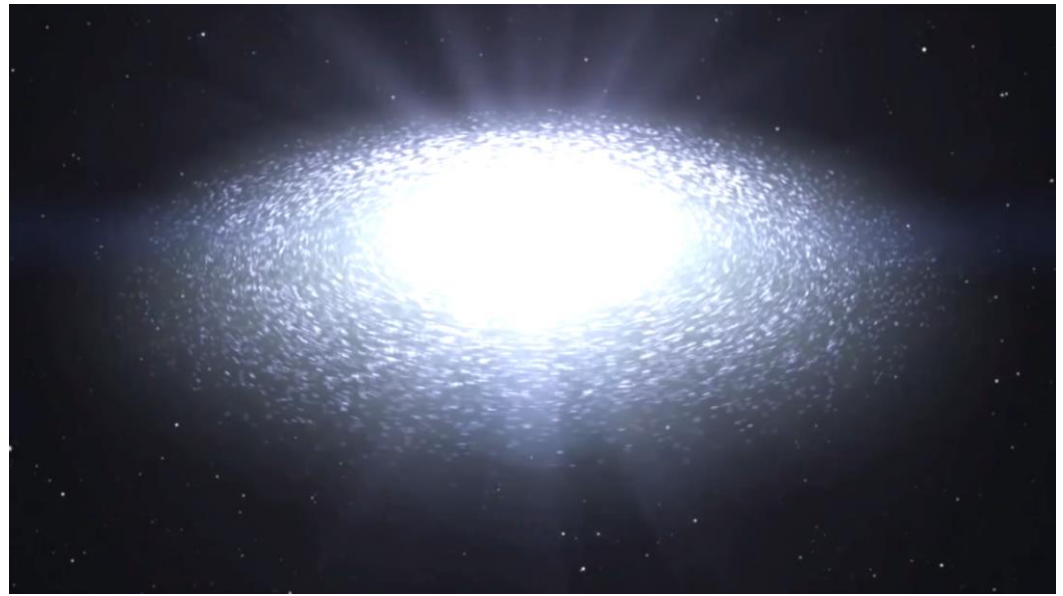
Θα
εκτροχιαζόμασταν

Με ενδιάμεσες ταχύτητες
θα περιστρεφόμασταν
γύρω από την μαύρη τρύπα
σε μια απόσταση.

Η απόσταση αυτή →
Σφαίρα Φωτονίων



Dopplershift



Το μήκος κύματος εκπομπής ενός σώματος με μη μηδενική ταχύτητα αυξομειώνεται

Αν το αντικείμενο απομακρύνεται → Μήκος κύματος μειώνεται

Αν το αντικείμενο πλησιάζει → Μήκος κύματος αυξάνεται

Μετατόπιση Doppler

Διαστρέβλωση χρόνου

Albert Einstein

1925 → Το βαρυτικό πεδίο που παράγει σώμα τεράστιας μάζας θα επιβραδύνει τον χρόνο γύρω του

Stephen Hawking

Επιβεβαίωσε την επιβράδυνση του χρόνου γύρω από μια μαύρη τρύπα
Η διαστρέβλωση του χρόνου θα εντεινόταν μέχρι τον ορίζοντα γεγονότων → Σταματάει οριστικά.

Τύπος διαστολής του χρόνου

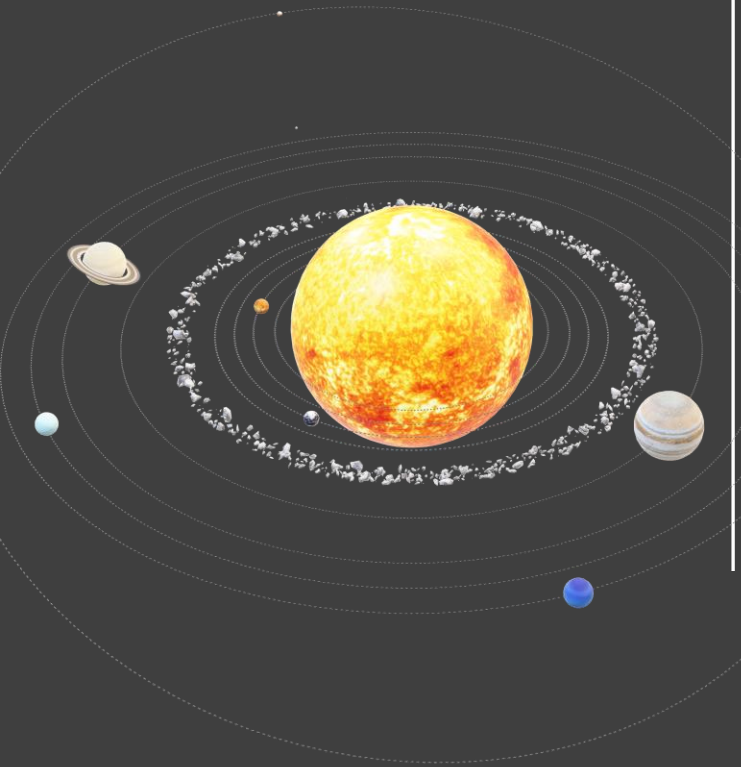
$$T^2 = t^2 / 1 - (r_s / r)$$

T = ο χρόνος που μετρίεται από κάποιον που βρίσκεται κοντά σε μια μαύρη τρύπα.

t = ο χρόνος που μετρίεται από κάποιον που βρίσκεται στη Γη.

r_s = Ακτίνα Schwarzschild

Περιστρεφόμενες Μαύρες Τρύπες



Πλανήτες, αστέρια και γαλαξίες
περιστρέφονται.

Μια περιστρεφόμενη μαύρη τρύπα
είναι η λύση της εξίσωσης πεδίου του
Αϊνστάιν → Roy Kerr

Σε μια περιστρεφόμενη μαύρη τρύπα
η εργόσφαιρα συνδέεται με το
σταθερό όριο → αναγκάζοντας
στατικά σωματίδια να κινούνται με
την ταχύτητα του φωτός.

Πέφτοντας μέσα σε μια μαύρη τρύπα

Ένα από τα ερωτήματα που μαστίζει την επιστημονική κοινότητα: Τι θα γινόταν αν κάποιος έπεφτε σε μια από αυτές τις κοσμικές εκτροπές;

Πλησιάζοντας τον ορίζοντα γεγονότων → επιταχύνεται

Τύπος υπολογισμού επιτάχυνσης:
 $a = 2GMd/R^3$

Όπου a η παλιρροιακή επιτάχυνση που δέχεται ένα σώμα μήκους d
 M η μάζα του πλανήτη / μαύρης τρύπας και G η βαρυτική σταθερά.

Πέφτοντας μέσα σε μια μαύρη τρύπα

Για τον παρατηρητή το άτομο
γίνεται στάχτη μόλις φτάσει
στον ορίζοντα γεγονότων

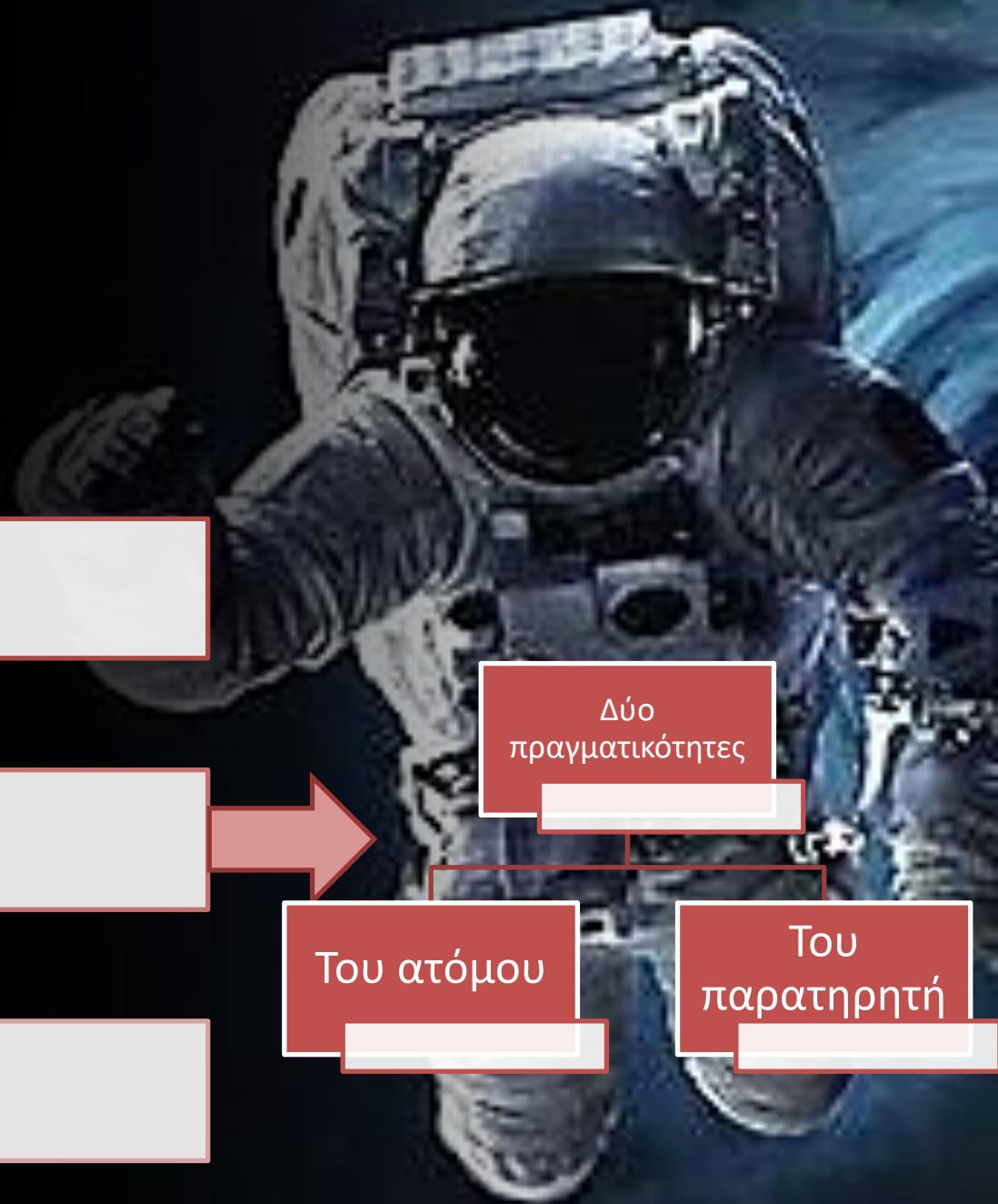
Για το άτομο δεν υπάρχει
ορίζοντας

Σε μια υπέρογκη μαύρη τρύπα το
άτομο θα ζούσε κανονικά πριν
πεθάνει στην μοναδικότητα

Δύο
πραγματικότητες

Του ατόμου

Του
παρατηρητή



Πέφτοντας μέσα σε μια μαύρη τρύπα

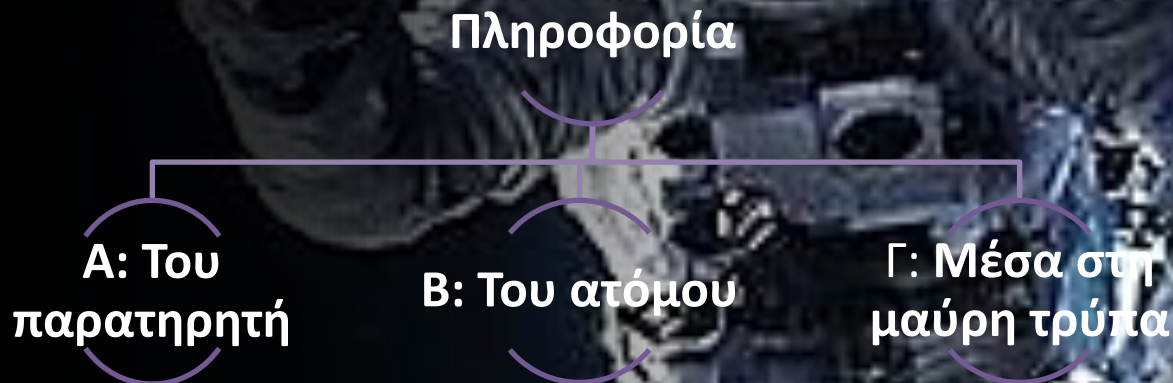
Τύπος υπολογισμού
ταχύτητας:
 $V = \sqrt{2GM/R}$

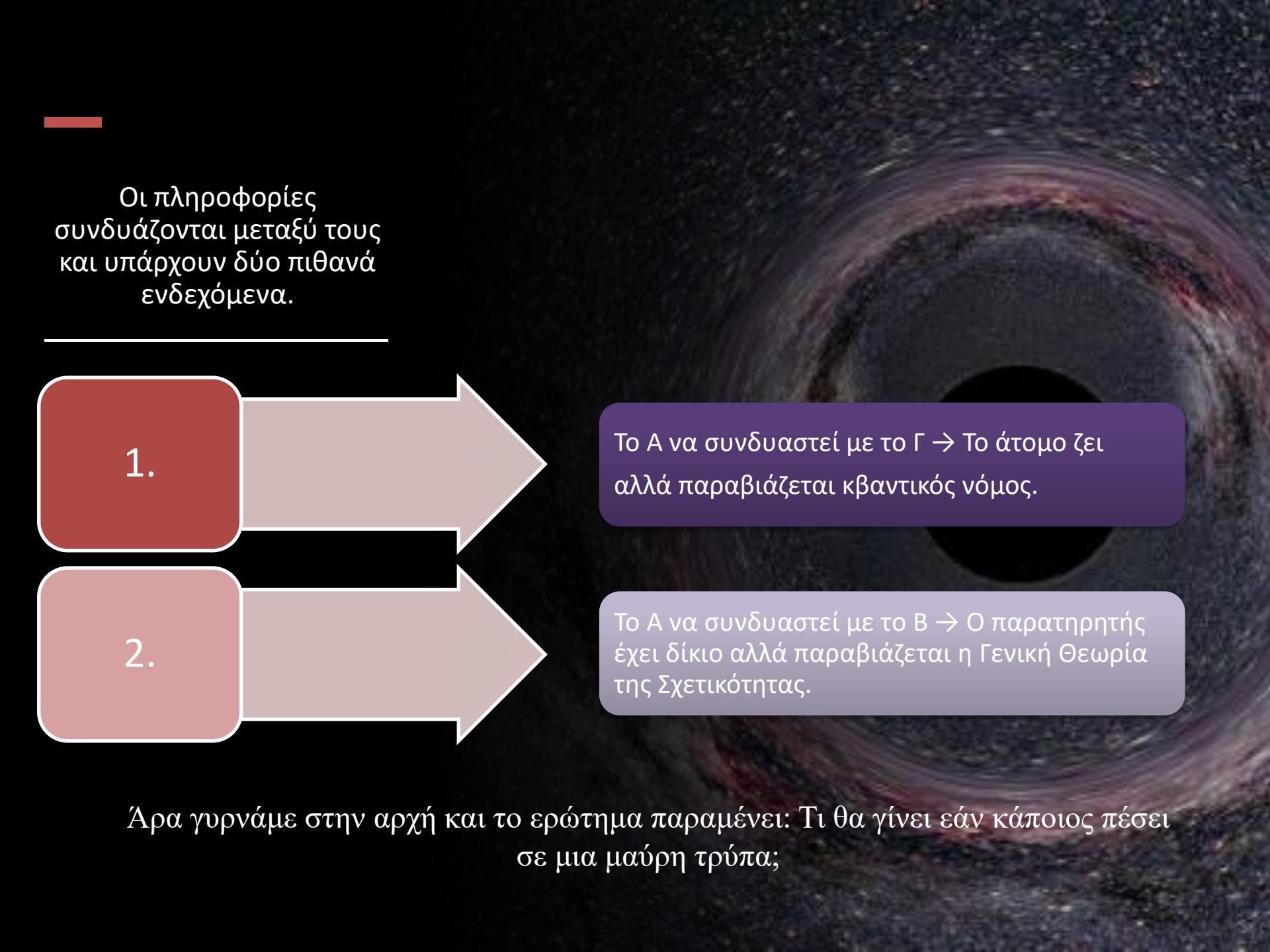
Όπου: m είναι η μάζα του
σώματος που πέφτει.

M η μάζα του σώματος
(πλανήτη, μαύρης τρύπας)

R η απόσταση των δύο
σωμάτων σε ένα
συγκεκριμένο σημείο

Και G η βαρυτική σταθερά
η οποία είναι ίση με
 $6.673 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$





Οι πληροφορίες
συνδυάζονται μεταξύ τους
και υπάρχουν δύο πιθανά
ενδεχόμενα.

1.

Το Α να συνδυαστεί με το Γ $\rightarrow$ Το άτομο ζει
αλλά παραβιάζεται κβαντικός νόμος.

2.

Το Α να συνδυαστεί με το Β $\rightarrow$ Ο παρατηρητής
έχει δίκιο αλλά παραβιάζεται η Γενική Θεωρία
της Σχετικότητας.

Άρα γυρνάμε στην αρχή και το ερώτημα παραμένει: Τι θα γίνει εάν κάποιος πέσει
σε μια μαύρη τρύπα;



Ευχαριστούμε για
τον χρόνο σας

