

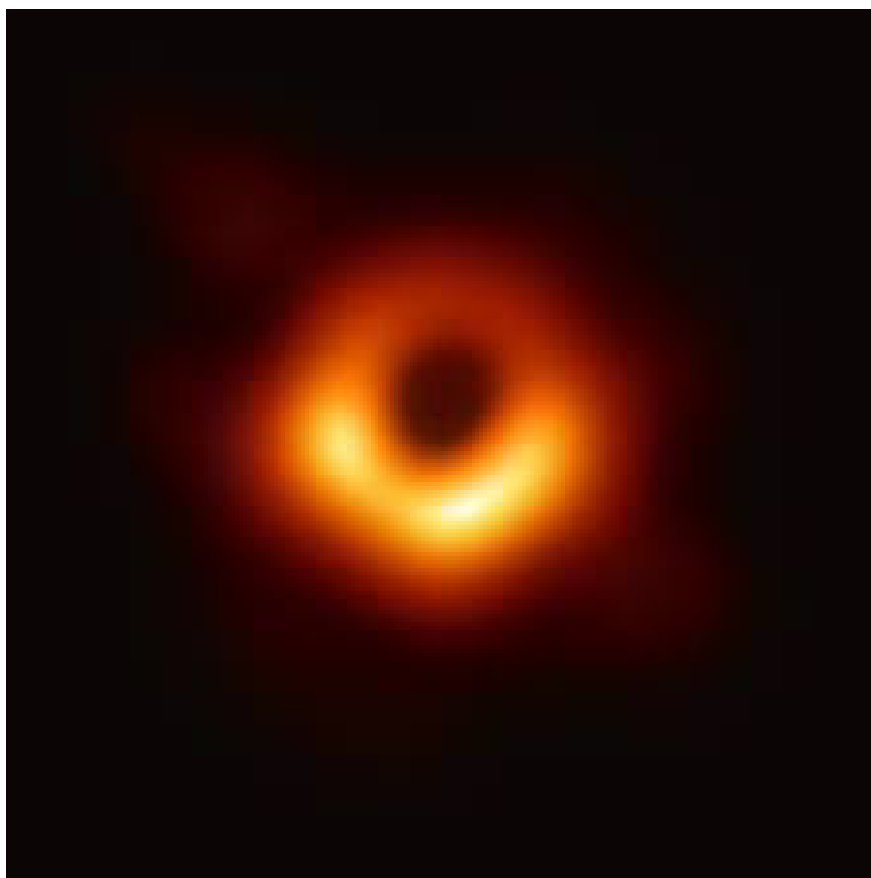


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΦΥΣΙΚΗ Ι

ΜΑΥΡΕΣ ΤΡΥΠΕΣ



ΦΥΣΙΚΗ Ι

ΕΞΑΜΗΝΟ 1^ο

ΑΝΤΩΝΗΣ ΑΛΙΦΕΡΗΣ

mm20027

ΒΑΣΙΛΙΚΗ ΑΡΒΑΝΙΤΗ

mm20056

ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΟ ΕΤΟΣ: 2020 - 2021

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Εισαγωγή.....	4
Κεφάλαιο 1: Βασικές έννοιες και περιγραφή της φύσης των μαύρων τρυπών.....	5
Υποκεφάλαιο 1.1: Σύντομη εισαγωγή στις μαύρες τρύπες.....	5
Υποκεφάλαιο 1.2: Δημιουργία.....	5
Υποκεφάλαιο 1.3: Περιγραφή.....	6
Υποκεφάλαιο 1.4: Δίσκος Προσαύξησης	7
1.4.1: Λαμπρότητα.....	7
1.4.2: Θερμοκρασία	8
1.4.3: Μέγιστη εκπομπή.....	9
Κεφάλαιο 2: Άλλα σώματα ως μαύρες τρύπες.....	10
Κεφάλαιο 3: Μέγεθος και μάζα μαύρων τρυπών.....	11
Υποκεφάλαιο 3.1: Γενικά.....	11
Υποκεφάλαιο 3.2: Υπέρογκες Μαύρες Τρύπες.....	13
Κεφάλαιο 4: Μερικές Μαύρες Τρύπες.....	15
Υποκεφάλαιο 4.1: Οι κοντινότερες αστρικές μαύρες τρύπες στον ήλιο.....	15
Υποκεφάλαιο 4.2: Η μαύρη τρύπα του γαλαξία μας.....	16
Κεφάλαιο 5: Μερικές ιδιότητες των μαύρων τρυπών.....	17
Υποκεφάλαιο 5.1: Τροχιά μαύρης τρύπας.....	17
Υποκεφάλαιο 5.2: Doppler Shifts.....	17
Υποκεφάλαιο 5.3: Διαστρέβλωση του χρόνου.....	18
Κεφάλαιο 6: Περιστρεφόμενες μαύρες τρύπες.....	19
Κεφάλαιο 7: Ακτινοβολία Hawking – Εξάτμιση.....	20
Κεφάλαιο 8: Πέφτοντας μέσα σε μια μαύρη τρύπα.....	22
Συμπεράσματα.....	26
Βιβλιογραφία.....	27

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία αναλύεται πλήθος φαινομένων και ιδιοτήτων πάνω στην θεματική των μαύρων τρυπών. Περιγράφεται θεωρητικά το μοντέλο και η διάταξή τους, συναρτήσει των μαθηματικών και φυσικών νόμων, οι οποίοι τα διέπουν. Αναφέρονται επιπλέον υποθετικές θεωρήσεις πάνω στο θέμα και ερμηνεύονται σενάρια, όπως η πτώση μέσα σε μια μελανή οπή. Παρατίθενται πίνακες που περιλαμβάνουν στοιχεία για το μέγεθος και την ακτίνα των μαύρων τρυπών, καθώς και πληθώρα εικονικών αναπαραστάσεων των περιγραφόμενων φαινομένων, σε όλο το εύρος της εργασίας. Τέλος, μελετούνται συντόμως θέματα αφ' ενός εκτός των μαύρων τρυπών, αλλά αφ' ετέρου, απαραίτητα για την επεξήγηση της φυσικής τους, όπως η έννοια του χωροχρόνου, το κοσμικό υπόβαθρο μικροκυμάτων και άλλα.

Abstract

In this project, a number of phenomena and properties on the subject of black holes are analyzed. Their model are described theoretically, depending on the mathematical and physical laws that explain them. In addition, hypothetical views on the subject are reported and scenarios such as falling into a black hole are interpreted.

Tables which include data on the size and radius of black holes are reported, as well as a variety of virtual representations of the described phenomena, throughout the whole scope of the report. Last but not least, subjects which may be other than black holes are briefly studied, but on the other hand, they are necessary to explain the physics of them, such as the concept of spacetime, cosmic microwave background and more.

Εισαγωγή

Η συγκεκριμένη ερευνητική εργασία πραγματεύεται την μελέτη των μελανών οπών, ενός από τα πιο διαδεδομένα αντικείμενα έρευνας και μελέτης, που απασχολούν πλήθος φυσικών από όλο τον κόσμο, στη σύγχρονη φυσική.

Η σκέψη για αντικείμενα σαν τις μαύρες τρύπες έγινε αρχικά το 18ο αιώνα από τους Τζον Μίτσελ και Πιερ-Σιμόν Λαπλάς.

Η πρώτη σύγχρονη λύση της γενικής θεωρίας της σχετικότητας που θα μπορούσε να χαρακτηρίσει ως Μαύρη Τρύπα, βρέθηκε από τον Καρλ Σβάρτσιλντ το 1916, ενώ η πρώτη ερμηνεία της ως περιοχή του χώρου από τον οποίο τίποτα δεν μπορεί να αποδράσει εκδόθηκε από τον Ντέιβιντ Φίνκελσταϊν το 1958.

Τον Δεκέμβριο του 1967, ένας μαθητής φέρεται να πρότεινε τη φράση «μαύρη τρύπα» σε μια διάλεξη του Τζον Γουίλερ . Ο Wheeler υιοθέτησε τον όρο για τη συντομία και τη «διαφημιστική αξία», και έπιασε γρήγορα.

Η επιλογή του θέματος έγινε με κριτήριο το ενδιαφέρον που αισθάνεται κανείς όταν μελετά, κατανοεί και περιγράφει φαινόμενα που απέχουν τόσο πολύ από την φυσική της καθημερινότητας (την κλασική μηχανική) που έως τώρα σε σχολικό επίπεδο είχαμε διδαχθεί. Σε Πανεπιστημιακό πλέον επίπεδο, και με αφορμή την εργασία στη φυσική, μας δόθηκε η ευκαιρία να ικανοποιήσουμε την επιθυμία και το ενδιαφέρον μας για τα φαινόμενα αυτά.

Έτσι, η εργασία περιέχει τα βασικά στοιχεία, την θεωρητική περιγραφή και τις πιο σημαντικές θεωρίες γύρω από το φαινόμενο των μαύρων τρυπών.

1 Βασικές έννοιες και περιγραφή της φύσης των μαύρων τρυπών

1.1 Σύντομη εισαγωγή στις μαύρες τρύπες

Στη φυσική, ο χωροχρόνος είναι οποιοδήποτε μαθηματικό μοντέλο που συγχωνεύει τις τρεις διαστάσεις του χώρου και τη μία διάσταση του χρόνου σε μια ενιαία τετραδιάστατη μορφή.

Η θεωρία της γενικής σχετικότητας προβλέπει ότι μια αρκετά συμπαγής μάζα μπορεί να παραμορφώσει το χωροχρόνο σχηματίζοντας μια μαύρη τρύπα.

Μια μαύρη τρύπα είναι μια περιοχή του 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.

1.2 Δημιουργία

Οι μαύρες τρύπες προβλέπονται από την γενική θεωρία της σχετικότητας του Albert Einstein, η οποία αναφέρει ότι μπορούν να υπάρξουν, αλλά προβλέπει και ότι σχηματίζονται στη φύση οποτεδήποτε συγκεντρώνεται σε ένα δεδομένο χώρο επαρκής 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, μέσα στον οποίο ύλη και ενέργεια αναπόφευκτα καταρρέουν σε ένα μοναδικό σημείο, σχηματίζοντας μία βαρυτική μοναδικότητα. Η κρίσιμη ακτίνα όπου η ταχύτητα διαφυγής φτάνει την ταχύτητα του φωτός, δημιουργώντας έτσι μια μαύρη τρύπα, ονομάζεται ακτίνα Σβάρτσιλντ.

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. Μόλις αρχίσει η κατάρρευση, δεν φαίνεται να μπορεί να διακοπεί από καμία φυσική δύναμη και σχηματίζεται αστέρας νετρονίων. Αν η μάζα του είναι ακόμα πιο μεγάλη, τελικά σχηματίζεται μαύρη τρύπα.

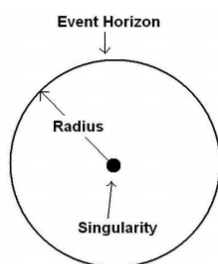
1.3 Περιγραφή

Υλη και πληροφορίες δεν μπορούν να κινηθούν από το εσωτερικό μιας μαύρης τρύπας προς έναν εξωτερικό παρατηρητή. Δηλαδή, δεν μπορεί κάποιος να πάρει δείγμα του υλικού της ή να δεχτεί την ανάκλαση από μια φωτεινή πηγή (π.χ. φακό) ούτε να πάρει πληροφορίες για το υλικό από το οποίο αποτελείται η μαύρη τρύπα.

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. Αυτό σημαίνει ότι στις μαύρες τρύπες γίνεται απώλεια πληροφορίας σε σχέση με το είδος των σωματιδίων (τα μόνα χαρακτηριστικά που διατηρεί η μαύρη τρύπα είναι η μάζα και το φορτίο της απορροφημένης ύλης).

Τα τρία σημαντικότερα μέρη μιας απλής μαύρης τρύπας είναι:

1. Ο Ορίζοντας Γεγονότων – Αποκαλούμενος και ως ακτίνα Schwarzschild: Αποτελεί ένα νοητό όριο στο χωροχρόνο, μέσα από το οποίο η ύλη και το φως μπορούν μόνο να περάσουν 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.
2. Μοναδικότητα – Είναι μια περιοχή του χωροχρόνου, όπου το βαρυτικό πεδίο της μαύρης τρύπας γίνεται άπειρο και έτσι, δεν εξαρτάται από το σύστημα συντεταγμένων. Με άλλα λόγια, εκεί δεν ισχύουν οι νόμοι του συνηθισμένου χωροχρόνου. Βρίσκεται στο κέντρο μιας μαύρης τρύπας και έχει τεράστια πυκνότητα.
3. Εργόσφαιρα: Είναι η περιοχή του χώρου που βρίσκεται έξω από κάθε περιστρεφόμενη μαύρη τρύπα. Σε αυτή την περιοχή θεωρητικά μπορεί να εξαχθεί ύλη και ενέργεια από την μαύρη τρύπα. Η εργόσφαιρα έχει σχήμα πεπλατυσμένου ελλειψοειδούς και εφάπτεται στον ορίζοντα γεγονότων στους πόλους περιστροφής. Εκτείνεται σε μέγιστη απόσταση από τον ορίζοντα γεγονότων επάνω από τον ισημερινό. Η ισημερινή (μέγιστη) ακτίνα της εργόσφαιρας αντιστοιχεί στην ακτίνα Σβάρτσιλντ που θα είχε η ίδια μαύρη τρύπα αν δεν περιστρεφόταν. Η πολική (ελάχιστη) ακτίνα μπορεί να ισούται μέχρι και το μισό της ακτίνας Σβάρτσιλντ.



Πηγή:
https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/black_hole_math.pdf



Πηγή: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Ergosphere_of_a_rotating_black_hole.svg&lang=el

1.4 Δίσκος Προσαύξησης

Πρόκειται για μια δομή η οποία σχηματίζεται από διάχυτο υλικό σε τροχιακή κίνηση γύρω από οποιοδήποτε υπερμεγέθες σώμα, στην συγκεκριμένη περίπτωση, γύρω από μια μαύρη τρύπα. Η βαρύτητα του ελκυστή θέτει το υλικό του δίσκου σε σπειροειδή κίνηση προς το εσωτερικό της σπείρας, προς τον ίδιο τον ελκυστή.

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 X.

1.4.1 Λαμπρότητα

Γνωρίζουμε ότι για ένα κεντρικό αντικείμενο μάζας M , στο οποίο προσπίπτει μάζα με σταθερό ρυθμό $\dot{M}$, η λαμπρότητα του δίσκου δίνεται από τον τύπο:

$$L_{\text{disk}} = \frac{GM\dot{M}}{2R_{\text{in}}} \quad \text{όπου } R_{\text{in}} \text{ η εσωτερική ακτίνα του δίσκου και } G \text{ η σταθερά της παγκόσμιας έλξης.}$$

Από την Γενική θεωρία της Σχετικότητας γνωρίζουμε ότι η λεγόμενη «τελευταία σταθερή τροχιά» ενός αντικειμένου γύρω από μία μελανή οπή ισούται με τρεις φορές την ακτίνα Σβάρτσιλντ της.

⇒ Αντικαθιστώντας όπου R_{in} το τριπλάσιο της έκφρασης της ακτίνας Σβάρτσιλντ μελανής οπής μάζας M , βρίσκουμε ότι:

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

Η παραπάνω εξίσωση έχει ιδιαίτερη σημασία, καθώς μας πληροφορεί ότι η αποδοτικότητα του μηχανισμού προσαύξησης σε μελανές οπές είναι της τάξης του $1/12 \approx 0.10$.

Αυτό σημαίνει οτιτο 10% περίπου μάζας που προσπίπτει στη μελανή οπή απελευθερώνεται υπό τη μορφή βαρυτικής ενέργειας η οποία στη συνέχεια ακτινοβολείται από το δίσκο. Ο μηχανισμός αυτός είναι εξαιρετικά αποδοτικός σε σχέση με τις θερμοπυρηνικές αντιδράσεις στα κέντρα αστερών, οι οποίες είναι της τάξης του 0.7%.

1.4.2 Θερμοκρασία

Μας δίνεται επίσης η δυνατότητα να υπολογίσουμε την θερμοκρασία του δίσκου σε δεδομένη απόσταση R από την κεντρική πηγή. Σύμφωνα με τον τύπο:

$$T(R) = \left(\frac{3GM\dot{M}}{8\pi\sigma R^3} \right)^{1/4} \left[1 - \left(\frac{R_{\text{in}}}{R} \right)^{1/2} \right]^{1/4}$$

Όπου σ η σταθερά Στέφαν-Μπόλτςμαν.

Για να υπολογίσουμε τη μέγιστη θερμοκρασία του δίσκου, παραγωγίζουμε τη συνάρτηση της θερμοκρασίας που δόθηκε προηγουμένως ως προς την ακτίνα R για να βρούμε την ακτίνα R_0 στην οποία ο δίσκος παρουσιάζει μέγιστη θερμοκρασία.

Τελικά βρίσκουμε ότι:

$$R_0 = \frac{9}{4} R_{\text{in}}$$

Οπότε με αντικατάσταση στην εξίσωση της θερμοκρασίας τελικά προκύπτει ότι $T_{\text{max}} \simeq 0.414 T_{\text{disc}}$, όπου:

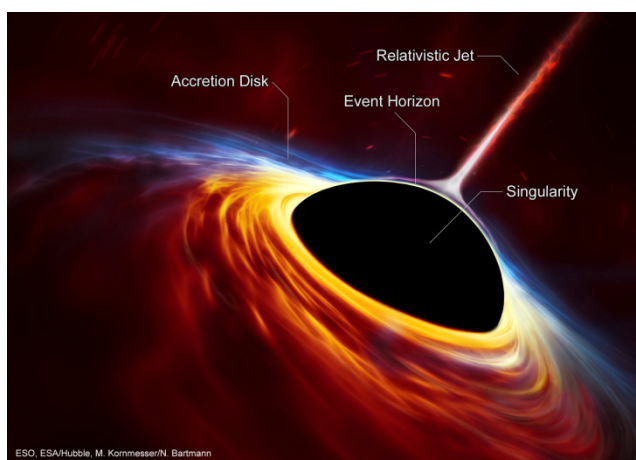
$$T_{\text{disc}} = \left(\frac{3GM\dot{M}}{8\pi\sigma R_{\text{in}}^3} \right)^{1/4}$$

1.4.3 Μέγιστη εκπομπή

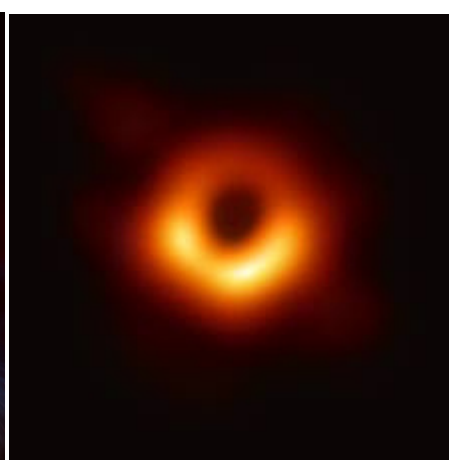
Μπορούμε θεωρητικά να υπολογίσουμε σε ποιο μήκος κύματος θα εκπέμπει ο δίσκος προσάυξης το μέγιστό του. Για να το καταφέρουμε, αρκεί να βρούμε ποια είναι η μέγιστη θερμοκρασία του δίσκου, όπως βρήκαμε παραπάνω και στη συνέχεια μπορούμε να υπολογίσουμε το μήκος κύματος μέσω του νόμου του Wien.

$$\lambda_{\text{peak}} = \frac{b}{T}$$

Όπου T είναι η απόλυτη θερμοκρασία και βείναι η λεγόμενη σταθερά μετατόπισης Wien $\approx 2898 \mu\text{m} \cdot \text{K}$.



Πηγή: https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fchandra.harvard.edu%2Fblog%2Fnode%2F737&psig=AOvVaw1-h2eos0BHNNU3U12_q0oc&ust=1610483226672000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCIjmydzblO4CFQAAAAAdAAAAABAM



The supermassive black hole at the core of supergiant elliptical galaxy Messier 87, with a mass about 7 billion times that of the Sun, as depicted in the first false-colour image in radio waves released by the Event Horizon Telescope (10 April 2019)

Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Black_hole_-_Messier_87_crop_max_res.jpg

2 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.

Αν ήταν εφικτό να συμπυκνωθεί ολόκληρη η Γη σε μια ακτίνα 0,9 εκατοστών, (δηλαδή στο μέγεθος ενός κερασιού), θα είχε μετατραπεί σε μαύρη τρύπα.



Παρομοίως, αν ο Ήλιος συμπυκνώνονταν σε μια ακτίνα 3 χιλιομέτρων (στα 4 εκατομμυριοστά του τωρινού του μεγέθους), θα είχε μετατραπεί σε μαύρη τρύπα.

Φυσικά, δεν υπάρχει καμία γνωστή αστρονομική διαδικασία που θα μπορούσε να μετατρέψει τη Γη ή ακόμα και τον Ήλιο, σε μαύρη τρύπα.

ΟΕρμής είναι μια μαύρη τρύπα ακτίνας 0.5 mm.

ΗΑφροδίτηείναι μια μαύρη τρύπα ακτίνας 7 mm.

ΗΓηείναι μια μαύρη τρύπα ακτίνας 9mm.

Τοφεγγάριείναι μια μαύρη τρύπα ακτίνας 0.1mm.

Ο Άρηςείναι μια μαύρη τρύπα ακτίνας 1.0 mm.

ΟΠλούτωναςείναι μια μαύρη τρύπα ακτίνας 0.02mm

- Οι μεγάλοι πλανήτες χρειάζονται πολύ μεγαλύτερες ακτίνες, ώστε να γίνουν μαύρες τρύπες:

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 13cm

Ο Ποσειδώνας είναι μια μαύρη τρύπα ακτίνας 15 cm

3 Μέγεθος και μάζα μαύρων τρυπών

3.1 Γενικά

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να περιγράψει κανείς πόσο <<μεγάλο>> είναι κάτι. Ο πρώτος είναι μέσω της μάζας του (πόση ύλη περιέχει) και ο δεύτερος μέσω του όγκου του (πόσο χώρο καταλαμβάνει). Ωστόσο, στην περίπτωση των μελανών οπών, η ακτίνα Schwarzschild εξαρτάται άμεσα από την μάζα του σώματος, οπότε για να περιγραφεί το μέγεθος μιας μαύρης τρύπας αρκεί να απαντηθεί σύμφωνα με τη μάζα της.

Ακτίνα Schwarzschild:

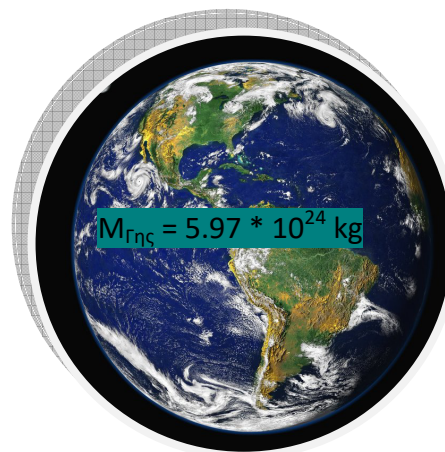
$$r_s = \frac{2GM}{c^2}$$

Όπου το G είναι η σταθερά βαρύτητας, το M είναι η μάζα του αντικειμένου και το c είναι η ταχύτητα του φωτός.

Διαφορετικοί τύποι μελανών οπών έχουν κατά πολύ διαφορετικές μάζες:

- i. Οι αστρικές μαύρες τρύπες κυμαίνονται συνήθως από 10 έως 100 ηλιακές μάζες.
- ii. Οι υπερμεγέθεις μαύρες τρύπες στα κέντρα των γαλαξιών μπορούν να είναι εκατομμύρια ή δισεκατομμύρια ηλιακές μάζες.
- iii. Επειδή υπάρχει ένα τόσο μεγάλο άλμα στα μεγέθη, μεταξύ αστρικών μαζών και υπερμεγέθων μαύρων οπών, έχει υποτεθεί ότι υπάρχει και μια κατηγορία ενδιάμεσης μάζας. Οι μαύρες τρύπες αυτές θα ήταν εκατοντάδες ή χιλιάδες ηλιακές μάζες. Υπάρχουν μερικές υποψήφιες μαύρες τρύπες ενδιάμεσης μάζας, όπως η HLX-1, η οποία εκτιμάται ότι είναι 20.000 ηλιακές μάζες.
- iv. 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. Αλλά οι μαύρες τρύπες εξατμίζονται μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται Hawking Radiation. Το πόσο γρήγορα εξατμίζεται μια μαύρη τρύπα εξαρτάται από τη μάζα της: όσο λιγότερη μάζα έχει μια μαύρη τρύπα, τόσο πιο γρήγορα εξατμίζεται. Για να έχει διατηρηθεί μια αρχέγονη μαύρη τρύπα μέχρι σήμερα, θα έπρεπε να περιέχει μερικά δισεκατομμύρια τόνους μάζας, με ακτίνα συγκρίσιμη με εκείνη ενός ατομικού πυρήνα.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι μάζες μερικών υποθετικών μαύρων τρυπών συγκριτικά με την ακτίνα τους. Οι μάζες του πίνακα είναι πολλαπλάσια της μάζας της Γης, πχ. το 2.0 σημαίνει δύο φορές η μάζα της Γης.



<u>Μάζα</u>	<u>Ακτίνα</u>
1.0	0.88 cm
2.0	1.76 cm
3.2	2.82 cm
5.0	4.40 cm
7.5	6.60 cm
8.7	7.76 cm
11.0	9.68 cm

3.2 Υπέρογκες Μαύρες Τρύπες (Supermassive Black Holes)

Οι υπερμεγέθεις μαύρες τρύπες, όπως φανερώνει και το όνομά τους, περιέχουν περίπου ένα εκατομμύριο με ένα δισεκατομμύριο φορές περισσότερη μάζα από τις τυπικές αστρικές μαύρες τρύπες. Παρά το γεγονός ότι είναι πολύ δύσκολο να επιβεβαιώσουμε την ύπαρξή τους, αφού βρίσκονται αρκετά μακριά για να παρατηρηθούν, επικρατεί η άποψη ότι υπάρχουν στο κέντρο των περισσότερων μεγάλων γαλαξιών, συμπεριλαμβανομένου και του δικού μας.

Για πάρα πολλά χρόνια, οι αστρονόμοι είχαν μόνο έμμεσες αποδείξεις για την ύπαρξη υπερμεγεθών μαύρων τρυπών, η ποιο αδιάσειστη από της οποίες ήταν η ύπαρξη κβάζαρ σε απομακρυσμένους ενεργούς γαλαξίες.

Πιο πρόσφατα, άμεσες πλέον αποδείξεις για την ύπαρξη υπέρογκων μαύρων τρυπών προέρχονται από παρατηρήσεις υλικού σε τροχιά γύρω από τα κέντρα των γαλαξιών. Οι υψηλές τροχιακές ταχύτητες αυτών των άστρων και του αερίου εξηγούνται εύκολα εάν επιταχύνονται από ένα τεράστιο αντικείμενο με ένα ισχυρό βαρυτικό πεδίο που περιέχεται σε μια μικρή περιοχή του διαστήματος - δηλαδή μια υπέρογκη μαύρη τρύπα.



Πηγή: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.space.com%2Fhow-supermassive-black-holes-get-so-big.html&psig=AOvVaw0zmc7jYJ5DBivsYFhEK45b&ust=1610487087765000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxxFwoTCPi01YzqlO4CFQAAAAAdAAAAABAD>

Οι αστρονόμοι δεν είναι ακόμη σίγουροι για τον τρόπο με τον οποίο οι υπέρογκες μαύρες τρύπες σχηματίζονται. Οι αστρικές μαύρες τρύπες είναι το αποτέλεσμα της κατάρρευσης τεράστιων αστέρων. Με τον ίδιο τρόπο, πολλοί επιστήμονες υποστηρίζουν ότι αυτές οι υπερμεγέθεις μαύρες τρύπες σχηματίστηκαν από την κατάρρευση τεράστιων σύννεφων αερίου στο πρώιμο στάδιο σχηματισμού του γαλαξία.

Μια άλλη ιδέα είναι ότι οι αστρικές μαύρες τρύπες καταναλώνουν τεράστια ποσά ύλης κατά την διάρκεια εκατομμυρίων χρόνων, με αποτέλεσμα να αυξάνουν τον όγκο τους όσο είναι αυτός των υπέρογκων μαύρων τρυπών.

Ακόμη πιθανή σαν εξήγηση είναι η υπόθεση ότι ένα σύμπλεγμα αστρικών μαύρων τρυπών τελικά συγχωνεύεται σε μια υπέρογκη μαύρη τρύπα.

Ανεξάρτητα όμως από τον τρόπο σχηματισμού τους, οι περισσότεροι αστρονόμοι συμφωνούν ότι η συσσώρευση υλικού πάνω στην υπερμεγέθη μαύρη τρύπα οδηγεί τόσο σε ενεργούς γαλαξιακούς πυρήνες, όσο και σε γαλαξιακούς πίδακες.²

Μέσα στους πυκνούς πυρήνες των περισσότερων γαλαξιών παραμονεύουν μαύρες τρύπες που έχουν αναπτυχθεί σε υπέρογκα αντικείμενα που περιέχουν εκατομμύρια φορές την μάζα μιας αστρικής μαύρης τρύπας. Μερικοί γαλαξίες έχουν δύο ή ακόμη και τρεις από αυτές τις μαύρες τρύπες αλλά η πλειονότητα έχει μόνο μία.

Οι μαύρες τρύπες είναι πολύ πιθανό να μην χάσουν ποτέ μάζα. Κερδίζουν σταθερά μάζα κατά την διάρκεια χιλιετιών καταναλώνοντας διαστρικό αέριο ή ακόμη και ολόκληρα αστέρια που είναι αρκετά άτυχα για να παγιδευτούν από την κολοσσιαία βαρύτητά τους.

2 Μια ερμηνεία για το σχηματισμό γαλαξιακών πιδάκων, είναι μιαύρη τρύπα να συσφίγγει τα μαγνητικά πεδία του δίσκου προσαύξησης με αποτέλεσμα τα φορτισμένα σωματίδια του δίσκου να επιταχύνονται και να εκτοξεύονται σε σχετιστικές ταχύτητες ακτινοβολώντας.

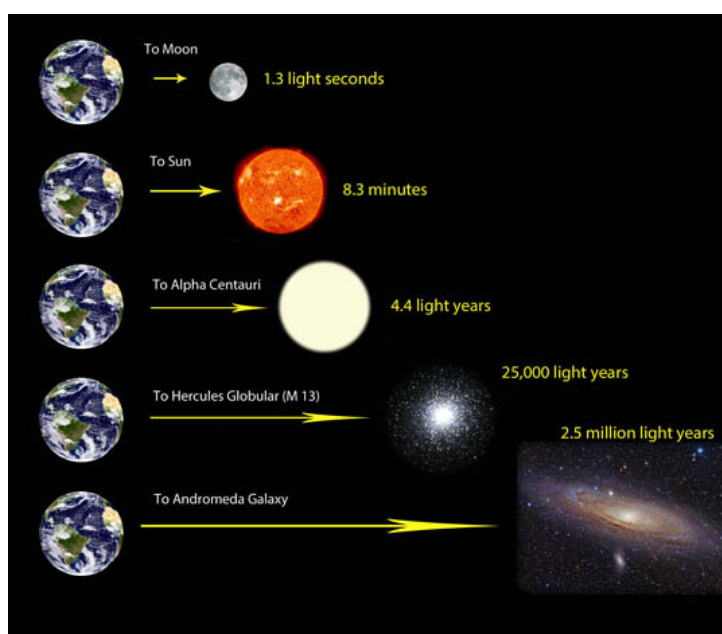
4 Μερικές μαύρες τρύπες

4.1 Οι κοντινότερες αστρικές μαύρες τρύπες στον ήλιο

Η δημιουργία μαύρων τρυπών, όπως αναλύθηκε παραπάνω, είναι σπάνιο φαινόμενο στη μεριά του γαλαξία που βρίσκεται η Γη. Συνεπώς, γίνεται σαφές ότι οι κοντινότερες μαύρες τρύπες απέχουν πολύ από τον πλανήτη μας.

Παρακάτω παραδίδονται οι 7 κοντινότερες μαύρες τρύπες, όπου οι μάζες τους είναι πολλαπλάσια της μάζας του ήλιου και οι συντεταγμένες τους είναι μετρημένες σε έτη φωτός, όπου ένα έτος φωτός = 9.4607 τρισεκατομμύρια χιλιόμετρα.

Name	Mass	X	Y
A) Cygnus X-1	16	6600	-2400
B) SS-433	11	8000	-14000
C) Nova Monocerotis 1975	11	-1400	2400
D) Nova Persi 1992	5	5600	3300
E) IL Lupi	9	6500	-11000
F) Nova Vulpeculi 1988	8	2200	-6100
G) V404 Cygni	12	6900	-4000



Πηγή: <https://earthsky.org/upl/2016/07/light-year-scale-Bob-King.jpg>

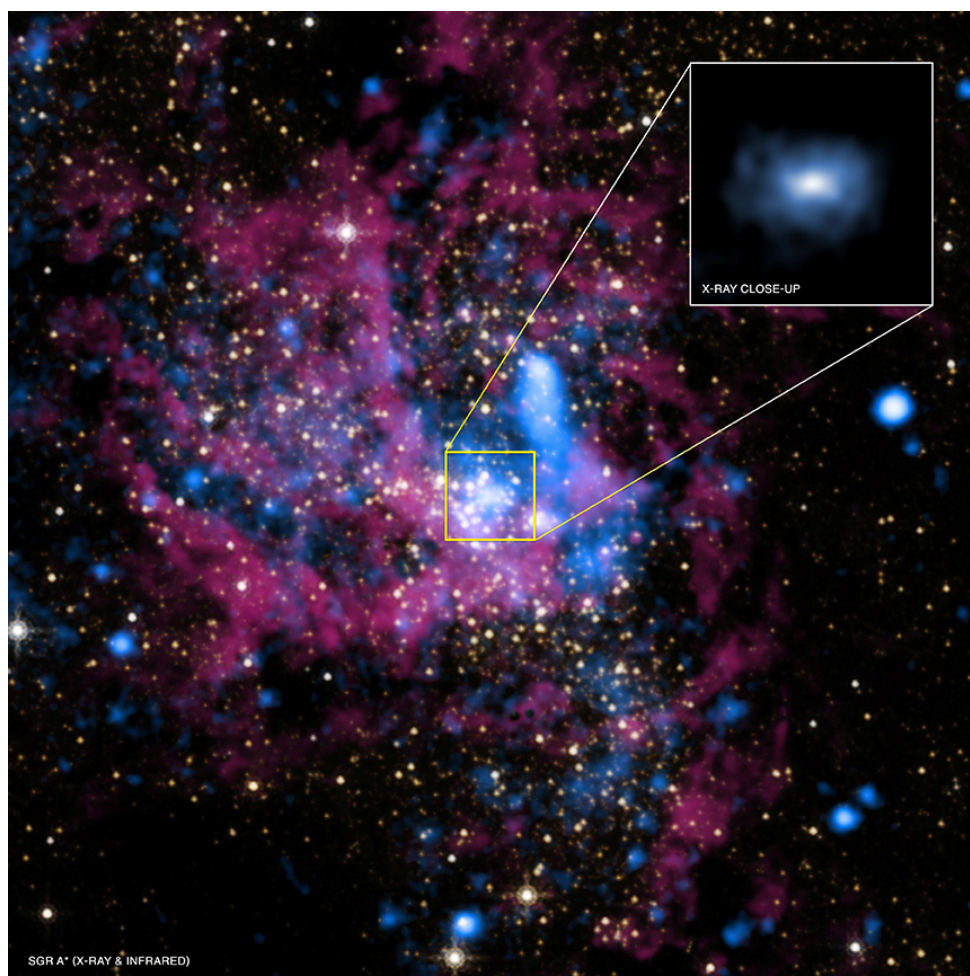
4.2 Η Μαύρη τρύπα του γαλαξία μας

Το γαλαξιακό κέντρο είναι το σημείο γύρω από το οποίο περιστρέφεται ο γαλαξίας μας. Το γαλαξιακό κέντρο βρίσκεται περίπου 24.000 έτη φωτός από το Ηλιακό Σύστημα, αλλά δεν είναι ορατό στο οπτικό φως λόγω της βαριάς συσκότισης από διαστρικούς κόκκους σκόνης κατά μήκος της γραμμής όρασης.

Είναι όμως παρατηρήσιμο σε μήκη κύματος στα οποία δεν επηρεάζονται από την σκόνη, κυρίως υπέρυθρες, ραδιοκύματα και ακτίνες Χ. Η κεντρική περιοχή του γαλαξία μας περιέχει μια εξωτική συλλογή αντικειμένων συμπεριλαμβανομένου μιας υπέρογκης μαύρης τρύπας, η οποία ζυγίζει περίπου τέσσερις εκατομμύρια φορές τη μάζα του Ήλιου και ονομάζεται Τοξότης A* (SgrA*).

Η ιδέα αυτή έχει αποκτήσει τεράστια δύναμη μέσω πρόσφατων υπέρυθρων παρατηρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν για να σχεδιάσουν τις τροχιές από αστέρια που βρίσκονται λίγες ώρες φωτός από το γαλαξιακό κέντρο. Διαπιστώθηκε ότι αυτά τα αστέρια έχουν πολύ σφιχτές και γρήγορες τροχιές Κέπλερ γύρω από ένα αντικείμενο περίπου τέσσερις εκατομμύρια ηλιακές μάζες.

Τα τροχιακά χαρακτηριστικά αυτών των άστρων εξηγούνται μόνο από την ύπαρξη μια υπέρογκης μαύρης τρύπας, παρόμοιας με αυτές που έχουν παρατηρηθεί στα κέντρα άλλων γαλαξιών.



5 Μερικές Ιδιότητες των μαύρων τρυπών

5.1 Τροχιά Μαύρης Τρύπας

Θεωρητικά είναι δυνατό να βρισκόμαστε κοντά σε μια μαύρη τρύπα χωρίς να πέσουμε μέσα, υπό την προϋπόθεση όμως ότι κινούμαστε πολύ γρήγορα. Με ακριβώς αυτόν τον τρόπο δουλεύει και το ηλιακό μας σύστημα.

Η Γη δεν πέφτει επάνω στον Ήλιο, διότι κινούμαστε γύρω από αυτόν με ταχύτητα περίπου 110.000 χιλιόμετρα την ώρα. Οι τροχιές όμως κοντά σε μια μαύρη τρύπα μπορεί να έχουν διάφορα ενδιαφέροντα σχήματα, ενώ στο ηλιακό σύστημα οι τροχιές των πλανητών είναι πάντα ελλειπτικές, έως και σχεδόν κυκλικές.

Ας υποθέσουμε ότι βρισκόμαστε με ένα διαστημόπλοιο κοντά σε μια μαύρη τρύπα. Εάν ξεκινήσουμε με πολύ μικρή ταχύτητα, τότε σίγουρα θα πέσουμε μέσα σε αυτήν. Από την άλλη μεριά, εάν ξεκινήσουμε με πολύ μεγάλη ταχύτητα θα εκτροχιαστούμε σε πολύ μακρινή απόσταση. Συνεπώς μπορούμε να φανταστούμε ότι με ενδιάμεσες ταχύτητες θα μπορούσαμε να περιφερόμαστε γύρω από μια μαύρη τρύπα σε μια συγκεκριμένη απόσταση και σε ένα περίπλοκο μοτίβο. Η απόσταση αυτή ονομάζεται σφαίρα φωτονίων.

Είναι η περιοχή γύρω από την μαύρη τρύπα όπου η βαρύτητα είναι τόσο ισχυρή που τα φωτόνια αναγκάζονται να ταξιδέψουν σε τροχιές. Η σφαίρα φωτονίων βρίσκεται πιο μακριά από το κέντρο της μαύρης τρύπας απ' ό,τι ο ορίζοντας γεγονότων. Από τον τρόπο με τον οποίο ορίσαμε την σφαίρα φωτονίων γίνεται κατανοητό ότι η ύπαρξη της δεν υφίσταται πουθενά αλλού στο διάστημα, αφού υπάρχει μόνο γύρω από υπέρπυκνα αντικείμενα.

5.2 Doppler shifts

Όταν ένα σώμα που εκπέμπει ακτινοβολία έχει μη μηδενική ακτινική ταχύτητα σε σχέση με έναν παρατηρητή, το μήκος κύματος της εκπομπής θα μειωθεί ή θα επιμηκυνθεί, ανάλογα με το αν το σώμα κινείται προς ή μακριά από τον παρατηρητή. Αυτή η αλλαγή στο παρατηρούμενο μήκος κύματος, ή συχνότητα, είναι γνωστή ως μετατόπιση Doppler.

Εάν το αντικείμενο κινείται προς έναν παρατηρητή, τότε η εκπομπή θα μετατοπιστεί με μπλε μετατόπιση, δηλαδή το μήκος κύματος της εκπομπής θα μειωθεί, μετακινώντας το προς το μπλε άκρο του φάσματος. Εάν το αντικείμενο απομακρύνεται από έναν παρατηρητή, τότε η εκπομπή θα μετατοπιστεί εκ νέου, δηλαδή το μήκος κύματος της εκπομπής θα αυξηθεί, μετακινώντας το προς το κόκκινο άκρο του φάσματος.

Μια μετατόπιση Doppler παρατηρείται σε πολλά αστρονομικά αντικείμενα, ιδιαίτερα σε δυαδικά ή πολλαπλά συστήματα, όπου ένα ή περισσότερα αντικείμενα βρίσκονται σε τροχιά μεταξύ τους, όπως ακριβώς συμβαίνει και στην περίπτωση των μαύρων τρυπών.

5.3 Διαστρέβλωση του χρόνου

Ο Αϊνστάιν δέκα χρόνια μετά την θεωρία της Ειδικής Σχετικότητας όπου απομυθοποίησε το μύθο της αμετάβλητης φύσης του χρόνου, επανέλαβε το κατόρθωμα με τη θεωρία της Γενικής Σχετικότητας, προβλέποντας το 1915 ότι όπως η ταχύτητα, το βαρυτικό πεδίο που παράγεται από ένα τεράστιο σώμα θα επιβραδύνει τον χρόνο γύρω του. Όσο ισχυρότερο είναι το βαρυτικό πεδίο, τόσο μεγαλύτερη είναι η διαστρέβλωση του χρόνου. Μια μαύρη τρύπα είναι μια ακραία περίπτωση με την έννοια ότι στη μοναδικότητά της προκαλεί άπειρη καμπυλότητα στο χωροχρόνο, εμποδίζοντας μέχρι και το φως να διαφύγει.

Μόλις τα σωματίδια και οι ακτίνες φωτός περάσουν τον ορίζοντα γεγονότων οι κώνοι φωτός¹ ‘αναποδογυρίζουν’ τις άκρες τους και δείχνουν πλέον την μοναδικότητα, η οποία αντιπροσωπεύει όλες τις μελλοντικές διαδρομές χωρίς να είναι δυνατή η διαφυγή. Ο χρόνος λοιπόν πράγματι επιβραδύνεται γύρω από μια μαύρη τρύπα σύμφωνα με το Stephen Hawking.

Αυτό το φαινόμενο συμβαίνει λόγω της τεράστιας βαρυτικής δύναμης της μαύρης τρύπας, στρεβλώνει δηλαδή τον χωροχρόνο που υπάρχει γύρω της σε τέτοιο βαθμό, όπου ο χρόνος γύρω από αυτή επιβραδύνεται σημαντικά. Η χρονική αυτή διαστολή, εντείνεται έως ότου ο χρόνος στον ορίζοντα γεγονότων να φαίνεται ότι σταματά εντελώς.

Η διαστρέβλωση του χρόνου κοντά σε μια μαύρη τρύπα, λόγω του εξαιρετικά μεγάλου βαρυτικού πεδίου, θα εντεινόταν μέχρι τον ορίζοντα γεγονότων, όπου ο χρόνος θα σταματούσε τελείως. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο οι μαύρες τρύπες αποκαλούνται και ‘παγωμένα αστέρια’. Εάν ύλη πέσει προς τον ορίζοντα γεγονότων, ένας εξωτερικός παρατηρητής θα έβλεπε ότι η ύλη αυτή όσο πλησιάζει τον ορίζοντα γεγονότων γίνεται πιο κόκκινη και εξασθενεί, αλλά δεν θα την έβλεπε να πέφτει εντελώς μέσα στην μαύρη τρύπα.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο τύπος διαστολής του χρόνου

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

¹ Στην ειδική και γενική σχετικότητα, ένας κώνος φωτός είναι το μονοπάτι που θα έπαιρνε μια λάμψη φωτός, που προέρχεται από ένα μόνο γεγονός (εντοπισμένο σε ένα μόνο σημείο στο διάστημα και μια στιγμή στον χρόνο), μέσα στο χωροχρόνο.

6 Περιστρεφόμενες μαύρες τρύπες

Από πλανήτες σε αστέρια και γαλαξίες, τα περισσότερα αντικείμενα στο σύμπαν περιστρέφονται, έτσι δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι η περιστροφή των μαύρων τρυπών θα είναι κοινό στο σύμπαν.

Μια περιστρεφόμενη μαύρη τρύπα είναι μια λύση της εξίσωσης πεδίου του Αϊνστάιν. Υπάρχουν δύο γνωστές ακριβείς λύσεις, η μέτρηση Kerr και η μέτρηση Kerr-Newman, οι οποίες πιστεύεται ότι είναι αντιπροσωπευτικές όλων των περιστρεφόμενων λύσεων μαύρης τρύπας, στην εξωτερική περιοχή.

Το 1963 ο Roy C. Kerr έλυσε τις εξισώσεις του Αϊνστάιν για μια μαύρη τρύπα που περιστρέφεται. Η δομή μιας περιστρεφόμενης μαύρης τρύπας είναι λίγο διαφορετική από εκείνη μιας σταθερής μαύρης τρύπας. Υπάρχει μια πρόσθετη ζώνη που ονομάζεται εργόσφαιρα, μέσα από την οποία είναι θεωρητικά δυνατό να εξαχθεί η ενέργεια και η ύλη από τη μαύρη τρύπα, όπως φάνηκε στο Κεφάλαιο 1. Ουσιαστικά, ο ορίζοντας γεγονότων μιας περιστρεφόμενης μαύρης τρύπας είναι μικρότερος από τον ορίζοντα γεγονότων μιας κατά τα άλλα πανομοιότυπης αλλά μη περιστρεφόμενης.

Σε μια περιστρεφόμενη μαύρη τρύπα, η εργόσφαιρα συνδέεται με το σταθερό όριο, η περιοχή δηλαδή στην οποία ο χωροχρόνος ρέει με την ταχύτητα του φωτός, αναγκάζοντας στατικά σωματίδια να κινούνται με την ταχύτητα του φωτός. Εντός του στάσιμου ορίου, κανένα σωματίδιο δεν μπορεί να παραμείνει σε ηρεμία, παρόλο που βρίσκονται εκτός του ορίζοντα γεγονότων.

7 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. Με την εφαρμογή της κβαντικής θεωρίας πεδίου στις μαύρες τρύπες, αποφάσισε ότι αυτές εκπέμπουν σωματίδια που εμφανίζουν ένα τέλειο φάσμα μαύρου σώματος.

Η θερμοκρασία αυτού του θερμικού φάσματος (θερμοκρασία Hawking) είναι ανάλογη με την επιφανειακή βαρύτητα της μαύρης τρύπας, η οποία, για μια μαύρη τρύπα Schwarzschild, είναι αντίστροφα ανάλογη της μάζας.

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

Όπου $\hbar$ η σταθερά Planck, G η σταθερά της Παγκόσμιας έλξης, c η ταχύτητα του φωτός, M η μάζα της μαύρης τρύπας και k_B η σταθερά Boltzmann.

Ως εκ τούτου, οι μεγάλες μαύρες τρύπες εκπέμπουν λιγότερη ακτινοβολία από ότι εκπέμπουν οι μικρές.

Εάν η θεωρία του Hawking σχετικά με την ακτινοβολία των μαύρων οπών είναι σωστή, τότε οι μαύρες τρύπες αναμένεται να συρρικνωθούν και να εξατμιστούν με την πάροδο του χρόνου καθώς χάνουν τη μάζα από την εκπομπή φωτονίων και άλλων σωματιδίων.

Η ακτινοβολία Hawking μειώνει τη μάζα και την περιστροφική ενέργεια των μαύρων οπών και επομένως είναι επίσης γνωστή ως εξάτμιση των μαύρων οπών. Εξαιτίας αυτού, οι μαύρες τρύπες που δεν κερδίζουν μάζα με άλλα μέσα αναμένεται να συρρικνωθούν και τελικά να εξαφανιστούν.

Αναφορά στο κοσμικό υπόβαθρο μικροκυμάτων

Το κοσμικό υπόβαθρο μικροκυμάτων (CMB) είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία η οποία είναι ένα κατάλοιπο από ένα πρώιμο στάδιο του σύμπαντος. Είναι αχνή κοσμική ακτινοβολία φόντου που γεμίζει όλο το χώρο. Είναι μια σημαντική πηγή δεδομένων για το πρώιμο σύμπαν, επειδή είναι η παλαιότερη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο σύμπαν, που χρονολογείται από την εποχή του ανασυνδυασμού. Με ένα παραδοσιακό οπτικό τηλεσκόπιο, ο χώρος μεταξύ των αστεριών και των γαλαξιών είναι εντελώς σκοτεινός. Ωστόσο, ένα αρκετά ευαίσθητο ραδιοτηλεσκόπιο δείχνει έναν αχνό θόρυβο ή μια λάμψη στο παρασκήνιο, που δεν σχετίζεται με κανένα αστερί, γαλαξία ή άλλο αντικείμενο. Το CMB έχει θερμικό μαύρο φάσμα σώματος σε θερμοκρασία 2.725 ± 0.00057 K.

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 $\Rightarrow$ Οι αστρικές ή μεγαλύτερες μαύρες τρύπες λαμβάνουν περισσότερη μάζα από το κοσμικό υπόβαθρο μικροκυμάτων από ότι εκπέμπουν μέσω της ακτινοβολίας Hawking και έτσι 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. Μια τέτοια μαύρη τρύπα θα είχε ακτίνα μικρότερη των 0.1 mm. $\{R_s < 0.1 \text{ mm}\}$

Εάν οι μαύρες τρύπες υποθετικά μπορούσαν να εξατμιστούν μέσω της ακτινοβολίας Hawking, μια μαύρη τρύπα ηλιακής μάζας θα εξατμιστεί (ξεκινώντας μόλις η θερμοκρασία του κοσμικού φόντου μικροκυμάτων πέσει κάτω από τη μαύρη τρύπα) σε μια περίοδο 10^{64} ετών. Μια υπερμεγέθη μαύρη τρύπα με μάζα 10^{11} (100 δισεκατομμύρια) $M_{\odot}$ θα εξατμιστεί σε περίπου 2×10^{100} χρόνια. Κάποιες μαύρες τρύπες στο σύμπαν προβλέπεται να συνεχίσουν να μεγαλώνουν έως και $10^{14} M_{\odot}$ κατά τη διάρκεια της κατάρρευσης των υπερκαινιστών των γαλαξιών. Ακόμη και αυτές θα εξατμιστούν σε χρονικό διάστημα έως και 10^{106} χρόνια.

8 Πέφτοντας μέσα σε μια μαύρη τρύπα

Τι θα συμβεί εάν ένα άτομο πέσει μέσα σε μια από αυτές τις κοσμικές εκτροπές;

Ας υποθέσουμε ότι καθώς το άτομο πέφτει μέσα στην μαύρη τρύπα, υπάρχει ένας παρατηρητής σε απόσταση που παρακολουθεί το τι θα συμβεί. Καθώς το άτομο επιταχύνεται προς τον ορίζοντα γεγονότων, ο παρατηρητής το βλέπει να τεντώνεται, όπως θα το έβλεπε μέσα από έναν μεγεθυντικό φακό. Όσο πιο κοντά πλησιάζει το άτομο τον ορίζοντα γεγονότων, τόσο περισσότερο φαίνεται να κινείται σε αργή κίνηση.

$a = 2GMd/R^3$	Όπου a η παλιρροιακή επιτάχυνση που δέχεται ένα σώμα μήκους d M η μάζα του πλανήτη / μαύρης τρύπας και G η βαρυτική σταθερά.
----------------	--

Όταν το άτομο φτάσει στον ορίζοντα γεγονότων, ο παρατηρητής το βλέπει να παγώνει. Εκείνη την στιγμή το άτομο είναι κολλημένο, ακίνητο και τεντωμένο στην επιφάνεια του ορίζοντα, καθώς νιώθει μια αυξανόμενη ζέστη να τον περικλείει. Σύμφωνα με τον παρατηρητή το άτομο σιγά-σιγά εξολοθρεύεται από το τέντωμα του διαστήματος, τη διακοπή του χρόνου και τις πυρκαγιές της ακτινοβολίας Hawking.

Συνεπώς, πριν το άτομο καταφέρει να περάσει στο σκοτάδι της μαύρης τρύπας, θα έχει γίνει στάχτη. Το άτομο πλέον πλέει στον πιο δυσοίωνα προορισμό της φύσης. Αυτό συμβαίνει διότι εκτελεί ελεύθερη πτώση, και ως εκ τούτου δεν αισθάνεται καμία βαρύτητα, κάτι που ο Αϊνστάιν αποκάλεσε 'πιο ευτυχισμένη σκέψη του'. Ο ορίζοντας γεγονότων είναι ένα τεχνούργημα προοπτικής. Ο παρατηρητής δεν μπορεί να δει τίποτα μέσα από αυτό, αλλά και για το άτομο δεν υπάρχει ορίζοντας.

Αν η μαύρη τρύπα ήταν πολύ μικρότερη, η δύναμη της βαρύτητας θα ήταν πολύ ισχυρότερη στα πόδια του ατόμου απ' ό,τι στο κεφάλι του και θα τον τέντωνε σε σημείο που θα τον συνέθλιβε. Στην πραγματικότητα σε μια αρκετά μεγάλη τρύπα θα μπορούσε το άτομο να ζήσει κανονικά πριν πεθάνει στην μοναδικότητα.

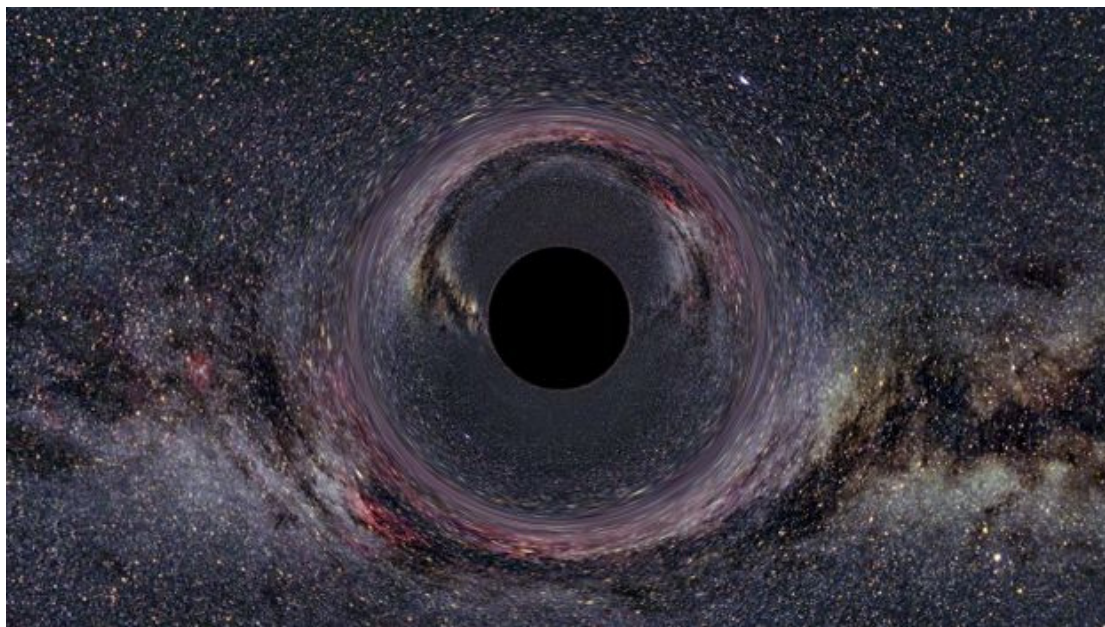
Για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα ενός σώματος που ταξιδεύει προς μια μαύρη τρύπα, χρησιμοποιούμε την κινητική και την βαρυτική δυναμική ενέργεια.

$K.E. = \frac{1}{2} mV^2$	$B.A.E. = GMm/R$	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 $6.673 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$
---------------------------	------------------	---

Άρα: $K.E.=B.Δ.E.$

$$\frac{1}{2} mV^2 = GMm/R$$

$$V = \sqrt{2GM/R}$$



Πηγή: Black holes distort passing light rays, causing "lensing" (Credit: Ute Kraus, CC by 2.5)

Γνωρίζουμε ότι ο χρόνος προχωράει μόνο μπροστά χωρίς να γυρίζει πίσω και μας τραβάει μαζί του παρά την θέλησή μας. Οι μαύρες τρύπες στρεβλώνουν τον χωροχρόνο γύρω τους σε τόσο μεγάλο βαθμό, όπου τελικά μέσα στον ορίζοντα ο χώρος και ο χρόνος στην πραγματικότητα ανταλλάσσουν ρόλους. Κατά μία έννοια, ο χρόνος είναι αυτός ο οποίος τραβά το άτομο προς την μοναδικότητα. Δεν είναι εφικτό να ξεφύγεις και να γυρίσεις πίσω από μια μαύρη τρύπα, όπως δεν είναι εφικτό να γυρίσεις πίσω στον χρόνο.

Στην πραγματικότητα όμως, ο παρατηρητής είναι απολύτως λογικός. Από την δική του πλευρά το άτομο έχει καεί στον ορίζοντα γεγονότων και αυτό δεν είναι ψευδαίσθηση. Οι νόμοι της φυσικής απαιτούν το άτομο να παραμείνει έξω από την μαύρη τρύπα, όπως φαίνεται από την πλευρά του παρατηρητή. Αυτό συμβαίνει διότι η κβαντική φυσική απαιτεί ότι οι πληροφορίες δεν μπορούν ποτέ να χαθούν. Δηλαδή κάθε πληροφορία που εξηγεί την ύπαρξη του ατόμου πρέπει να μείνει έξω από τον ορίζοντα.

Από την άλλη μεριά, οι νόμοι της φυσικής απαιτούν το άτομο να πλεύσει μέσα στον ορίζοντα γεγονότων χωρίς να συναντήσει ζεστά σωματίδια ή τίποτα έξω από τα συνηθισμένα. Αλλιώς το άτομο θα παραβίαζε την θεωρία της Γενικής Σχετικότητας.

Άρα οι νόμοι της φυσικής απαιτούν και το άτομο και ο παρατηρητής να είναι έξω από την μαύρη τρύπα σε ένα σωρό από στάχτες και μέσα στην μαύρη τρύπα ζωντανό και υγιές. Τελευταίος αλλά εξίσου σημαντικός είναι ένας τρίτος νόμος της φυσικής όπου υποδεικνύει ότι οι πληροφορίες δεν μπορούν να κλωνοποιηθούν. Μπορεί δηλαδή το άτομο να είναι σε δύο μέρη αλλά υπάρχει μόνο ένα αντίγραφό του.

Με κάποιον τρόπο δηλαδή οι νόμοι της φυσικής μας δείχνουν προς ένα συμπέρασμα που μοιάζει παράλογο. Οι φυσικοί αποκαλούν αυτό το αίνιγμα ως το παράδοξο των πληροφοριών της μαύρης τρύπας, το οποίο κατάφεραν το 1990 να το επιλύσουν.

Ο Leonard Susskind συνειδητοποίησε ότι δεν υπάρχει παράδοξο, γιατί κανείς δεν βλέπει ποτέ τον κλώνο του ατόμου. Ο παρατηρητής βλέπει μόνο ένα αντίγραφο του. Το άτομο βλέπει μόνο ένα αντίγραφο του. Και δεν υπάρχει τρίτος παρατηρητής που να μπορεί να δει τόσο μέσα όσο και έξω από μια μαύρη τρύπα ταυτόχρονα. Έτσι, κανένας νόμος της φυσικής δεν έχει παραβιαστεί, εκτός αν ερευνηθεί το ερώτημα: Το άτομο είναι ζωντανό ή νεκρό;

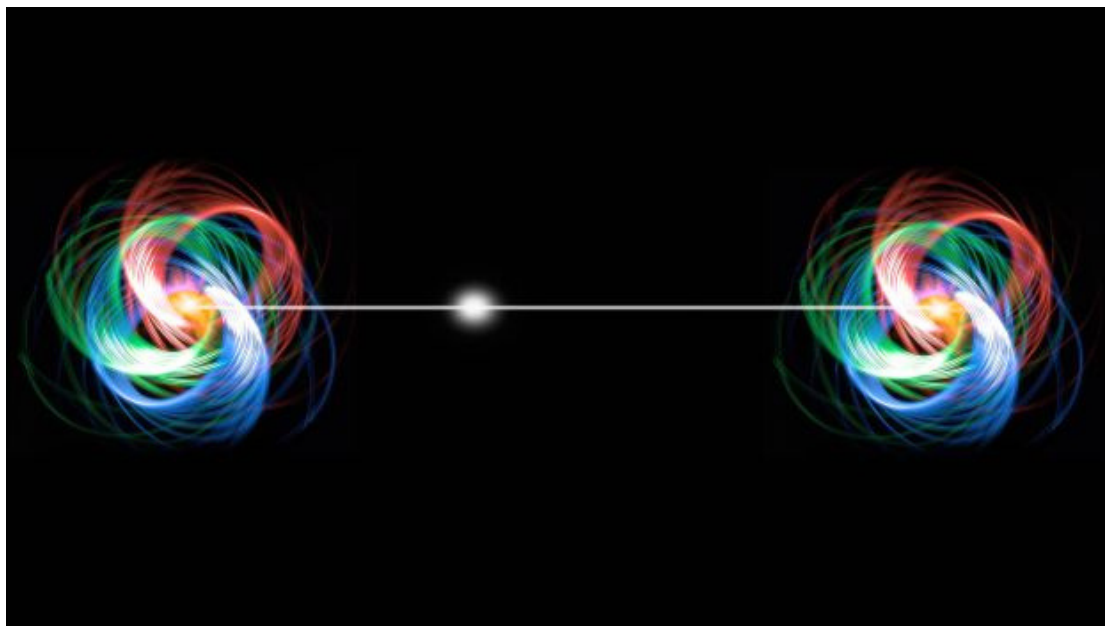
Το μεγάλο μυστικό που μας αποκάλυψαν οι μαύρες τρύπες είναι ότι δεν υπάρχει πραγματικότητα. Η πραγματικότητα εξαρτάται από το ποιον ρωτάς. Υπάρχει η πραγματικότητα του παρατηρητή και υπάρχει η πραγματικότητά του ατόμου.

Το καλοκαίρι του 2012 οι φυσικοί Ahmed Almheiri, Donald Marolf, Joe Polchinski and James Sully, γνωστοί και ως AMPS, επινόησαν ένα πείραμα που απειλούσε να ανατρέψει όλα όσα νομίζαμε ότι ξέραμε για τις μαύρες τρύπες. Συνειδητοποίησαν ότι η λύση του Susskind βασιζόταν στο γεγονός ότι οποιαδήποτε διαφωνία ανάμεσα στο άτομο και τον παρατηρητή παρεμβάλλεται από τον ορίζοντα γεγονότων. Δεν είχε σημασία αν ο παρατηρητής είδε την ατυχή διασκορπισμένη εκδοχή του ατόμου ανάμεσα στην ακτινοβολία Χόκινγκ, επειδή ο ορίζοντας τον εμπόδισε να δει την άλλη εκδοχή του να επιπλέει μέσα στη μαύρη τρύπα.

Σύμφωνα με την Γενική Σχετικότητα δεν θα μπορούσε κάποιος να μάθει τι υπάρχει στην άλλη πλευρά του ορίζοντα δίχως να τον διασχίσει, αλλά σύμφωνα με την κβαντική μηχανική θα μπορούσε να δοθεί κάποια εξήγηση.

Ο παρατηρητής θα μπορούσε να κοιτάξει πίσω από τον ορίζοντα, χρησιμοποιώντας ένα μικρό τέχνασμα που ο Αϊνστάιν ονομάζει "spooky action-at-a-distance".

Αυτό συμβαίνει όταν δύο σύνολα σωματιδίων που χωρίζονται στο διάστημα έχουν μυστηριωδώς "εμπλακεί". Είναι μέρος ενός ενιαίου, αδιαίρετου συνόλου, έτσι ώστε οι πληροφορίες που απαιτούνται για να τα περιγράψουν δεν μπορούν να βρεθούν σε κανένα σύνολο ξεχωριστά, αλλά στους δεσμούς μεταξύ τους. Η ιδέα AMPS έμοιαζε με αυτό. Έστω ότι ο παρατηρητής κρατάει ένα κομμάτι A των πληροφοριών κοντά στον ορίζοντα. Αν η ιστορία του είναι σωστή, και το άτομο είναι νεκρό έξω από τη μαύρη τρύπα, τότε το A πρέπει να εμπλακεί με ένα άλλο κομμάτι των πληροφοριών, B, το οποίο είναι επίσης μέρος του θερμού νέφους της ακτινοβολίας.



Πηγή:

Widely-separated particles can be spookily "entangled" (Credit: Victor de Schwanberg/SPL)

Από την άλλη, αν η ιστορία του δεν είναι η αληθινή το άτομο είναι ζωντανό και υγιές στην άλλη πλευρά του ορίζοντα γεγονότων, οπότε το A πρέπει να μπλεχτεί με μια διαφορετική πληροφορία, Γ , η οποία είναι μέσα στη μαύρη τρύπα. Κάθε κομμάτι των πληροφοριών μπορεί να εμπλακεί μόνο μία φορά. Αυτό σημαίνει ότι το A μπορεί να συνδυαστεί μόνο με το B ή με το Γ , όχι και με τα δύο.

Υπάρχουν δύο ενδεχόμενα:

1. Το A να συνδυαστεί με το Γ . Τότε το άτομο είναι ζωντανό, αλλά ο παρατηρητής χάνει την πληροφορία Γ και παραβιάζεται ο κβαντικός νόμος που ορίζει ότι οι πληροφορίες δεν μπορούν ποτέ να χαθούν.
2. Το A να συνδυαστεί με το B. Τότε ο παρατηρητής έχει δίκιο και το άτομο είναι νεκρό, αλλά παραβιάζεται η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας.

Συμπερασματικά αντιλαμβανόμαστε ότι δεν υπάρχει τελική απάντηση στο ερώτημα τι θα γινόταν εάν κάποιος έπεφτε μέσα σε μια μαύρη τρύπα.

Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την έρευνα για την σύνταξη της εργασίας είναι τα ακόλουθα:

1. Οι μελανές οπές είναι αντικείμενα που έχουν τόσο έντονα βαρυτικά πεδία που δεν επιτρέπουν ούτε στο φως να διαφύγει από αυτά. Επίσης, καθιστούν αδύνατο για οτιδήποτε πέσει μέσα σε αυτές να διαφύγει, καθώς θα χρειαζόταν να ταξιδέψει με ταχύτητες μεγαλύτερες του φωτός, κάτι που δεν ισχύει για καμία μορφή ύλης, ενέργειας ή πληροφορίας.
2. Τα σημαντικότερα μέρη του χώρου κατά την περιγραφή των μαύρων τρυπών είναι ο ορίζοντας γεγονότων, η μοναδικότητα και η εργόσφαιρα.
3. Οποιοδήποτε σώμα θα μπορούσε να γίνει μαύρη τρύπα, εάν η μάζα του συμπιεζόταν τόσο που η ταχύτητα διαφυγής του σχηματιζόμενου βαρυτικού πεδίου έφτανε την ταχύτητα του φωτός.
4. Τα μεγέθη των μαύρων τρυπών ποικίλουν ανάλογα με το πόση μάζα διαθέτουν.
5. Οι μαύρες τρύπες έχει υποθεθεί πως εξατμίζονται κατά το πέρας του χρόνου, σύμφωνα με τη διαδικασία που ονομάζεται ακτινοβολία hawking.
6. Υπάρχουν μη περιστρεφόμενες μαύρες τρύπες και περιστρεφόμενες μαύρες τρύπες, των οποίων χαρακτηριστικό μέρος αποτελεί η εργόσφαιρα.
7. Δεν υπάρχει τελική απάντηση στο ερώτημα τι θα γινόταν εάν κάποιος έπεφτε μέσα σε μια μαύρη τρύπα.
8. Σώματα μπορούν να βρίσκονται σε τροχία γύρω από μια μαύρη τρύπα εφόσον έχουν μια τιμή ταχύτητας που να το επιτρέπει.
9. Κοντά σε μια μαύρη τρύπα ο χρόνος και ο χώρος στρεβλώνονται.
10. Οι μαύρες τρύπες αποτελούν αντικείμενο μελέτης πολλαπλών καταξιωμένων επιστημόνων, και θεωρίες περί αυτών αναπτύσσονται συνεχώς, καθιστώντας τες ένα κομμάτι της φυσικής με ραγδαίες προοπτικές για εξέλιξη στο κοντινό και μακρινό μέλλον.

Βιβλιογραφία

Ιστορική αναδρομή:

- https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B1%CF%8D%CF%81%CE%B7_%CF%84%CF%81%CF%8D%CF%80%CE%B1

Βασικές έννοιες και περιγραφή της φύσης των μαύρων τρυπών:

- https://en.wikipedia.org/wiki/Black_hole
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Spacetime>
- https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/black_hole_math.pdf
- https://en.wikipedia.org/wiki/Schwarzschild_radius
- https://en.wikipedia.org/wiki/Accretion_disk
- https://en.wikipedia.org/wiki/Wien%27s_displacement_law

Άλλα σώματα ως μαύρες τρύπες:

- https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/black_hole_math.pdf
- https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B1%CF%8D%CF%81%CE%B7_%CF%84%CF%81%CF%8D%CF%80%CE%B1

Μέγεθος και μάζα μαύρων τρυπών:

- <https://skyandtelescope.org/astronomy-resources/how-big-is-a-black-hole/>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Earth_mass

Μερικές Μαύρες Τρύπες:

- [Supermassive Black Hole Sagittarius A* | NASA](#)
- [*Black Hole Math \(nasa.gov\)](#)

Μερικές Ιδιότητες των μαύρων τρυπών:

- [The Doppler Effect and Black Holes - Black holes \(weebly.com\)](#)
- www.quora.com/What-is-a-photon-sphere
- [general relativity - How exactly does time slow down near a black hole? - Physics Stack Exchange](#)
- [Black Holes Distort Space-Time – Black Hole Cam](#)

- [Do Black Holes Distort Time? | CNRS News](#)
- [Does time pass faster or slower close to the black hole? \(physlink.com\)](#)

Περιστρεφόμενες μαύρες τρύπες:

- [**COSMOS - The SAO Encyclopedia of Astronomy**](#)

Ακτινοβολία Hawking –Εξάτμιση:

- https://en.wikipedia.org/wiki/Hawking_radiation
- https://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic_microwave_background
- https://web.archive.org/web/20110722055345/http://www.einstein-online.info/elementary/quantum/evaporating_bh/?set_language=en

Πέφτοντας μέσα σε μια μαύρη τρύπα:

- [BBC - Earth - The strange fate of a person falling into a black hole](#)

Εικόνα εξωφύλλου:

- Η εικόνα του εξωφύλλου είναι αναρτημένη στον ιστότοπο: https://en.wikipedia.org/wiki/Black_hole και απεικονίζει την υπερμεγέθη μαύρη τρύπα στο κέντρο του γαλαξία Messier 87 και είναι η πρώτη φωτογραφία μαύρης τρύπας στην ιστορία της ανθρωπότητας.